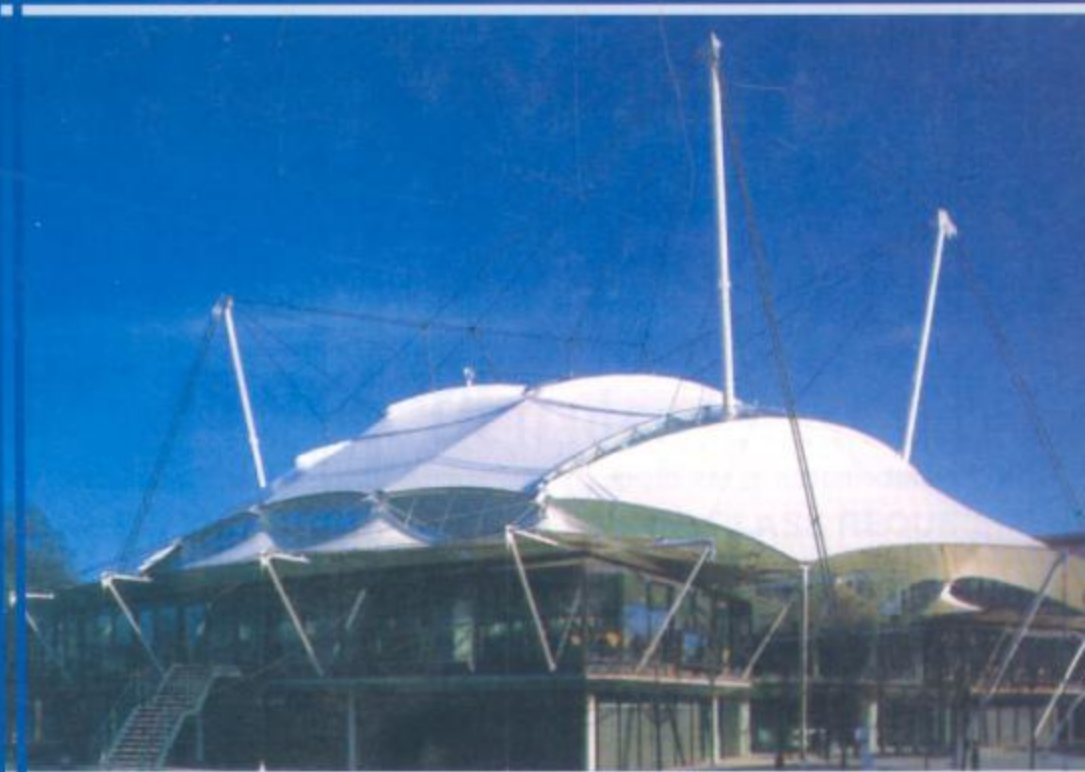
KS.TRẦN TUẤN SƠN

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

TRUNG TÂM ĐÀO TẠO XÂY DỰNG VIETCONS
CHƯƠNG TRÌNH MỖI NGÀY MỘT CUỐN SÁCH

KẾT CẤU MÀNG MỎNG



Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

SOS EBOOKS
EBOOKS SOS
SOS EBOOKS
EBOOKS SOS

KS. TRẦN TUẤN SƠN

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

KẾT CẤU MÀNG MỎNG

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2004

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

SOS EBOOKS
EBOOKS SOS
SOS EBOOKS
EBOOKS SOS



LỜI NÓI ĐẦU

Hiện nay, do yêu cầu phát triển của các ngành kinh tế, kết cấu trong các công trình xây dựng ngày càng có xu hướng vươn tới những khẩu độ lớn để sử dụng không gian lớn hơn. Với các công trình sử dụng vật liệu truyền thống, yêu cầu này là một thách thức lớn vì khó vượt qua được những giới hạn còn bị hạn chế về khẩu độ.

Cùng với sự bùng nổ của khoa học công nghệ, trong ngành xây dựng cũng như trong lĩnh vực kết cấu công trình người ta có xu hướng nghiên cứu tìm giải pháp thiết kế "*ngôi nhà thông minh*", cũng như "*kết cấu thông minh*" với mục tiêu là chúng có khả năng tự động ứng xử một cách hợp lý nhất, có lợi nhất trước các biến động của môi trường xung quanh.

Một vấn đề khác của thế giới hiện đại là quan điểm sử dụng. Trong khi khoa học và công nghệ phát triển như vũ bão, mọi thứ đều phát triển và thay đổi rất nhanh chóng, yêu cầu sử dụng của con người đối với mọi vật cũng không ngừng thay đổi. Công trình xây dựng cũng giống như bất kỳ một vật dụng khác của con người, cũng trở nên lạc hậu theo thời gian, không còn đáp ứng được yêu cầu sử dụng. Nhiều khi người ta phải đập bỏ những công trình cũ không phải vì chúng không còn tiếp tục sử dụng được mà đa phần là do chúng không còn thích hợp với yêu cầu của cuộc sống. Trong bối cảnh như vậy, công trình xây dựng bằng kết cấu màng mỏng hoàn toàn đáp ứng phù hợp với quan niệm sử dụng mới của con người: *dùng và sẵn sàng vứt bỏ khi không còn phù hợp*.

Trong cuốn sách này giới thiệu với bạn đọc một loại kết cấu còn khá mới mẻ là ***" Kết cấu màng mỏng "*** có thể thoả mãn được phần lớn các yêu cầu nói trên và đã được xây dựng phổ biến trên thế giới. Vì là kết cấu mới nên những vấn đề về kết cấu công trình vẫn chưa được nghiên cứu, tổng kết thật đầy đủ. Tuy vậy, chúng tôi cũng mạnh dạn biên soạn tài liệu này với mong muốn là bước đầu góp một phần nhỏ bé để phổ biến và phát triển loại kết cấu này. Hy vọng rằng trong thời gian không xa, thể loại công trình

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

này sẽ được áp dụng rộng rãi và đem lại những hiệu quả hữu ích trong nền kinh tế ở Việt Nam.

Xin trân trọng cám ơn sự giúp đỡ của Giáo sư Lều Thọ Trình trong quá trình hình thành ý tưởng và thực hiện cuốn sách này.

Xin cám ơn sự góp ý, chia sẻ của các bạn bè, gia đình đã động viên, giúp đỡ tác giả trong việc hoàn thiện cuốn sách.

Tuy đã có nhiều cố gắng trong khi biên soạn song cũng khó tránh khỏi còn có những sai sót. Rất mong nhận được sự góp ý chân thành, hợp tác trong nghiên cứu của bạn đọc, đồng nghiệp để cuốn sách được hoàn thiện và phục vụ bạn đọc được tốt hơn.

Tác giả

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

VIETCONS
ALWAYS BESIDE YOUR SUCCESS

CHƯƠNG 1

MỞ ĐẦU

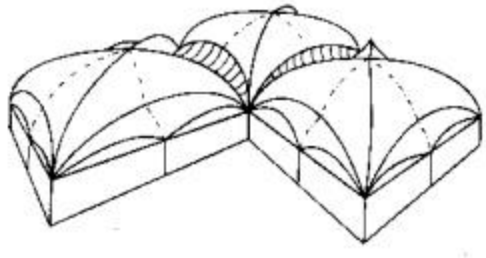
1.1. Khái niệm về kết cấu màng mỏng

Ngay từ thời xa xưa người du mục trên thảo nguyên đã biết làm những ngôi nhà bằng cành cây và lợp bằng các tấm da thú ghép lại để che mưa che nắng, đó là những công trình sử dụng vật liệu màng mỏng đầu tiên.

Vào Thế kỷ thứ 17, các đoàn xiếc lưu động khắp châu Âu đã sử dụng lều vải bạt với sức chứa đến hàng nghìn người, lắp dựng và tháo dỡ nhanh chóng. Vào thời kỳ này kết cấu màng mỏng đã có một bước tiến rõ rệt song vẫn chỉ được sử dụng để làm kết cấu bao che, tuổi thọ của các nhà bạt này thường chỉ được 4 ÷ 5 năm.

Đầu Thế kỷ 20, với sự phát triển mạnh mẽ của nền công nghiệp hoá chất trong công nghệ sản xuất vật liệu người ta đã sản xuất được các vật liệu màng mỏng có cường độ chịu lực cao, bền vững dưới các tác động của môi trường và giá thành hạ. Bên cạnh đó, sự phát triển của lý thuyết tính toán và phương tiện tính toán như máy tính điện tử đã tạo điều kiện cho kết cấu màng mỏng hiện đại ngày càng phát triển và được ứng dụng ngày càng rộng rãi trong các công trình nhịp lớn với các tính năng ưu việt hơn các công trình sử dụng vật liệu truyền thống.

Trong kết cấu màng mỏng hiện đại, vật liệu màng không chỉ giữ chức năng kết cấu bao che đơn thuần, mà còn tham gia một phần hoặc toàn bộ chức năng của kết cấu chịu lực. Từ nay về sau, ta quy ước khi nói đến kết cấu màng tức là kết cấu trong đó màng tham gia như một kết cấu chịu lực trong công trình.



Hình 1.1 . Mái màng dạng Span Dome

Các công trình sử dụng kết cấu màng rất phong phú về hình dáng cũng như về mô hình chịu lực. Trên thế giới, các kỹ sư còn sử dụng kết cấu màng

kết hợp với hệ kết cấu khác để có được những *"kết cấu thông minh"*, có thể tự động điều chỉnh lực tác động của môi trường lên mái sao cho có lợi đối với công trình. Ví dụ như dạng Span Dome trên hình 1.1, khi chịu tải trọng gió theo một phương sẽ tự động thu hẹp diện tích hứng gió theo phương đó và truyền lực sang các phần mái khác để cùng chịu; hoặc như loại mái treo có thể chuyển dịch dưới tác động của các cơn gió giật, hấp thụ và phân tán năng lượng của gió nên có thể làm giảm tác động của gió theo nguyên lý *"dĩ nhu chế cương"*.

Ở Việt Nam, màng mỏng đã được sử dụng từ lâu trong xây dựng song thường chỉ dùng các loại vật liệu có cường độ thấp, tuổi thọ ngắn như mái vải bạt của các rạp xiếc hoặc các công trình dã chiến của quân đội v.v... trong đó màng chỉ là vật liệu bao che. Trong những năm gần đây, vật liệu màng có cường độ thấp và trung bình cũng đã được nhập khẩu vào nước ta nhưng chỉ để làm mái hiên, biển quảng cáo, bạt ôtô, bạt tàu thuỷ v.v... Hiện nay cũng chỉ có một số công trình do nước ngoài xây dựng là đúng nghĩa của kết cấu màng hiện đại, ví dụ như công trình nhà ở sân sau Đại sứ quán Pháp tại Hà Nội. Hy vọng là việc nghiên cứu, ứng dụng và phát triển kết cấu màng mỏng trong các công trình ở nước ta sẽ đem lại những lợi ích thiết thực về kinh tế.

Kết cấu màng mỏng cũng có một số nhược điểm như sau:

❖ Do hệ có biến dạng lớn nên khi tính toán thiết kế không thể sử dụng sơ đồ với giả thiết biến dạng nhỏ. Điều này đòi hỏi các kỹ sư phải có kiến thức sâu hơn về lĩnh vực tính toán kết cấu cũng như cần xây dựng các phần mềm tính toán chuyên dụng đủ mạnh.

❖ Vật liệu màng với các tính chất như: không đồng nhất; dị hướng; không tuyệt đối đàn hồi; biến dạng chảy dẻo lớn; độ bền thay đổi theo thời gian và nhiệt độ; làm việc khác nhau trong các trạng thái ứng suất khác nhau... là những sự khác biệt lớn so với các kết cấu làm bằng vật liệu truyền thống. Do đó người thiết kế cần có những hiểu biết sâu sắc về vật liệu màng.

❖ Để phát triển toàn diện và chủ động kết cấu màng mỏng, cần có nền công nghiệp dệt, may và công nghiệp nhựa có thể chủ động sản xuất trong nước đáp ứng được các yêu cầu của kết cấu. Hiện nay vẫn phải nhập khẩu loại vật liệu này. Bên cạnh đó các máy móc, thiết bị để liên kết vật liệu ví dụ như máy hàn cao tần ở nước ta cũng chưa được sử dụng phổ biến.

❖ Tính cách nhiệt của vật liệu màng kém, bề dày mỏng nên phạm vi áp dụng cũng bị hạn chế trước các điều kiện khắc nghiệt về thời tiết.

Tuy nhiên, với các tính năng ưu việt kể trên, kết cấu màng đã và đang được phát triển mạnh trên thế giới và cũng sẽ có triển vọng sáng sủa ở nước ta.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1.2. Sự phát triển của vật liệu màng mỏng trong kết cấu

Từ hàng nghìn năm trước, con người đã nhận thấy phần lớn vật liệu có thể chịu được lực kéo tốt và ở trạng thái ứng suất kéo có thể tận dụng được hết khả năng chịu lực của vật liệu. Tuy nhiên, kết cấu thực sự chịu kéo được làm từ các vật liệu bắt nguồn từ tự nhiên thì rất mau hỏng. Phải đến Thế kỷ 18 mới xuất hiện chiếc cầu treo đầu tiên, được làm từ các thanh sắt rèn còn gọi là cầu dây xích [17]. Năm 1897 cầu treo làm bằng dây cáp thép mới được xây dựng. Các kết cấu này mới chỉ tương ứng với trạng thái căng theo một phương. Mái Raleigh xây dựng ở Mỹ vào thế kỷ 19 là kết cấu đầu tiên chịu lực theo hai phương.

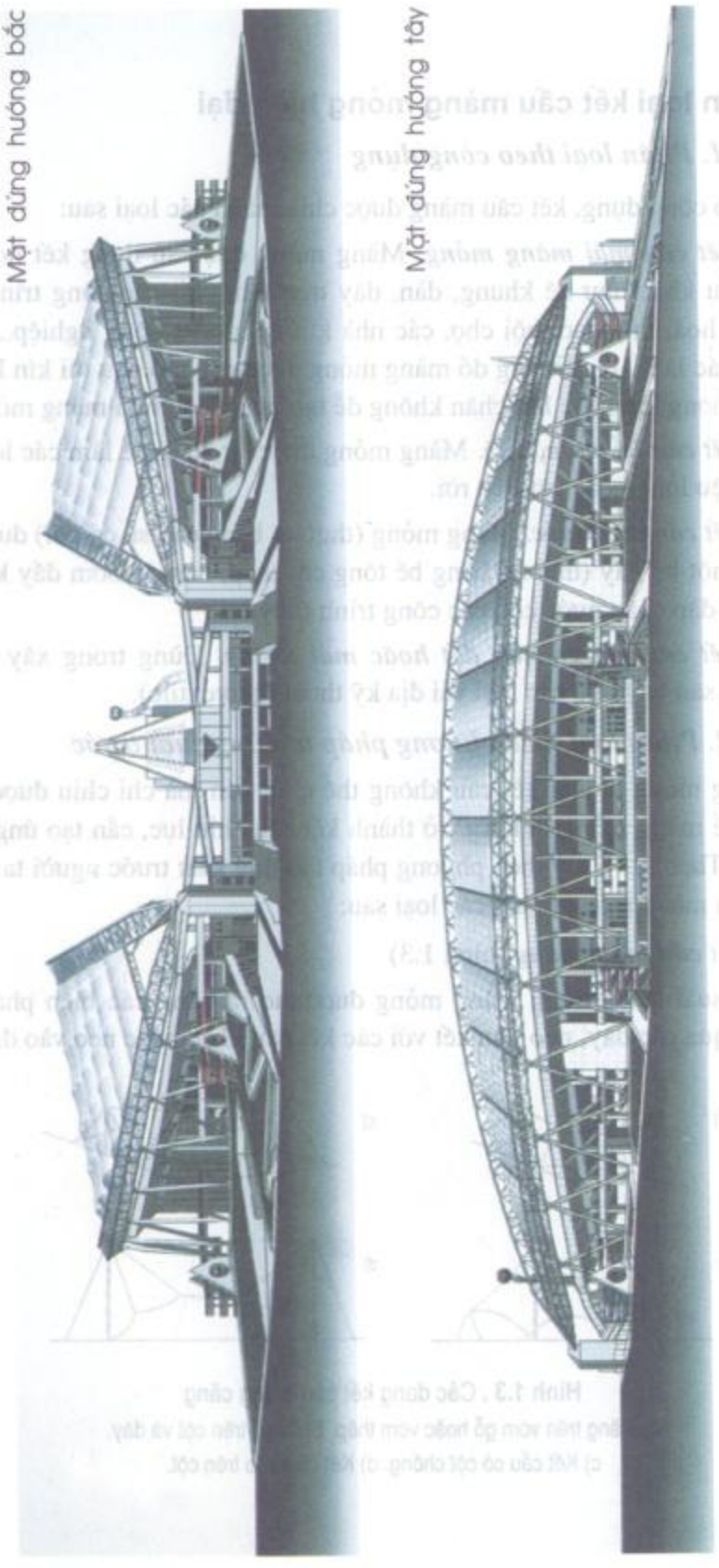
Trong đại chiến thế giới thứ 2, nylon đã được chế tạo và từ đó tạo ra các loại sợi khác nhau với độ bền rất lớn, tuổi thọ cao và có thể nhuộm màu được. Từ những năm 50 của thế kỷ 20 người ta đã chế tạo được loại vật liệu màng mỏng với tuổi thọ tới 20 năm và có khả năng chống thấm nước bằng cách tráng nhựa trên bề mặt các tấm vải. Đến những năm 60, 70, ở Châu Âu người ta đã chế tạo các vật liệu màng hiện đại có cốt là các tấm vải dệt từ sợi PA (polyamid) cũng như từ sợi PE (polyester) và lớp phủ chủ yếu là nhựa PVC. Đây là loại vật liệu có cường độ cao, giá thành rẻ, dễ cắt may, dễ liên kết và có thể chịu được các tác động xâm thực của môi trường, tuổi thọ bình quân của vật liệu từ 10 đến 15 năm.

Ngày nay với sự phát triển của ngành vật liệu người ta có thể tạo cho vật liệu màng mỏng có tính chống cháy, chống thấm nước, kín khí tuỳ mức độ yêu cầu sử dụng của công trình. Người ta cũng đã chế tạo được các vật liệu màng có cường độ cao hơn cả thép, tuổi thọ dài hơn đến 40 - 50 năm và có các tính chất vật lý khác ưu việt hơn để dùng trong công trình như màng mỏng được làm từ sợi thuỷ tinh, sợi cacbon với lớp phủ teflon hoặc các loại tương tự. Với các vật liệu này thì hầu như không còn trở ngại về khả năng tạo ra không gian lớn bên trong các công trình làm từ kết cấu màng mỏng.

Cuối thế kỷ 20, trên thế giới đã có những kết cấu mái bằng màng mỏng được xây dựng với chiều dài nhịp lên đến 200 m như các mái che sân vận động ở Mỹ, Nhật, Tây Ban Nha.

Gần đây, để phục vụ World cup 2002 lần đầu tiên tổ chức tại Châu á, Nhật Bản và Hàn Quốc đã xây dựng mới một loạt các sân vận động có sức chứa lớn. Mái che của một số sân đã sử dụng kết cấu màng mỏng như sân Eye Oita (Nhật bản), Deagu (Hàn Quốc). Điển hình là mái che sân vận động trung tâm của thành phố Deagu (Hàn Quốc) với kết cấu màng mỏng được căng trên hai hệ vòm không gian có nhịp đạt tới 273 m. Trên hình 1.2 là toàn cảnh và các mặt đứng của sân Deagu [37].

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 1.2 . Toàn cảnh và các mặt đứng của sân vận động Deagu (Hàn Quốc).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1.3. Phân loại kết cấu màng mỏng hiện đại

1.3.1. Phân loại theo công dụng

Theo công dụng, kết cấu màng được chia thành các loại sau:

✧ ***Kết cấu mái màng mỏng.*** Màng mỏng được sử dụng kết hợp với các kết cấu khác như hệ khung, dàn, dây treo làm mái các công trình dân dụng, văn hoá, thể thao, hội chợ, các nhà kính phục vụ nông nghiệp... Một thể loại khác là mái hơi trong đó màng mỏng được chế tạo như túi kín khí có thể bơm không khí hoặc hút chân không để tạo ra kết cấu mái màng mỏng.

✧ ***Kết cấu bể chứa, xilô.*** Màng mỏng được sử dụng để làm các loại bể chứa vật liệu lỏng hoặc vật liệu rời.

✧ ***Kết cấu đập nước.*** Màng mỏng (thường bằng cao su có cốt) được cố định vào một bệ đáy (thường bằng bê tông cốt thép) sau đó bơm đầy không khí để làm đập chắn nước cho các công trình thuỷ lợi.

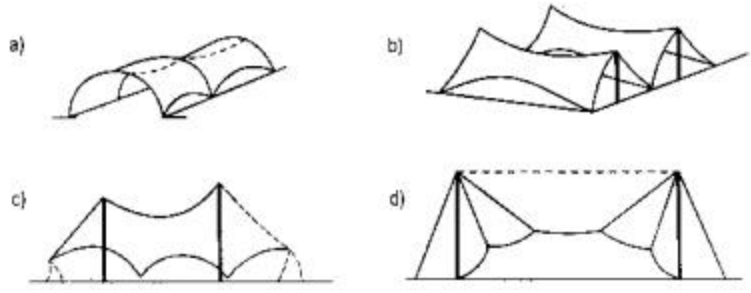
✧ ***Kết cấu gia cố nền đất hoặc mái ta luy.*** Dùng trong xây dựng đường ôtô, sân bay như các loại vải địa kỹ thuật (geotextile).

1.3.2. Phân loại theo phương pháp tạo ứng suất trước

Màng mỏng là loại kết cấu không thể chịu nén mà chỉ chịu được ứng lực kéo. Để màng mỏng thực sự trở thành kết cấu chịu lực, cần tạo ứng suất kéo trước. Theo [13], tuỳ theo phương pháp tạo ứng suất trước người ta phân loại kết cấu màng mỏng thành các loại sau:

✧ ***Kết cấu màng căng*** (hình 1.3)

Ứng suất trước trong màng mỏng được tạo ra bằng các biện pháp cơ học thông qua các dây, neo liên kết với các kết cấu khác hoặc neo vào đất.



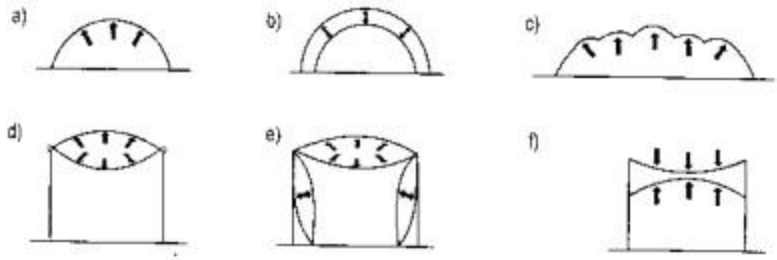
Hình 1.3 . Các dạng kết cấu màng căng
a) Căng trên vòm gỗ hoặc vòm thép. b) Căng trên cột và dây.
c) Kết cấu có cột chống. d) Kết cấu treo trên cột.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Các công trình được làm từ màng mỏng trước đây thường có hệ xương chịu lực dày đặc, màng chỉ giữ vai trò vật liệu bao che. Do đó, trong kết cấu màng mỏng dễ hình thành các túi gió làm rách màng khi có gió to, cũng như dễ hình thành các túi nước khi mưa và dần dần làm hư hỏng vật liệu. Còn trong các công trình hiện nay, kết cấu màng mỏng có khẩu độ lớn, khoảng cách các kết cấu đỡ khá thưa, màng mỏng được căng tạo ứng suất trước sao cho với bất kỳ tải trọng nào cũng không phát sinh lực nén. Do trọng lượng rất nhẹ nên với các vật liệu màng mỏng (PE) thông thường cũng có thể vượt được nhịp đến 30 m, 40 m.

✧ ***Kết cấu màng bơm hơi*** (hình 1.4)

Ứng suất trước trong màng mỏng được tạo ra bằng cách may màng thành các túi kín hoặc hợp thành với mặt đất một không gian tương đối kín rồi tiến hành bơm không khí vào để tạo ra một áp suất lớn hơn áp suất khí quyển, sự chênh lệch áp suất giữa bên trong và bên ngoài tạo ra lực căng trong màng. Kết cấu chỉ sử dụng màng mỏng tạo thành túi kín rồi bơm hoặc hút khí tạo lực căng được gọi là *gối khí*. Kết cấu sử dụng màng kết hợp với mặt đất tạo thành không gian kín rồi bơm khí tạo lực căng được gọi là *kết cấu bơm hơi hay kết cấu khí nén*. Người ta có thể điều khiển áp lực hơi trong màng theo yêu cầu sử dụng.



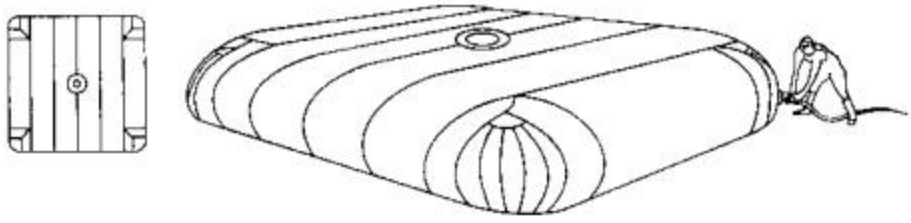
Hình 1.4. Các dạng kết cấu màng bơm hơi

a) Màng bơm hơi. b) Màng bơm hơi hai lớp. c) Kết cấu nhịp lớn bơm hơi kết hợp với dây. d) Mái màng dạng gối khí. e) Nhà dạng gối khí. f) Mái màng hút chân không.

✧ ***Kết cấu tự căng*** (hình 1.5)

Đó là kết cấu hầu như không có lực căng ban đầu, dưới tác động của tải trọng bên ngoài kết cấu mới chịu kéo và tạo thành hình dáng thích hợp. Loại này thường là kết cấu bể chứa, xilô chứa vật liệu lỏng hoặc rời, các khinh khí cầu... Dưới tác động của áp lực vật liệu hay áp lực khí bên trong, trong màng mỏng sẽ phát sinh các lực căng. Tương tự như khi gia cố nền đường hay taluy bằng vải địa kỹ thuật, khi chịu áp lực đất trong vải sẽ phát sinh ứng suất căng; việc neo vải cũng do áp lực đất đảm nhiệm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 1.5. Kết cấu bể chứa sử dụng màng.
Bể chứa chất lỏng 50 m^3, chế tạo tại nhà máy Graboplast, Hungary.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

CHƯƠNG 2

CẤU TẠO VÀ TÍNH NĂNG CỦA VẬT LIỆU MÀNG MỎNG

2.1. Khái niệm về vật liệu màng

Như đã biết, vật liệu màng chủ yếu chỉ chịu hệ nội lực trong mặt của màng, không có khả năng tiếp nhận ứng suất nén, khả năng chống cắt cũng kém. Phổ biến và được ứng dụng rộng rãi trong các công trình là loại màng làm từ sợi PA và PE phủ nhựa PVC đã được làm mềm. Các loại vật liệu cao cấp hơn hiện còn đắt và việc liên kết cũng tốn kém, do đó chỉ được dùng trong các kết cấu mái nhịp rất lớn hoặc khi có yêu cầu đặc biệt.

2.1.1. Cấu tạo của vật liệu màng

Từ lâu người ta đã sử dụng các loại vải dày dệt từ các sợi tự nhiên như sợi bông, sợi lanh, ... làm vật liệu trong các mái lều che mưa nắng phục vụ cho nhu cầu của con người. Đó là các vật liệu màng mỏng ở dạng sơ khai. Dưới tác động của thời tiết như mưa nắng, các loại sợi này chóng bị phá hủy, khả năng chịu nhiệt, chống cháy, chống thấm nước và khả năng chịu hóa chất kém.

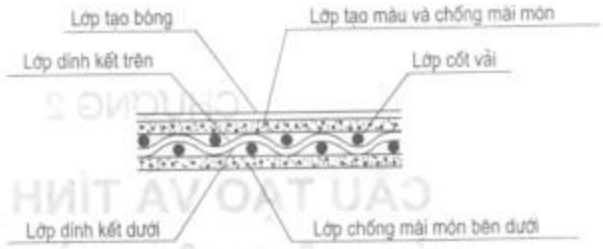
Ngày nay với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp hoá chất, công nghiệp dệt, vật liệu màng ngày càng có độ bền cao hơn, các khả năng như chống cháy, cách nhiệt, chịu được hoá chất ... ngày càng ưu việt hơn và có thể chế tạo tuỳ theo yêu cầu sử dụng. Cấu tạo của vật liệu màng mỏng hiện đại bao gồm hai thành phần chính:

* *Cốt vải*, thành phần quyết định khả năng chịu lực của vật liệu màng mỏng được dệt từ các sợi tổng hợp có cường độ chịu lực cao.

* *Lớp phủ* bên ngoài cốt vải (còn gọi là vật liệu phủ), có thể phủ một mặt hoặc cả hai mặt cốt vải, được làm từ nhựa tổng hợp, có tác dụng bảo vệ cốt vải khỏi các tác động của môi trường bên ngoài và tạo ra một số tính chất quan trọng khác của vật liệu như: không thấm nước, kín khí, chống được tác dụng của dầu...

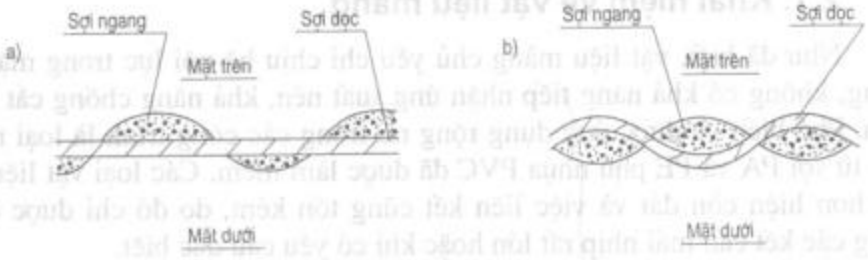
Lớp phủ được cán nóng trên mặt cốt vải, lấp đầy các khe kẽ của vải, do đó phát sinh lực dính bám tốt giữa lớp phủ và cốt vải.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



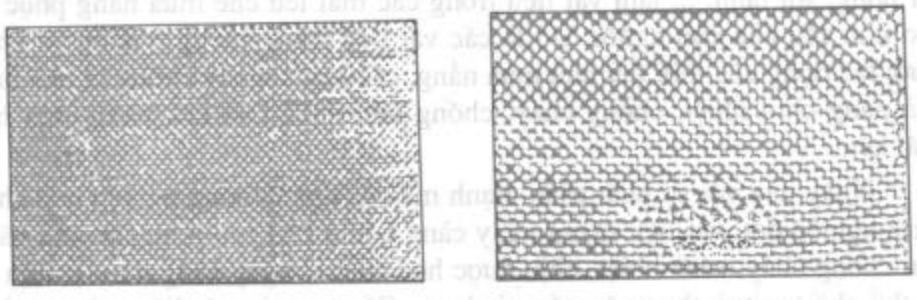
Hình 2.1. Cấu tạo vật liệu màng mỏng

a) Cốt vải. Cốt vải được cấu tạo từ các sợi dọc và sợi ngang như trên hình 2.2 và có hình dạng bề mặt như trên hình 2.3.



Hình 2.2 . Cấu tạo cốt vải

a) mặt cắt theo phương sợi dọc; b) mặt cắt theo phương sợi ngang



Hình 2.3. Hình dạng bề mặt cốt vải

Cốt vải được dệt trong nhà máy từ các sợi tổng hợp có cường độ cao, độ dãn dài nhỏ. Các loại sợi tổng hợp cường độ cao được chế tạo từ các chất tổng hợp thành các sợi tơ rất nhỏ, từ khoảng *100* đến *300* sợi tơ được bện lại thành một sợi, trong *1* gram sợi có đến *10.000* m sợi tơ.

Để tính khối lượng theo chiều dài của các sợi người ta thường sử dụng đơn vị "*dtex*" (décitex) (*)

(*) Tex – đơn vị đo khối lượng sợi dùng trong ngành dệt. 1 tex tương ứng với 1 gram sợi trên chiều dài 1 km. Như vậy, *1* dtex = 10^{-4} kg/m.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong bảng 2.1, cung cấp một số đặc trưng của các loại sợi thường dùng như sợi polyester (PES); sợi polyamid (PA); sợi aromas polyamid (Aramid); sợi thủy tinh (theo [13]).

***Bảng 2.1.* Các đặc tính kỹ thuật của một số sợi thường dùng**

Tính chất	Đơn vị	Sợi PES	Sợi PA	Sợi aramid	Sợi thủy tinh
Số sợi tơ trong một sợi	Sợi	200	140	-	-
Cường độ kéo đứt	MN/dtex	73	73	-	-
Độ dãn khi đứt	%	17,5	24	3	3
Độ dãn khi chịu lực 45N	%	12	13,5	-	-
Điểm chảy vì nhiệt	°C	260	250	370	750
Trọng lượng riêng	kN/m³	13,8	11,4	14,5	26

Sợi làm cốt vải thường được chế tạo từ các nguyên liệu gốc như sau:

- Polyester (PES), ví dụ : Trevia Hochfest, Diolen Superfest, Terilen.
- Polyamid (PA), ví dụ: Enka nylon Superfest, Nylon.
- Aromas polyamid (aramid): Kevlar, Arenka.
- Polyakrilnitril (PAN): Dralon, Orlon.
- Poly (vinil-alkohol): Curalon.
- Polypropilen (PP): Tripolen.
- Sợi thủy tinh: Eglass
- Sợi cacbon: Carbolon.

Phù hợp nhất với các yêu cầu của vật liệu màng là các sợi có độ bền lớn, độ dãn dài nhỏ. Bên cạnh đó, do giá thành của các loại sợi có khác nhau nên vật liệu màng phổ thông nhất trên thị trường là các loại có cốt vải làm từ sợi PES tiếp đến là PA. Với các yêu cầu đặc biệt (các kết cấu có nhịp cực lớn) có thể sử dụng sợi aramid hay sợi thủy tinh làm cốt vải của màng, loại sợi này có cường độ cao hơn, độ dãn dài nhỏ hơn, cách nhiệt tốt song giá thành đắt hơn. Hiện tại người ta cũng đã chế tạo ra các loại sợi cao cấp hơn nữa như sợi cacbon, vải gốm nhưng giá thành còn đắt nên việc ứng dụng còn bị hạn chế.

b) Lớp phủ. Nguyên liệu làm lớp phủ có thể từ nhiều loại nhựa tổng hợp, được phủ lên cốt vải bằng công nghệ tráng nhựa.

Đối với vật liệu màng mỏng, các tính năng cơ học phần lớn là do lớp cốt vải quyết định, còn các tính năng vật lý và hoá học khác như tính chống thấm nước, chống cháy, chống dầu, chống lão hoá, chống mài mòn ... được quyết định bởi lớp vật liệu phủ. Do đó ngày nay người ta đã chế tạo ra nhiều loại màng mỏng với các tính chất khác nhau theo yêu cầu sử dụng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Sau đây là các chất polyme thường dùng làm vật liệu phủ cho màng mỏng:

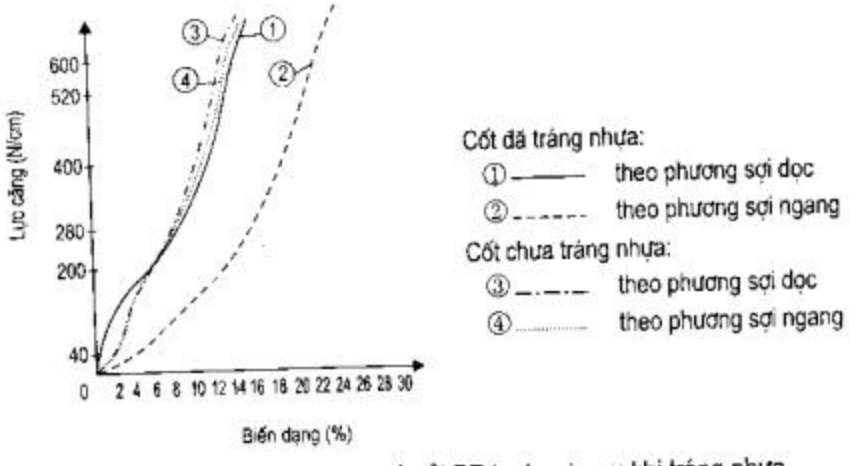
- PVC mềm
- Clorua polyetilen (CPE)
- Polyure (PUR)
- Closulphat polyetylen: Hypalon
- Poly(tetrafluor-etylen) : Teflon, Hostaflon
- Cao su Butyl (HR)
- Cao su Nitril (NR)

Trong số các vật liệu phủ nêu trên, loại PVC mềm là chất phủ được dùng nhiều nhất (90% ở châu Âu và 75% ở Mỹ) do đảm bảo được các yêu cầu thông dụng và giá thành rẻ.

c) Sự kết hợp giữa cốt vải và vật liệu phủ.

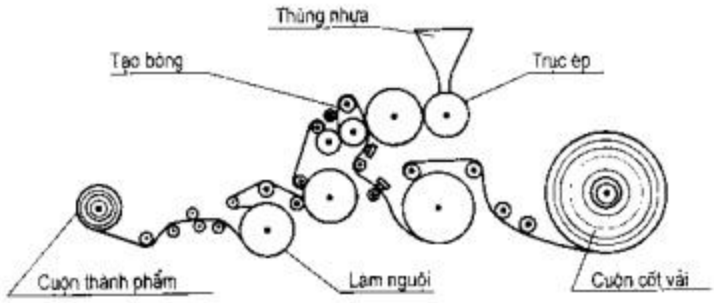
Các loại cốt vải và các loại vật liệu phủ cần có sự kết hợp phù hợp (đặc biệt là về mặt hóa học) nhằm đảm bảo giữa chúng có lực dính bám đủ lớn để hai thành phần này cùng làm việc với nhau trong suốt quá trình khai thác kết cấu.

- Cốt vải từ sợi PES (polyester) thường dùng với các vật liệu phủ như PVC mềm, CPE, PUR...
- Cốt vải từ sợi PA (polyamid) thường được phủ PVC mềm, PUR, Butyl caosu, Nitril cao su...
- Cốt vải từ sợi PP thường phủ nhựa PP, nhựa PE.
- Cốt vải thuỷ tinh thường phủ.Poly tetrafluor-etylen hay còn gọi là Teflon.



Hình 2.4. Biểu đồ thí nghiệm kéo cốt vải PE trước và sau khi tráng nhựa

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 2.5. Sơ đồ thiết bị chế tạo vật liệu màng mỏng

Theo [13], trên hình 2.4 là biểu đồ biểu thị mối quan hệ giữa lực kéo căng (lực trên đơn vị chiều dài của bề rộng màng, thường là 1 cm) và độ dãn dài tỷ đối của vật liệu màng trước và sau khi tráng lớp phủ. Trên hình 2.5 là sơ đồ thiết bị chế tạo màng mỏng.

2.1.2. Các loại vật liệu màng thông dụng

Như đã biết, vật liệu màng được cấu tạo bởi lớp cốt là vải dệt từ sợi cường độ cao và lớp phủ bảo vệ từ nhựa tổng hợp. Vật liệu màng mỏng thông dụng thường được chế tạo từ cốt vải polyester, polyamid, cường độ (lực trên đơn vị chiều dài của bề rộng màng, thường là 1 cm) của cốt vải phụ thuộc cường độ chịu kéo của sợi vải theo hai phương: phương sợi dọc và phương sợi ngang. Trừ khi có các yêu cầu đặc biệt, người ta cố gắng chế tạo vật liệu màng dùng trong kết cấu có cường độ chịu kéo theo hai phương xấp xỉ nhau và được chia thành các loại cơ bản như ở bảng 2.2 [13].

***Bảng 2.2.* Các số liệu kỹ thuật của một số vật liệu màng thông dụng**

Nhóm	Trọng lượng riêng cốt vải g/cm²	Trọng lượng riêng g/cm²	Chiều dày mm	Lực kéo đứt N/cm	Lực xé rách N/cm
I	100	500	0,45	220	100
II	210	650	0,55	640	250
III	260	900	0,8	840	400
IV	350	1000	0,9	1100	750
V	500	1250	1,1	1500	1000

Theo bảng 2.2, nhóm I có bề dày mỏng, cường độ chịu kéo thấp, tiếp đến các nhóm sau có bề dày lớn hơn, cường độ chịu kéo cũng lớn hơn. Tuy nhiên, tùy theo các yêu cầu sử dụng khác nhau người ta cũng có thể chỉ chế

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

tạo màng mỏng có chiều dày lớp phủ PVC lớn còn cốt vải, màng tương ứng đều có cường độ chịu kéo nhỏ.

Nhóm I và nhóm II thường dùng trong các kết cấu nhỏ, mái hiên, vỏ nhiều lớp, làm mui xe ô tô, lều trại du lịch hoặc các tấm quảng cáo ngoài trời.

Nhóm III thường dùng cho các bể chứa, các mái màng tương đối lớn trong các triển lãm, hội chợ.

Nhóm IV thường dùng trong các kết cấu bể chứa lớn, các kết cấu mái tương đối lớn.

Nhóm V thường dùng trong các kết cấu mái có không gian lớn, các xilô v.v...

2.2. Các phương pháp liên kết vật liệu màng

Vật liệu màng mỏng thành phẩm thường ở dạng cuộn có khổ từ *150*cm đến *200* cm với chiều dài hàng trăm, thậm chí hàng nghìn mét. Tùy theo yêu cầu sử dụng người ta có thể dễ dàng xử lý để vật liệu có các tính chất phù hợp. Từ dạng cuộn này có thể cắt ra thành từng mảnh theo hình dáng được tính toán trước và liên kết lại thành các mặt cong hai chiều của kết cấu. Các phương pháp liên kết cần đạt được yêu cầu về cường độ và độ bền phù hợp.

Trong mục này chỉ đề cập đến các biện pháp liên kết vật liệu và tính năng cơ lý của chúng, còn việc tính toán thiết kế cắt may để tạo thành một kết cấu sẽ được đề cập đến trong phần sau.

Trong vật liệu màng mỏng thường sử dụng các loại liên kết sau:

2.2.1. Liên kết may

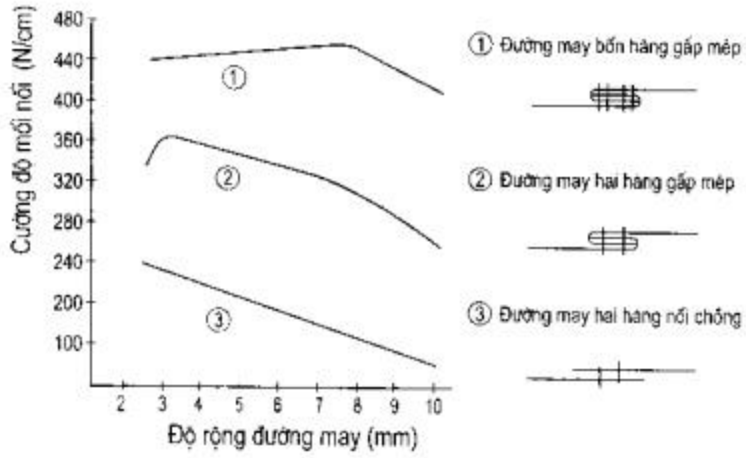
Liên kết màng mỏng bằng cách may là phương pháp có từ lâu đời nhất và cho đến nay vẫn còn được sử dụng. Ở thời kỳ trước, đường may được thực hiện bằng các loại chỉ sản xuất từ sợi bông nên dễ hư hỏng trong môi trường và chỉ đạt cường độ chịu lực thấp. Ngày nay ta vẫn có thể sử dụng phương pháp này với các loại chỉ phù hợp và ứng dụng công nghệ may tiên tiến. Phương pháp này có các ưu điểm sau:

- Có thể áp dụng cho tất cả các loại vật liệu màng mỏng.
- Không yêu cầu các thiết bị hiện đại và các kiến thức chuyên ngành.
- Dễ dàng kiểm tra được chất lượng đường may.

Khuyết điểm của phương pháp này là đường may dễ làm hỏng bề mặt của vật liệu: nước sẽ ngấm vào màng theo đường may làm hỏng vật liệu theo thời gian đồng thời làm mất khả năng giữ kín nước và giữ kín khí của màng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

mỏng. Có nhiều loại đường may để liên kết vật liệu màng: đường may đơn theo một đường thường không đảm bảo được yêu cầu liên kết nên thường sử dụng đường may gấp mép với hai hoặc bốn đường chỉ. Trên hình 2.6 cung cấp các số liệu về cường độ mối nối của một số loại đường may [13].



Hình 2.6. Các đường may liên kết màng và cường độ mối nối

Chỉ may dùng để liên kết thường là loại làm từ sợi PES có cường độ cao. Các loại chỉ may (trừ màu đen) để trần dưới tác dụng của ánh sáng bị lão hóa sớm hơn vật liệu màng nên cần có biện pháp bảo vệ đường may, ví dụ như phủ nhựa lên trên.

Các thông số kỹ thuật của đường may (độ lớn của kim, kiểu kim, số kim, độ lớn của chỉ, bề rộng đường may và độ căng của chỉ) cần được lựa chọn phù hợp với cường độ và loại vật liệu màng mỏng.

Phương pháp may được sử dụng để liên kết cốt vải của các mảnh vật liệu với nhau vì vậy cường độ của mối liên kết không phụ thuộc vào lực dính kết giữa cốt vải và lớp phủ như trong các phương pháp khác. Cường độ của mối liên kết may và các yếu tố ảnh hưởng tới mối nối sẽ được đề cập ở phần sau.

2.2.2. Liên kết dán

Phương pháp dán được dùng để liên kết các mảnh vật liệu màng mỏng và để sửa chữa các chỗ bị hư hỏng trên bề mặt hoặc chỗ bị rách. Kỹ thuật của phương pháp dán hiện nay đã có những tiến bộ rất nhanh về mặt lý thuyết cũng như về thực tế sử dụng. Với các chất keo dán mới hiện có ta có thể tạo ra các mối nối với cường độ gắn kết cao. Phương pháp liên kết này đã thực sự đáp ứng được các yêu cầu sử dụng của kết cấu.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Độ bền của mối liên kết này chịu ảnh hưởng của các yếu tố sau:

- ❖ Phụ thuộc tính chất của vật liệu cần dán (ví dụ: màng mỏng phủ PVC hay PUR) và đặc tính bề mặt của vật liệu.
- ❖ Tính chất của keo dán, vật liệu chế tạo keo (ví dụ: loại hoà tan, loại nhớt hay có tính phục hoạt).
- ❖ Phụ thuộc cách dán (bề dày bôi keo, bề rộng bôi keo, cách phết keo...).
- ❖ Môi trường xung quanh (thời tiết, nhiệt độ, áp lực...).

Các bước thực hiện mối nối dán thường có trình tự như sau:

- Chuẩn bị bề mặt: bề mặt của vật liệu trước khi dán phải sạch, khô, không bám bụi. Với các vật liệu dày và bóng, bề mặt cần được tạo nhám bằng bàn chải mịn.
- Bôi keo lên cả hai bề mặt vật liệu cần dán, bề dày keo phụ thuộc loại keo và độ dày của vật liệu màng.
- Ép hai miếng vật liệu cần dán và giữ nguyên đến khi keo khô, có thể dùng biện pháp nhiệt hoặc chiếu tia để rút ngắn thời gian khô của keo. Với loại keo có tác dụng phục hoạt, không cần công đoạn này.

Sử dụng phương pháp dán để liên kết màng mỏng có ưu điểm: không cần các thiết bị đặc biệt; có thể thực hiện ngay tại hiện trường, do đó phương pháp này còn được dùng phổ biến trong sửa chữa kết cấu. Tuy nhiên, để đảm bảo khả năng chịu lực của kết cấu, cần dùng các loại keo đặc biệt, có giá thành khá cao.

2.2.3. Liên kết hàn

Trong việc tạo hình kết cấu màng mỏng, phương pháp liên kết sử dụng mối hàn là rất phổ biến. Mối hàn được hình thành khi ở nhiệt độ cao hoặc do các chất hoà tan thích hợp với các nguyên tử của vật liệu màng mỏng gia tăng tính linh động và dưới tác động của áp lực chúng sẽ khuyếch tán lẫn vào nhau tại khu vực cần hàn. Như vậy, mối nối sẽ trở thành đồng nhất sau khi các chất hoà tan nguội hoặc khô. Chỉ với các vật liệu cấu tạo từ các phân tử lớn dạng chuỗi, có tính mềm khi chịu nhiệt mới có thể sử dụng phương pháp này. Phương pháp hàn dùng chất hoà tan về nguyên tắc giống như liên kết dán. Dưới đây chỉ trình bày các phương pháp hàn dùng nhiệt.

Các loại phương pháp hàn nhiệt thường dùng:

- ❖ Hàn cao tần.
- ❖ Hàn bằng khí ga nóng.
- ❖ Hàn bằng đốt điện.
- ❖ Hàn bằng siêu âm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

a) Hàn cao tần, HF (High Frequency)

Đây là phương pháp thông dụng nhất trong đó các điện cực, hoặc sự phân cực của vật liệu dưới dòng điện tần số cao tạo ra điện trường mạnh giữa các cực làm cho các phân tử của vật liệu lớp nhựa phủ chuyển động nhanh dần và sinh nhiệt. Tần số của dòng điện sử dụng phụ thuộc vào bề dày của vật liệu và đặc tính của điện cực, thường sử dụng tần số *27,12* MHz + 6%. Cường độ mối hàn phụ thuộc điện thế, với lớp phủ PVC mềm điện thế hiệu quả là: *1000~1500* V.

Các ưu điểm của phương pháp hàn cao tần:

- Cường độ chịu lực của liên kết hàn tương đối lớn.
- Liên kết bảo đảm tính kín nước, kín khí.
- Có thể phân đoạn công tác hàn mà liên kết vẫn đảm bảo.
- Độ sử dụng năng lượng cao.

Tuy nhiên, phương pháp hàn cao tần cũng có các nhược điểm sau:

- Việc áp dụng tại hiện trường bị hạn chế.
- Giá thiết bị và các điện cực còn cao.

Sau khi ép mạnh các điện cực, màng mỏng lõm xuống và tạo ra đường hàn với bề rộng chính là bề rộng của điện cực.

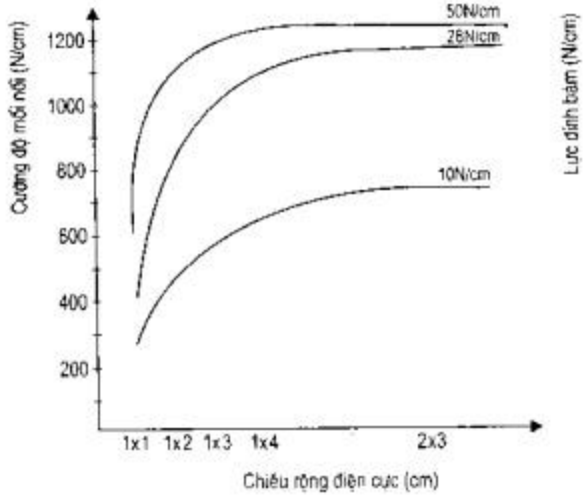
Để tạo ra các mối nối có cường độ phù hợp với cường độ của vật liệu cần liên kết, bề rộng của điện cực của máy cần được chọn lựa theo thể loại vật liệu màng. Bề rộng điện cực cũng quyết định công suất của thiết bị. Thường thường, đường hàn có bề rộng *20~60* mm. Bề rộng đường hàn tăng thì cường độ mối nối cũng tăng theo. Tuy nhiên, khi tăng đến một giới hạn nhất định thì việc gia tăng bề rộng đường hàn để làm tăng cường độ mối nối sẽ không còn tác dụng vì lúc đó cường độ liên kết đã xấp xỉ cường độ kéo đứt của vật liệu (xem hình 2.7, [13]).

Trong quá trình hàn chỉ có lớp phủ của hai phần vật liệu chảy ra, hòa vào nhau và trở nên đồng nhất, các nguyên liệu của lớp cốt vải vẫn giữ nguyên tính chất ban đầu kể cả với loại cốt dùng sợi dễ chảy như PA. Do đó lực dính bám giữa lớp nhựa phủ và cốt vải là rất quan trọng đối với cường độ đường hàn.

Theo các số liệu thí nghiệm đã công bố, thông thường cường độ mối hàn cao tần có giá trị bằng *85~95* % giá trị cường độ kéo đứt của vật liệu cần hàn.

Các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ của mối hàn cao tần như nhiệt độ, tải trọng dài hạn... sẽ được đề cập ở phần sau.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 2.7. Quan hệ giữa cường độ với lực dính bám và chiều rộng điện cực trong mối nối bằng hàn cao tần

b) Hàn bằng khí ga

Trong cách hàn này, để làm nóng chảy và hàn các mảnh màng mỏng với nhau người ta dẫn dòng khí ga nóng vào bề mặt của dải vật liệu cần hàn. Dòng không khí được đốt nóng nhờ điện năng. Trong phương pháp này, việc khống chế nhiệt độ cần thiết của khí là rất quan trọng.

Các ưu điểm của cách hàn khí ga:

- Khá đơn giản, rẻ tiền, thiết bị gọn dễ di chuyển và sử dụng nên có thể thực hiện tại hiện trường.
- Có khả năng tạo ra đường hàn liên tục, tương đối kín nước.
- Có khả năng sử dụng với nhiều loại vật liệu màng.

Tuy nhiên, cách hàn này cũng có các nhược điểm sau: cường độ chịu lực của mối nối thấp hơn và không đồng đều bằng hàn cao tần. Do đó, cách hàn bằng khí ga thường chỉ được sử dụng trong các kết cấu ít quan trọng hay khi cần sửa chữa kết cấu tại hiện trường.

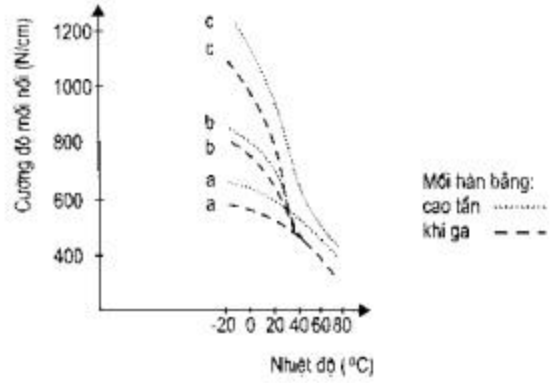
c) Hàn bằng mỏ hàn điện

Các mảnh màng mỏng cần hàn được đốt nóng bởi mỏ hàn có điện trở lớn, dạng hai thanh đối nhau, nhiệt độ hàn và khoảng cách giữa hai thanh có thể được điều chỉnh tuỳ theo độ dày của vật liệu cần hàn. Các ưu điểm và nhược điểm của phương pháp này tương tự như đã nêu trong cách hàn bằng khí ga.

Cường độ mối hàn bằng khí ga nóng và hàn bằng mỏ hàn điện ở nhiệt độ trong phòng đạt khoảng *70~90* % cường độ kéo đứt của vật liệu.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Đồ thị trên hình 2.8 (theo [13]) cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ đến cường độ của mối hàn bằng cao tần và bằng khí ga.



Hình 2.8. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến cường độ mối nối.
Cường độ vật liệu:
a) 600 N/cm
b) 840 N/cm
c) 1200 N/cm

d) Hàn bằng siêu âm

Với chất dẻo người ta có thể sử dụng sóng siêu âm để làm cho vật liệu nóng lên, gọi là nóng từ bên trong. Sóng âm thường sử dụng ở tần số *20~40* kHz. Công suất máy hàn thường chỉ vài kW trong khi công suất máy hàn cao tần có thể đến *12~18* kW. Về nguyên lý phương pháp này giống như hàn cao tần, mối hàn liên kết cũng được hình thành giống như trong mối hàn cao tần, các tính chất cơ lý của mối hàn cũng tương tự. Lợi thế của phương pháp này không chỉ ở chỗ sử dụng công suất ít hơn mà còn có khả năng đưa các chi tiết kim loại vào trong kết cấu màng nếu có các công cụ hàn thích hợp. Hiện nay, phương pháp này vẫn còn đang được tiếp tục nghiên cứu, hy vọng rằng trong tương lai không xa phương pháp sẽ được hoàn thiện và ứng dụng rộng rãi.

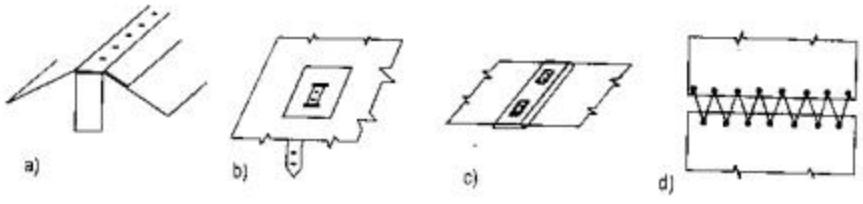
2.2.4. Liên kết cơ khí

Như đã biết, việc thực hiện các liên kết tại hiện trường thường gặp khó khăn, các phương pháp đã trình bày ở trên thường chỉ thực hiện được với quy mô nhỏ. Với các liên kết cơ khí ta có thể giải quyết vấn đề này một cách khá đơn giản.

Nhược điểm của các mối nối này là có cường độ thấp, đôi khi cần đưa vào trong vật liệu màng mỏng các bản liên kết đặc biệt. Việc chế tạo các kết cấu màng lớn trong xưởng chỉ có thể được hình thành từ nhiều phần màng nhỏ để dễ vận chuyển cũng như lắp dựng tại hiện trường. Lúc này thuận tiện nhất là sử dụng các giải pháp liên kết cơ khí.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trên hình 2. 9 (theo [13]), giới thiệu một số cách liên kết bằng cơ khí thường dùng.



Hình 2.9. Một số biện pháp nối cơ khí

a) nối bằng bản kim loại; b) khóa cài; c) nối bằng bulông; d) luồn dây qua các lỗ đục.

Các biện pháp này vừa được dùng để liên kết các mảnh phần tử màng với nhau vừa được dùng để liên kết vỏ màng mỏng với các kết cấu đỡ. Cách liên kết này có nhược điểm là không kín nước, để khắc phục vấn đề này người ta thường dùng nhựa hay một tấm màng khác phủ lên các chi tiết sau khi đã liên kết.

Các chi tiết liên kết trong kết cấu màng mỏng có tác dụng chính là truyền tải trọng tác dụng phân bố trên bề mặt màng xuống các kết cấu bên dưới, gia cố các điểm liên kết với các kết cấu khác để sao cho màng mỏng có thể chịu được các lực tập trung. Các chi tiết liên kết có thể là các chi tiết lỗ bằng kim loại (thép, nhôm), các dây polyamide cường độ cao hay cáp thép được gắn chặt vào màng nhờ đường hàn hay siết bulông thông qua các bản đệm kim loại, các khoá móc, băng dính được gắn vào vỏ màng v.v...

Việc cắt may kết cấu màng thường được thực hiện trong nhà máy, từng công đoạn phải được kiểm tra chất lượng một cách kỹ càng.

Việc kiểm tra được tiến hành theo các bước sau:

- Kiểm tra kích thước trên cơ sở các số liệu thiết kế.
- Kiểm tra các mối liên kết (độ hoàn thiện, cường độ, độ kín nước, kín khí).
- Kiểm tra các vùng đặc biệt (các chi tiết liên kết cơ khí, các dây gia cường, nút neo v.v...).

Sau khi kiểm tra, các kết cấu vỏ màng hay các phần kết cấu của vỏ màng được gập hay cuộn lại để vận chuyển, do tính mềm dẻo của vật liệu nên có thể gập được mà không làm hỏng vật liệu. Để tránh các hư hỏng như rách, trầy xước bề mặt màng mỏng người ta cho vào các túi kín để sao cho vận chuyển và lắp dựng tại hiện trường sau này được thuận lợi và dễ dàng.

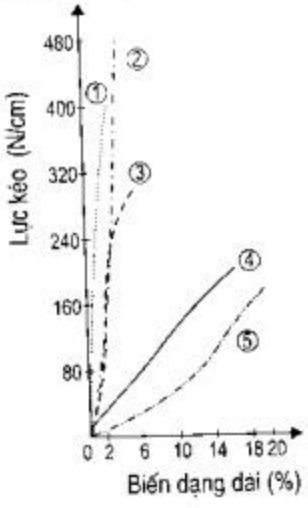
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

2.3. Tính năng cơ học của vật liệu màng mỏng

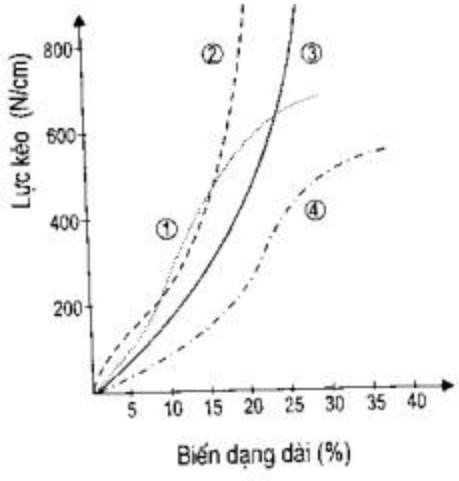
Do đặc điểm cấu tạo của vật liệu màng mỏng bao gồm lớp cốt vải và lớp nhựa phủ nên tính năng cơ học của màng mỏng được quyết định phần lớn bởi tính năng cơ học của cốt vải, một phần phụ thuộc tính năng của lớp nhựa phủ và cũng được quyết định bởi lực dính kết giữa chúng.

Tính năng của cốt vải lại phụ thuộc tính năng của sợi cường độ cao chế tạo ra nó. Theo [13], các biểu đồ thí nghiệm kéo của một số sợi cường độ cao và thép như trên hình 2.10. Trên hình 2.11 là các biểu đồ quan hệ giữa lực kéo và độ dãn dài của một số màng mỏng chế tạo từ sợi cường độ cao.

Hình 2.10. Biểu đồ lực kéo - độ dãn dài của các loại cốt vải.
① ····· Sợi thép
② ·-·-·- Aromas Polyamid
③ - - - - - Sợi thủy tinh
④ —— Sợi PE
⑤ —·—· Sợi PA



Hình 2.11. Biểu đồ lực kéo - độ dãn dài của màng mỏng từ sợi cường độ cao.
Màng mỏng từ sợi:
① ····· PA (dọc)
② - - - - - PES (dọc)
③ —— PES (ngang)
④ ·-·-·- PA (ngang)



Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Khi sử dụng ta xem vật liệu màng như một vật liệu thống nhất trong các kết cấu với các tính năng cơ học quan trọng cần quan tâm là: cường độ kéo đứt, biến dạng dài, cường độ chống xé rách, cường độ mối nối, lực kết dính giữa cốt vải và nhựa phủ. Cũng cần thấy là các tính năng cơ lý của vật liệu màng còn phụ thuộc khá nhiều các yếu tố như: thời tiết, độ lớn của tải trọng tác động. Như vậy, *về bản chất vật liệu màng mỏng khác với các vật liệu truyền thống.*

2.3.1. Sự dính bám giữa cốt vải và nhựa phủ trong màng mỏng

Lực dính bám giữa hai vật liệu này là yếu tố quan trọng trong các tính chất của vật liệu:

- Chỉ trong trường hợp có đủ lực dính bám thì hai thành phần của vật liệu màng mỏng mới cùng nhau làm việc trong kết cấu với tư cách một vật liệu duy nhất.
- Lực dính bám tạo ra cường độ của mối nối màng theo các phương pháp dán hoặc hàn.
- Cường độ chống xé rách và lực dính bám có mối quan hệ khăng khít.

Độ dính bám giữa cốt vải và nhựa phủ của vật liệu màng được xác định bằng thí nghiệm và được đo bằng giá trị lực làm tách nhựa phủ ra khỏi cốt vải của *1* cm vật liệu màng. Các thí nghiệm xác định độ dính cũng như thiết bị thí nghiệm được trình bày trong [12; 22].

Các yếu tố tạo nên độ dính giữa hai thành phần của vật liệu màng bao gồm:

a) Độ dính bám cơ học

Khi tráng lớp phủ trên cốt vải, nhựa nóng chảy sẽ len lỏi lấp đầy các lỗ hổng, khe hở giữa sợi ngang và sợi dọc của cốt vải, lực căng bề mặt của nhựa khi khô tạo ra độ dính bám cơ học. Độ dính này phụ thuộc cấu trúc của cốt vải và của nhựa phủ. Với bề mặt khá nhẵn của các loại cốt sợi cường độ cao như PES, PA kết hợp với lớp phủ nhựa PVC mềm hoặc cao su, độ dính cơ học thường khá nhỏ.

b) Độ dính bám hoá học

Lực dính bám được tạo ra nhờ một loạt các phản ứng hoá học giữa các phân tử của hai loại vật liệu. Sự hình thành của lực dính bám hoá học cho phép vật liệu đạt được mức độ dính mong muốn.

Theo các thí nghiệm đã công bố của H. Mewes [22] hay U. Eichert [5], để có thể liên kết vật liệu bằng phương pháp dán hay hàn cao tần thì độ dính bám của vật liệu phải đạt ít nhất *20* N/cm đối với màng nhóm II hay

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

30 N/cm đối với màng nhóm III. Còn nếu tăng lực dính bám lên quá mức cần thiết thì sẽ làm cứng vật liệu và làm giảm cường độ chống xé rách.

2.3.2. Cường độ kéo đứt và độ dãn dài của màng mỏng

Độ chống kéo đứt của vật liệu màng là lực kéo nhỏ nhất làm đứt một đơn vị bề rộng tiết diện ngang của vật liệu, được xác định thông qua thí nghiệm kéo đứt các mẫu vật liệu màng. Giá trị này cần được xác định trên cơ sở lý thuyết thống kê bởi vì độ dày của lớp cốt vải không đồng đều và do đó chiều dày lớp phủ cũng không đồng đều, tuy nhiên trên thực tế lớp phủ cũng ít ảnh hưởng đến độ chống kéo đứt của màng. Việc thí nghiệm cường độ kéo đứt của màng phải được thực hiện riêng biệt theo hai phương: phương dọc và phương ngang, các phương khác ít có ý nghĩa.

a) Thí nghiệm kéo nhanh

Một trong những đặc trưng cơ học của vật liệu là khả năng chịu lực của chúng. Người ta thường tiến hành thí nghiệm kéo cho đến khi vật liệu bị phá hủy để xác định khả năng chịu lực của chúng. Thí nghiệm cần được thực hiện theo đúng các quy định trong các Tiêu chuẩn kỹ thuật của các nước, ví dụ theo tiêu chuẩn xây dựng của Hungary MSZ 7257/2 hoặc tiêu chuẩn xây dựng của Đức DIN 53354: cần thực hiện ít nhất 3 mẫu thử; chiều rộng mẫu thử là *5* cm; chiều dài tự do (không kể phần kẹp chặt trong thiết bị kéo) là *20* cm; tốc độ kéo *100* mm/phút. Trong quá trình thí nghiệm thiết bị sẽ tự động ghi lại biểu đồ quan hệ giữa lực kéo và biến dạng cũng như lực kéo đứt, độ dãn dài khi đứt của mẫu thử. Kết quả thí nghiệm thường không đồng đều. Một trong những nguyên nhân của hiện tượng này là do không thể nhìn thấy cấu trúc của cốt vải nên khi cắt mẫu thử có thể đã có một vài sợi vải bị cắt đứt, vì vậy mức độ chống kéo đứt của mẫu khi thí nghiệm thường nhỏ hơn thực tế.

b) Cường độ kéo đứt

Các loại vật liệu màng có giá trị chống kéo đứt khác nhau, phụ thuộc phần lớn vào thành phần của cốt vải cũng như cấu tạo của chúng. Mỗi loại màng mỏng đáp ứng một yêu cầu nhất định về khả năng sử dụng nên cần phân loại vật liệu thành các nhóm có cường độ kéo đứt khác nhau như trong bảng 2.3, [13]. Tương tự như các vật liệu truyền thống khác như thép, xi măng... cường độ vật liệu màng dùng trong kết cấu như các nhóm II và III cần được đảm bảo bằng quá trình kiểm tra chất lượng nghiêm ngặt từng khâu trong nhà máy.

Việc thí nghiệm về cường độ cần được tiến hành với một khối lượng lớn các mẫu thử (xem bảng 2.3) và vận dụng phương pháp xác suất thống kê

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

để xử lý số liệu tìm ra giá trị của đại lợng này (xem biểu đồ trên hình 2.12). Giá trị cờng độ của màng mỏng dùng trong thiết kế là trị số đảm bảo ít nhất *95 %* mẫu thí nghiệm có lực kéo đứt lớn hơn.

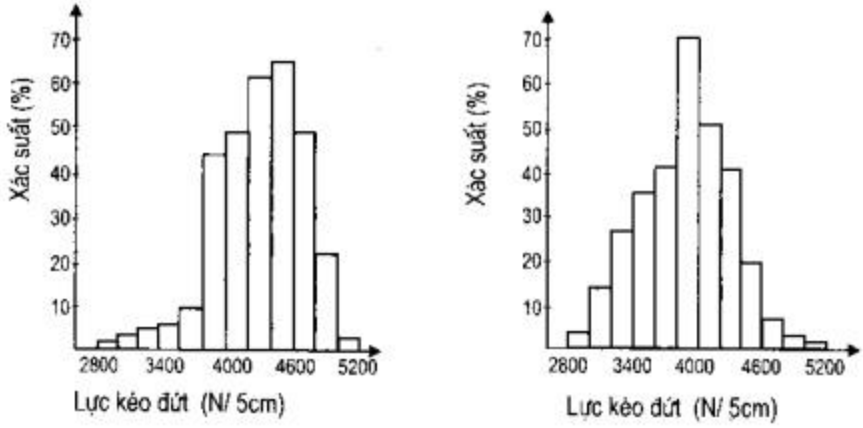
Qua nghiên cứu về ảnh hưởng của kích thước mẫu thử người ta thấy cường độ chịu kéo đứt giữa các mẫu thử tiêu chuẩn có bề rộng *5* cm và các mẫu có bề rộng lớn hơn (*140, ..., 200* cm) không có sự khác biệt lớn. Người ta cũng đã thực hiện thí nghiệm về cường độ chịu kéo đứt của vật liệu với các tốc độ kéo khác nhau, mối quan hệ giữa chúng được trình bày trong bảng 2.4, [13].

Bảng 2.3. **Cường độ và biến dạng của vật liệu màng nhóm II và III**

Giá trị		Vật liệu màng nhóm II		Vật liệu màng nhóm III	
		Phương dọc	Phương ngang	Phương dọc	Phương ngang
Cường độ (N/cm)	Trung bình	704	672	850	770
	Với xác suất 95%	595	540	713	616
Độ dãn dài khi đứt (%)		22	32	21	27

Bảng 2.4. **Cường độ kéo đứt theo tốc độ kéo mẫu khi thí nghiệm**

Với vật liệu màng nhóm III	Tốc độ kéo mẫu thí nghiệm (mm / phút)					
	0,5	1	5	20	100	500
Cường độ kéo đứt (N/cm)	827	831	852	872	900	917



Hình 2.12. Sự phân bố giá trị lực kéo đứt của vật liệu
a) theo phương dọc; b) theo phương ngang.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Từ nay về sau ta gọi *cường độ kéo đứt* của vật liệu là giá trị lực kéo của một đơn vị bề rộng màng khi màng bắt đầu đứt trong thí nghiệm mẫu thử tiêu chuẩn với các điều kiện quy định theo quy trình, và lấy đó làm đơn vị để thực hiện các nghiên cứu sau này.

c) Biến dạng của màng khi chịu tải

Từ biểu đồ thí nghiệm kéo mẫu ta thấy quan hệ giữa biến dạng và tải trọng không tuyến tính, đường cong biểu thị mối quan hệ này thậm chí còn bao gồm nhiều đoạn với độ cong khác nhau. Biến dạng khi chịu tải theo phương dọc và phương ngang cũng khác nhau đáng kể. Thường người ta tìm kết quả là quan hệ giữa ứng suất và biến dạng theo thí nghiệm, sau đó đưa ra các mức biến dạng của vật liệu tương ứng với các mức tải trọng khác nhau như trong bảng 2.5 [13].

***Bảng 2.5.* Quan hệ giữa biến dạng và tải trọng ở thí nghiệm kéo nhanh**

Tải trọng kéo đứt tính theo %	Vật liệu màng nhóm II		Vật liệu màng nhóm III	
	Biến dạng tỷ đối (%) theo			
	phương dọc	phương ngang	phương dọc	phương ngang
10	1	6	1	4
25	6	13	6	11
50	11	19	11	16
100	19	30	20	25

Biến dạng của vật liệu khi chịu tác động lâu dài của tải trọng sẽ để cập ở phần sau.

d) Môđun đàn hồi của vật liệu màng mỏng

Với vật liệu đàn hồi thông thường, môđun đàn hồi tương ứng là giá trị đạo hàm của đồ thị mô tả mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng, thường được xem gần đúng là một đại lượng không đổi, không phụ thuộc độ lớn của ứng suất.

Với vật liệu tổng hợp nói chung và màng mỏng nói riêng, đường quan hệ ứng suất - biến dạng không tuyến tính, môđun đàn hồi không phải là hằng số. Bằng các thí nghiệm ta xác định được giá trị của môđun đàn hồi của vật liệu này theo định nghĩa: môđun đàn hồi là *tang* của góc nghiêng của tiếp tuyến với đường cong ứng suất - biến dạng. Đối với vật liệu màng, do bề dầy thường không đổi nên ứng suất được xác định bằng lực trên đơn vị bề ngang, thường là N/cm, do đó môđun đàn hồi E có đơn vị tương ứng là N/cm. Tuy nhiên, với mỗi mức tải trọng khác nhau, môđun đàn hồi tương ứng cũng có

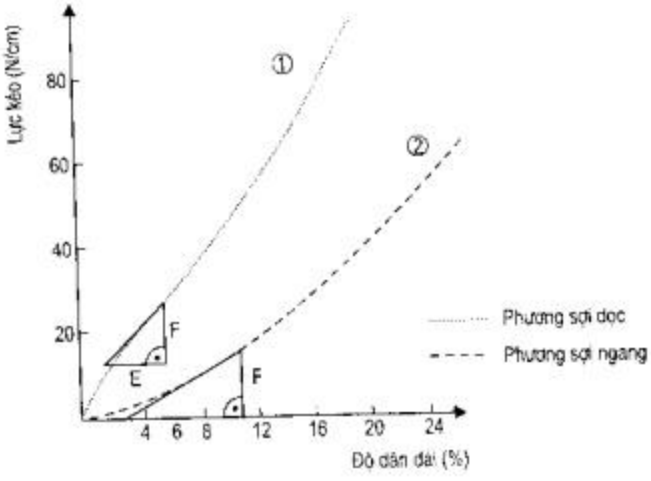
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

những giá trị khác nhau. Qua nhiều thí nghiệm kéo mẫu, theo [13] ta có đường quan hệ ứng suất - biến dạng đặc trưng theo phương sợi dọc và theo phương sợi ngang như trên hình 2.13. Ta thấy:

❖ Theo phương sợi ngang có thể xấp xỉ thay đường cong ứng suất - biến dạng bằng đường parabol và như vậy, nếu ứng suất tăng thì môđun đàn hồi theo phương tương ứng cũng tăng và ở giá trị ứng suất bằng 50% ứng suất kéo đứt trở lên thì môđun đàn hồi tương ứng xấp xỉ là hằng số.

❖ Còn theo phương sợi dọc, đường cong có thể chia thành ba giai đoạn như sau:

- Giai đoạn đầu: tuyến tính, ở giai đoạn này, ứng suất nằm trong khoảng *8~10* % cường độ kéo đứt.
- Giai đoạn giữa: khi ứng suất tăng thì môđun đàn hồi giảm, ở giai đoạn này ứng suất tăng đến khoảng 25 % cường độ kéo đứt.
- Giai đoạn cuối: môđun đàn hồi lại tăng khi tăng tải. Khi ứng suất đạt *50* % cường độ kéo đứt trở lên thì có thể coi môđun đàn hồi là hằng số.



Hình 2.13. Xác định môđun đàn hồi trên đường ứng suất - biến dạng

Bảng 2.6. **Môđun đàn hồi của vật liệu màng tương ứng với các mức tải tính theo % của cường độ kéo đứt (N/mm)**

Vật liệu màng	Môđun đàn hồi theo phương dọc			Môđun đàn hồi theo phương ngang		
	$E_{10\%}$	$E_{25\%}$	$E_{50\%}$	$E_{10\%}$	$E_{25\%}$	$E_{50\%}$
Nhóm II	591	218	467	187	177	333
Nhóm III	820	276	650	390	229	466

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Môđun đàn hồi theo phương sợi dọc của màng lớn hơn theo phương sợi ngang.

Bảng 2.6 [13]. cung cấp giá trị của môđun đàn hồi của vật liệu màng tương ứng với các mức tải tính theo % của cường độ kéo đứt.

e) Độ bền chống cắt của vật liệu màng mỏng

Khi chịu tải, vật liệu màng thường xuyên chịu các biến dạng tổng hợp phức tạp. Trong kết cấu vỏ cong hai chiều lực cắt cũng có ảnh hưởng đến biến dạng của kết cấu. Vật liệu màng có độ bền chống cắt khá nhỏ đồng thời màng mỏng không có khả năng tiếp nhận ứng lực nén nên ở trạng thái biến dạng không gian, các tác động này sẽ gây ra trên màng các nếp nhăn.

Khi kiểm tra độ bền chống cắt của màng ta thấy khả năng chịu cắt lớn nhất của màng theo hai phương nghiêng so với sợi của cốt vải một góc 45° (còn theo các phương này thì độ bền chịu kéo của vật liệu là nhỏ nhất).

Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm của W. Hearle và J. Skelton cho thấy quan hệ giữa ứng suất tiếp và biến dạng trượt của vật liệu là rất phức tạp. M.H. Losch [18] đã nghiên cứu tính chất cơ học của vật liệu với quan niệm màng là vật liệu dẻo, hai chiều, đồng nhất, không tuyến tính và đã thành công trong việc đưa ra mô hình toán học, trong đó các quy luật ứng xử tổng hợp của vật liệu phụ thuộc các hằng số cơ học tổng hợp của vật liệu, các hằng số được xác định bằng thực nghiệm.

f) Cường độ của vật liệu màng dưới tác động của nhiệt

Trong thực tế, khả năng chịu lực của vật liệu màng thay đổi theo nhiệt độ tại bề mặt vật liệu (nhiệt độ sử dụng thường dao động trong khoảng từ −20°C đến +70°C).

Các nghiên cứu thực nghiệm của W. Lechle và D.I. Strack [33] cùng một số các nhà khoa học khác đã công bố trên các Tạp chí Công nghiệp dệt cho thấy: với màng được chế tạo từ sợi PES phủ PVC mềm, cường độ chịu lực của vật liệu sẽ giảm đi, biến dạng tỷ đối lại tăng lên khi nhiệt độ tăng nhưng sự thay đổi này là nhỏ. Tuy nhiên, khi chịu tác dụng lâu dài của nhiệt độ thì cường độ chịu lực của vật liệu giảm đáng kể. Qua đó người ta cũng đưa ra khái niệm về cường độ dài hạn của màng. Ta sẽ quan tâm đến vấn đề này ở các phần sau: "*Cường độ chống xé rách*", "*Các phương pháp liên kết vật liệu màng*" khi ảnh hưởng của nhiệt độ là đáng kể.

2.3.3. Vật liệu màng dưới tác động của tải trọng dài hạn

Trên đây đã giới thiệu các đặc trưng cơ học của vật liệu màng dưới tác động của tải trọng tác dụng nhanh (hay còn gọi là tải trọng ngắn hạn). Tuy nhiên do cấu trúc phân tử của các thành phần vật liệu màng, các đặc trưng cơ

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

học này không những phụ thuộc vật liệu màng chế tạo từ các loại cốt vải khác nhau mà còn phụ thuộc tốc độ gia tải và thời gian giữ tải nữa. Kết quả thí nghiệm cho thấy khi tăng tốc độ gia tải thì cường độ kéo đứt cũng tăng còn biến dạng tỷ đối khi đứt hầu như không thay đổi.

Trong bảng 2.7 là kết quả thí nghiệm với vật liệu màng nhóm III tương ứng với các tải trọng dài hạn. Các nghiên cứu cụ thể về vấn đề này đã được công bố trong các tài liệu [1; 7; 19; 33...].

***Bảng 2.7.* Tác động của tải trọng dài hạn đến biến dạng của vật liệu**

Tải trọng so với tải kéo đứt nhanh (%)	Thời gian giữ tải (Giờ)	Biến dạng (%)	
		theo phương dọc	theo phương ngang
2	1	-	2
5	1	0,5	5
25	1	4	12
50	1	7,5	17
80	1	11	20
80	10,5	11,5 (đứt)	20,5 (đứt)

a) Cường độ của vật liệu màng dưới tác động của tải trọng dài hạn

Các thí nghiệm xác định sức chịu kéo đứt của mẫu thử tiêu chuẩn với các trị số tải trọng khác nhau và với thời gian giữ tải khác nhau cho thấy: với thời gian giữ tải là *10* giờ, mẫu bị kéo đứt ở tải trọng bằng *80%* cường độ kéo đứt khi kéo nhanh; với thời gian giữ tải là *2500* giờ thì tải trọng này bằng khoảng *70%*. Còn các thí nghiệm với *50%* cường độ kéo đứt khi kéo nhanh và thời gian giữ tải đến trên *10* ngàn giờ thì không có mẫu nào bị kéo đứt theo cả phương dọc và phương ngang. Trong quá trình gia tải, biến dạng tỷ đối của vật liệu tăng gần đúng theo quy luật tuyến tính.

Kết quả các thí nghiệm xác định biến dạng theo thời gian cho trong bảng 2.7.

Dựa vào các biểu đồ thí nghiệm, D.I. Strack [33], một tác giả người Đức đã lập được công thức liên hệ giữa cường độ của vật liệu và thời gian tác động của tải trọng dài hạn đối với màng PES phủ PVC như sau:

$$Lg\ N_t = A + B\ lg(t / t_g),$$

trong đó:

N_t – ứng suất kéo đứt của vật liệu;

t – thời gian tác động của tải trọng;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

t_g – thời gian tham khảo thường lấy bằng 1 giờ;

A và B – các hằng số phụ thuộc loại vật liệu và nhiệt độ của vật liệu.

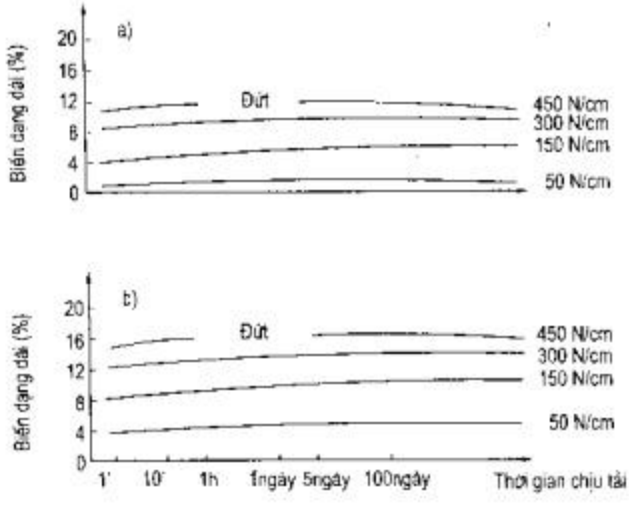
Nhiệt độ thường gặp trong khi chịu lực của vật liệu là *20*°C (nhiệt độ trung bình) và *70*°C (nhiệt độ lớn nhất của vật liệu khi chịu ánh nắng giữa trưa mùa hè). Từ các thí nghiệm cho thấy trị số cường độ của vật liệu của màng nhóm III và nhóm IV phụ thuộc thời gian gia tải và cho trong bảng 2.8 [13].

Bảng 2.8. **Cường độ dài hạn của vật liệu màng theo phương dọc ở nhiệt độ 20°C và 70°C**

Màng	Nhiệt độ °C	Các hằng số		Lực kéo đứt (N/cm)		
		A	B	Kéo nhanh	Sau 15 năm	Tỷ lệ
Nhóm III	20	2,86	– 0,0163	847	601	0,71
	70	2,83	– 0,0206	791	529	0,67
Nhóm IV	20	2,93	– 0,0167	1026	704	0,69
	70	2,9	– 0,0205	945	618	0,65

b) Hiện tượng chảy dẻo của vật liệu

Dưới tác động của tải trọng dài hạn khi tải trọng không tăng nhưng biến dạng vẫn tăng theo thời gian, đây là hiện tượng chảy dẻo.



Hình 2.14. Tác động của hiện tượng chảy dẻo theo một phương
a) theo phương dọc; b) theo phương ngang.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trên biểu đồ biểu thị quan hệ giữa thời gian và biến dạng của vật liệu (hình 2.14, [13]) ta thấy có sự hình thành hai đoạn rõ rệt.

- Đoạn đầu xảy ra trong thời gian vài giây, trong giai đoạn này biến dạng có tính đàn hồi.
- Đoạn chảy dẻo, trong giai đoạn này biến dạng dư trội hơn.

Theo kết quả thí nghiệm, biến dạng chảy của vật liệu vào khoảng *2 %* ở *70*°C. Biến dạng chảy của vật liệu theo phương dọc thường nhỏ hơn phương ngang. Quá trình chảy và các yếu tố ảnh hưởng đến nó đối với vật liệu màng có cốt vải từ sợi PES và PA là tương tự. Sợi PA có biến dạng lớn hơn và biến dạng chảy cũng lớn hơn, ngoài ra sợi này còn chịu ảnh hưởng của độ ẩm [1, 14]. Theo các nghiên cứu tổng kết tiến hành trên 200 công trình đã sử dụng đến 15 năm người ta nhận thấy các kết cấu mái màng khi có ứng suất do tải dài hạn (do ứng lực trước cả căng trước và căng sau) chiếm *15* % lực kéo đứt của mẫu thử vật liệu, còn ứng suất do tải trọng ngắn hạn như gió, tuyết có trị số tuyệt đối đạt đến *80%* giá trị ứng lực trước, đều làm việc an toàn.

2.3.4. Ảnh hưởng của sự lão hoá tới độ bền của vật liệu

Lão hoá của vật liệu màng là một hiện tượng phức tạp. Dưới các tác động của môi trường bên ngoài như: ánh sáng, nhiệt độ, nước, các hoá chất hoặc do các vi sinh vật, lớp nhựa tổng hợp phủ bên ngoài bị thay đổi cấu trúc và dẫn đến lão hoá. Cốt vải của vật liệu cũng như các tính chất của chúng vẫn chưa bị hư hại chừng nào lớp phủ bên ngoài chưa bị lão hoá. Với chất lượng và chiều dày thích hợp, lớp phủ PVC hoàn toàn giữ được cường độ của vật liệu trong 5 năm đầu và sau đó giảm chậm. Khi bị lão hoá lớp phủ PVC bắt đầu bị bạc màu. Sau 7 đến 12 năm lớp phủ bắt đầu bị lão hoá, lúc này lớp nhựa phủ bị cứng, xuất hiện các vết nứt nhỏ li ti và lớn dần lên, khi đó cốt vải trực tiếp chịu tác động và giảm chất lượng, quá trình này diễn ra khá nhanh. Vì vậy sau khi trên lớp nhựa phủ xuất hiện vết nứt thì trong vòng 1 năm cần thay thế màng bằng lớp màng mới.

2.3.5. Ảnh hưởng của tải trọng tác dụng lặp tới độ bền vật liệu-độ bền mỏi

Trong thực tế, màng còn chịu tải trọng tác dụng lặp, ví dụ như khi chịu tác động của gió. Theo các nghiên cứu bằng thực nghiệm đã công bố của G. Menges [19] và R. Seaman [28] trên các Tạp chí về Vải kỹ thuật và cao su: với tải trọng lặp có chu kỳ ngắn (tương tự tác động của gió) tác động trong một tuần với cường độ bằng 50% cường độ kéo đứt, sau đó dỡ tải và theo dõi trong khoảng 1 đến 3 tuần người ta thấy biến dạng vẫn tiếp diễn tương tự

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

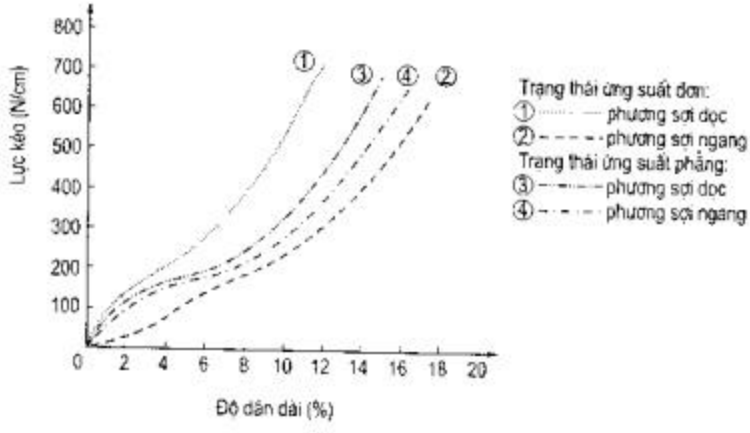
như hiện tượng chảy nếu vẫn duy trì tải tác dụng tĩnh có cùng độ lớn. Các thí nghiệm với tải trọng lặp 50.000 chu kỳ ngắn (*10* s, hay tần số *5* Hz) và trị số bằng *10; 25; 50%* cường độ kéo đứt cho thấy: biến dạng trong trường hợp này đạt đến trị số giới hạn sớm hơn so với biến dạng chảy khi chịu tải trọng không đổi có cùng độ lớn. Tuy vậy, cũng theo [16, 19], cường độ chịu lực của vật liệu không bị giảm do tác dụng lặp của tải trọng.

Do đó khi thiết kế ta chỉ cần chú ý đến biến dạng của vật liệu màng khi chịu tác động lâu dài của tải trọng.

2.3.6. Sự làm việc của vật liệu khi chịu trạng thái ứng suất theo hai phương

Trong kết cấu, vật liệu màng thường chịu lực phức tạp, theo nhiều phương. Người ta tìm cách xác định các đặc trưng cơ học của vật liệu ở trạng thái ứng suất tương ứng với khi màng phải chịu trong kết cấu công trình. Trên thực tế ta cố gắng để sao cho màng chịu các ứng suất kéo theo hai phương chính (phương sợi dọc và phương sợi ngang), nằm trong mặt màng, như vậy có thể xem gần đúng như màng làm việc theo "trạng thái ứng suất phẳng".

Nhiều nghiên cứu cho thấy đường cong ứng suất – biến dạng của vật liệu màng mỏng sử dụng trong kết cấu có thể diễn tả bằng mô hình toán. Trong các thí nghiệm người ta đã sử dụng các thiết bị đo khác nhau để xác định biến dạng của vật liệu khi chịu tác dụng đồng thời ứng suất theo hai phương.



Hình 2.15 . Độ dãn dài khi màng ở trạng thái ứng suất đơn và phẳng

Qua một loạt các thí nghiệm tương ứng với các tỷ lệ khác nhau của tải trọng so với tải trọng kéo đứt, H. Miami [23] đã tìm được các đường cong

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

ứng suất – biến dạng, một trong số đó có dạng như trên hình 2.15. Từ hình vẽ ta thấy hai đường cong ứng suất – biến dạng của vật liệu ở trạng thái ứng suất phẳng gần nhau hơn, tính chất cơ lý của vật liệu ở trạng thái ứng suất theo hai phương đồng đều hơn so với trường hợp trạng thái ứng suất đơn.

G. Menges [20] đã nghiên cứu sự làm việc của vật liệu trong trạng thái ứng suất theo ba phương và thấy rằng: khi các sợi của cốt vải biến dạng thì góc độ của các sợi cũng bị thay đổi. G. Rehm [26] cũng đã tiến hành thí nghiệm đo biến dạng dọc, ngang và theo phương đường chéo do tác động của tải trọng nhỏ, dài hạn và chịu sự thay đổi nhiệt độ theo chu kỳ.

Sau đây là tổng kết các kết quả đã được nghiên cứu về các đặc trưng cơ học quan trọng nhất của vật liệu ở trạng thái ứng suất phẳng.

a) Cường độ và cường độ dài hạn của vật liệu

• Trong trạng thái ứng suất phẳng, cấu trúc của cốt vải bị thay đổi, cốt vải bị biến dạng theo cả phương dọc, phương ngang và tỷ lệ với độ lớn của ứng suất, ngoài ra góc độ của các sợi vải cũng bị xô lệch.

• Khi tăng tải trọng, ở giai đoạn đầu vật liệu biến dạng đàn hồi sau đó phát sinh biến dạng dẻo.

• Trong trạng thái ứng suất phẳng, cường độ chịu lực của vật liệu giảm *20~25 %* theo phương dọc, *10~20 %* theo phương ngang so với khi chịu kéo đơn, nhưng theo hai phương cơ bản (phương sợi dọc và phương sợi ngang) thì cường độ của chúng ở trạng thái này ít chênh lệch hơn.

• Trong ứng dụng thực tế ta quan tâm nhiều đến cường độ dài hạn của vật liệu. Nhiều thí nghiệm và nghiên cứu độc lập đã chứng tỏ rằng với tải trọng bằng 50% cường độ kéo đứt mẫu thử theo một phương, và với bất kỳ nhiệt độ nào vật liệu vẫn không bị phá hoại. Vật liệu làm việc với tải trọng dài hạn theo hai phương tương tự khi chịu lực theo một phương và sau khi dỡ tải cường độ vật liệu xấp xỉ cường độ ban đầu.

b) Biến dạng dài và độ chảy của vật liệu

• Trong thí nghiệm kéo theo một trục, biến dạng dọc của vật liệu theo hai phương (dọc và ngang) chênh lệch nhau đáng kể. Khi làm việc theo hai phương, các biến dạng này xấp xỉ như nhau với cấp tải bằng *20 %* cường độ kéo đứt, còn ở các cấp tải cao hơn thì phương dọc biến dạng ít hơn phương ngang nhưng độ lệch cũng giảm đáng kể so với trường hợp kéo theo một trục.

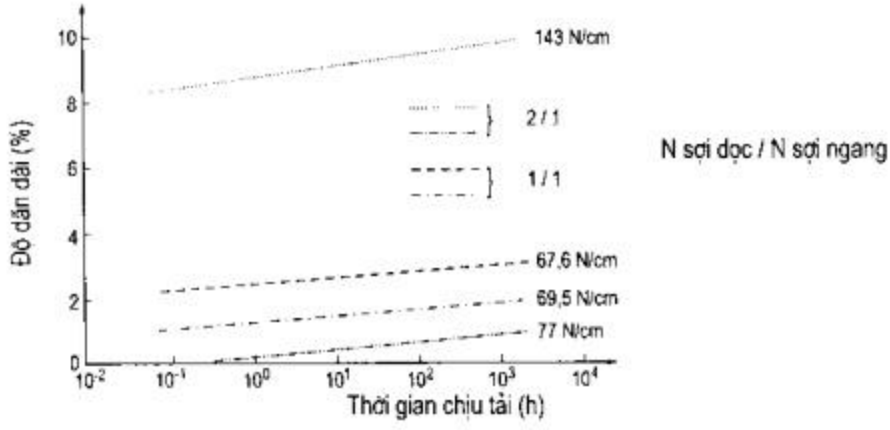
• Khi chịu tải trọng dài hạn, trong vật liệu có hiện tượng chảy tức là tải trọng không tăng nhưng biến dạng tăng. Trong thí nghiệm kéo một trục với

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

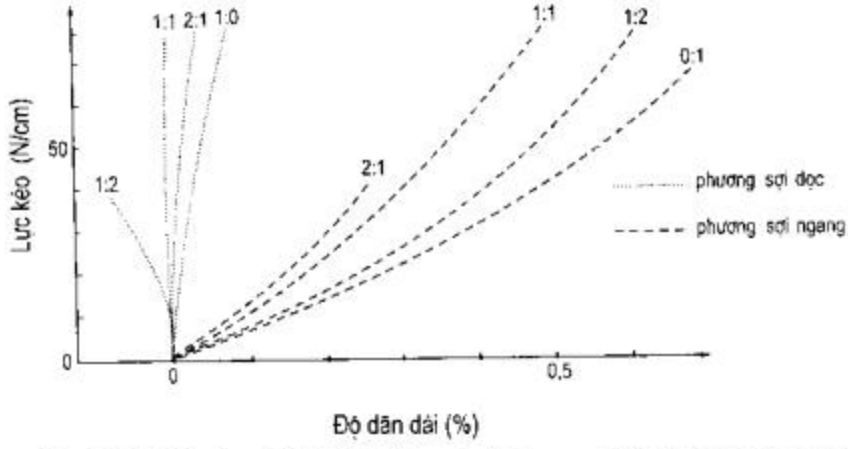
thời gian 100 ngày và tải trọng tương ứng bằng 50% cường độ kéo đứt mẫu thử thì độ chảy theo phương dọc là 9%, theo phương ngang là 13%. Khi chịu ứng suất theo hai phương thì các giá trị này tương ứng là *10* % và *11* % (xem hình 2.16).

Như vậy, độ bền cũng như biến dạng của vật liệu màng ở trạng thái ứng suất phẳng theo phương dọc và phương ngang ít chênh lệch và tính dị hướng cũng ít khác biệt hơn so với trường hợp trạng thái ứng suất đơn [12].

• Độ lớn của biến dạng phụ thuộc nhiều vào tỷ lệ độ lớn giữa các ứng suất theo hai phương, nhất là khi tải trọng tác dụng còn nhỏ (xem hình 2.17).



Hình 2.16 . Hiện tượng chảy ở trạng thái ứng suất phẳng



Hình 2.17. Độ dãn dài dưới tác động của tải trọng nhỏ tương ứng với các tỷ lệ
Tải theo phương dọc : Tải theo phương ngang

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Điều này có ý nghĩa quan trọng trong thiết kế kết cấu, đặc biệt là khi xác định hình dạng ban đầu của hệ, khi hình dạng kết cấu phụ thuộc lực căng trong màng mỏng.

Theo các nghiên cứu của G. Rehm [26] với các vật liệu màng thuộc nhóm II và III tương ứng với ứng suất căng bằng 3% cường độ kéo đứt, biến dạng theo hai phương của vật liệu ở trạng thái ứng suất đơn và ứng suất phẳng sai khác nhiều.

Trong bảng 2.9 [13] cho các giá trị biến dạng tỷ đối của màng nhóm III tương ứng với ứng suất *20* N/cm.

***Bảng 2.9.* Biến dạng tỷ đối của màng nhóm III với ứng suất 20 N/cm**

	Trạng thái ứng suất đơn	Trạng thái ứng suất phẳng
Theo phương dọc cốt vải	0,25%	0
Theo phương ngang cốt vải	2,5%	3,4%

c) Hiện tượng đứt chìm của vật liệu

Trong thực tế còn có một vấn đề làm hư hỏng vật liệu màng, đó là hiện tượng đứt chìm của một số sợi vải. Điều này có ảnh hưởng quyết định đến khả năng chịu lực của cả kết cấu tùy theo mức độ bị đứt. Trong mục trước đã nói đến khái niệm *cường độ chống xé rách* tức là khả năng chịu tải của vật liệu ở trạng thái ứng suất phẳng và có những khuyết tật nhất định trong vật liệu.

Trong [23], H. Miami và các đồng nghiệp đã công bố thí nghiệm kéo mẫu thử rộng *100* mm trong đó có các vết đứt chìm ở cả phương dọc và phương ngang rộng *10* mm. Kết quả cho thấy cường độ của màng giảm khoảng *50%*, giảm nhiều nhất khi vết đứt vuông góc với sợi còn theo phương nghiêng 45^{o} thì cường độ vật liệu giảm ít nhất. Trong trạng thái ứng suất phẳng cường độ vật liệu cũng giảm ít hơn so với trạng thái ứng suất đơn.

2.3.7. Cường độ chống xé rách của vật liệu

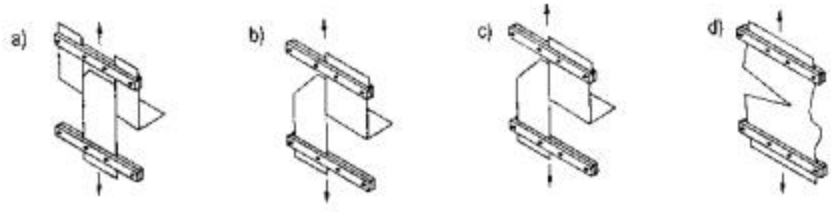
Kết cấu màng mỏng bị hỏng phần lớn là do nguyên nhân bề mặt vật liệu bị hư hỏng, trầy xước và cốt vải bị đứt chìm nên khả năng chịu lực của toàn kết cấu bị suy giảm. Từ các điểm nhỏ bị khuyết tật trong vật liệu, khi chịu lực khuyết tật sẽ lan ra và cuối cùng kết cấu màng bị giảm khả năng chịu lực và dẫn đến bị phá hoại. Cốt vải càng mau thì các sợi vải trong đó càng khó dịch chuyển, vì vậy càng tạo ra sự tập trung ứng suất trong sợi và từng sợi một sẽ bị đứt. Với cốt vải mềm hơn, thưa hơn, các sợi lân cận cùng nhau chịu lực tốt hơn.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

a) Khái niệm về lực xé rách và cách xác định

Cường độ chống xé rách của vật liệu (tear strength) là khả năng chịu tải của vật liệu sau khi đã bị đứt chìm và có khả năng lan rộng. Trong thí nghiệm xác định đại lượng này người ta chuẩn bị các mẫu thử với kích thước quy định, trên đó có vết đứt với kích thước, hình dạng và vị trí định trước, sau đó tiến hành kéo mẫu trên máy để tìm lực cần thiết cho vết đứt phát triển.

Người ta đã tiến hành các thí nghiệm với các phương pháp và thiết bị khác nhau (xem hình 2.18) và nhận thấy kết quả tìm được khác nhau tương ứng với mỗi phương pháp thí nghiệm. Đó là do ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố: các loại vật liệu khác nhau; điều kiện sản xuất; các khâu kiểm tra chất lượng sản phẩm và các quy định trong tiêu chuẩn kỹ thuật của từng nước.



Hình 2.18. Thí nghiệm cường độ chống xé rách và các mẫu thử theo tiêu chuẩn của các nước:
a) theo BS 3424; b) theo DIN 53356 và MSZ. 7257; c) theo NF 637-104; d) theo DIN 5337.

Trong bảng 2.10 cung cấp kết quả thí nghiệm trên 400 mẫu thử trong số 80 lô vật liệu màng nhóm II và III sản xuất tại nhà máy GRABOPLAST - Hungary.

Bảng 2.10. **Cường độ chống xé rách của màng nhóm II và III**
(thí nghiệm theo tiêu chuẩn Hungary MSZ 7257)

Lực xé rách (N)	Nhóm vật liệu			
	II		III	
	Phương dọc	Phương ngang	Phương dọc	Phương ngang
Trung bình	312	359	825	729
Độ phân tán	38	36	85	84
Ở 95% mẫu	250	300	685	591

b) Lực xé rách và các yếu tố ảnh hưởng

Độ lớn của lực xé rách chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố, do đó các biện pháp nhằm nâng cao khả năng chống xé rách của màng là rất khó khăn.

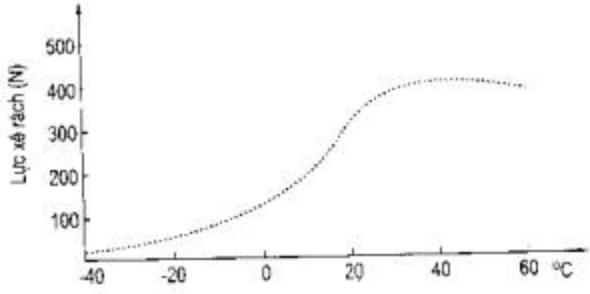
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

• *Ảnh hưởng của cấu trúc cốt vải.* Sự phát triển vết rách trong màng phụ thuộc phần lớn cấu trúc của cốt vải. Vật liệu màng đạt được cường độ chống xé rách lớn khi các sợi có thể dịch chuyển tương đối trong vật liệu, các sợi có thể cùng tham gia chịu lực và cùng đứt. Cấu trúc của cốt vải (cứng hay mềm) phụ thuộc loại sợi, độ mịn của sợi, cách xe sợi, phương pháp dệt và mật độ sợi trong vải (số sợi trong *1* cm bề rộng vải).

• *Ảnh hưởng của tính chất lớp nhựa phủ và công nghệ phủ.* Cường độ lực xé rách chịu ảnh hưởng của các tính chất cơ học của lớp phủ như cường độ, độ đàn hồi của lớp phủ, các tính chất hoá học, công nghệ phủ (chính là lực dính bám giữa lớp phủ và cốt vải cũng như tác dụng làm cứng vật liệu của nó).

c) Lực xé rách và ảnh hưởng của nhiệt độ

Với vật liệu màng có lớp phủ PVC mềm, cường độ chống xé rách bị giảm khi nhiệt độ thấp. Việc cứng hoá của vật liệu do nguyên nhân khác cũng có tác dụng tương tự. Quan hệ giữa cường độ chống xé rách và nhiệt độ là không tuyến tính, phụ thuộc chất lượng và phương pháp làm mềm hoá nhựa PVC. Từ nhiệt độ cao hơn nhiệt độ trong phòng cho đến 60°C, cường độ chống xé rách của vật liệu tăng do tính mềm và đàn hồi của lớp phủ tăng (xem hình 2.19). Như vậy, ở nhiệt độ thấp thì cường độ chống xé rách của vật liệu giảm. Với các công trình ở vùng lạnh người ta thường dùng các màng có lớp phủ Polyure hay Polyclorua có độ đàn hồi tốt ngay cả khi ở nhiệt độ thấp.



Hình 2.19. Sự phụ thuộc giữa cường độ chống xé rách và nhiệt độ

2.3.8. Độ bền của các mối nối vật liệu

a) Độ bền của các đường may

Thông thường, độ bền của các đường may không thể đạt đến độ bền kéo đứt của vật liệu. Khi sử dụng chỉ may từ các sợi cường độ cao và may nhiều đường, cường độ có thể đạt đến *60~70* % cường độ của màng. Tuy nhiên biện pháp này không thích hợp do mối nối trong kết cấu còn phải chịu tải trọng dài hạn, và chịu các tác động của thời tiết như độ ẩm, nhiệt độ.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Theo các nghiên cứu tại Đức đã được công bố trong [6; 27; 33], có thể tổng kết như sau: các đường may ở nhiệt độ trong phòng có độ bền khi kéo đạt *55~70%* cường độ vật liệu, còn ở nhiệt độ 70°C là *50~60* %. Độ bền với tải dài hạn của đường may so với cường độ dài hạn của vật liệu cũng có quan hệ tỷ lệ tương tự. Quan sát quá trình thí nghiệm mẫu ta thấy ở nhiệt độ trong phòng thì đường may bị phá hoại do các sợi chỉ bị đứt; còn ở nhiệt độ 70°C cũng như thời gian giữ tải lâu thì lớp phủ bị phá hoại trước sau đó các sợi trong cốt vải bị trượt và tách khỏi nhau. Với các vật liệu có lớp phủ đàn hồi hơn như PUR, Poly-clorua ... mối nối này có độ bền ở nhiệt độ cao lớn hơn.

b) Độ bền của các đường hàn và đường dán

Mối nối sử dụng biện pháp này là dán hay hàn lớp phủ của màng. Do sử dụng lớp nhựa phủ để truyền ứng suất qua lại giữa hai phần của vật liệu màng nên độ bền của chúng phụ thuộc vào nhiệt độ của vật liệu, chất lượng nhựa phủ và lực dính bám giữa lớp phủ và cốt vải. Nếu lực dính bám có giá trị đủ lớn thì độ bền của mối nối bằng các biện pháp này có thể đạt tới cường độ của vật liệu. Người ta đã tiến hành nhiều thí nghiệm để xác định các tính năng cơ học của mối nối bằng các biện pháp này và đã đưa ra yêu cầu về kích thước của mối nối sao cho đạt được độ bền lớn nhất.

Trong 2.2. ta đã làm quen với các phương pháp liên kết, chất lượng cũng như độ rộng của mối nối đường hàn, dán sao cho độ bền của mối nối có thể gần đạt đến cường độ kéo đứt của vật liệu.

Cường độ chịu lực của mối nối màng bằng phương pháp hàn cao tần hoặc dán có thể đạt *80~95%* cường độ của vật liệu, còn với các biện pháp hàn nhiệt khác như dùng khí ga thì độ bền mối nối đạt khoảng *70~80%* cường độ vật liệu. Cường độ các mối nối bằng phương pháp hàn cao tần hoặc dán cũng giảm khi nhiệt độ tăng và khi chịu tải dài hạn.

Ví dụ, các thí nghiệm của D. I. Strack [33] với các mối hàn, dán của vật liệu màng nhóm II khi chịu tải trọng dài hạn trong thời gian 10.000 h và đo cường độ mối nối cho thấy: ở nhiệt độ 30°C chỉ đạt *57%* còn ở nhiệt độ 70°C thì chỉ đạt *35%* cường độ kéo đứt của màng (ở 20°C); trong khi cường độ mối nối ở nhiệt độ trong phòng với thí nghiệm kéo nhanh đạt đến *85%* cường độ màng mỏng.

Như vậy độ bền có tính quyết định đến tuổi thọ công trình là độ bền của mối nối chịu tải dài hạn (10.000 giờ) ở nhiệt độ 70°C.

Trong bảng 2.11 [13], cung cấp kết quả thí nghiệm với liên kết may và liên kết hàn cao tần rộng *60* mm trên vật liệu màng nhóm IV, ở nhiệt độ trong phòng và nhiệt độ 70°C khi chịu tải dài hạn và ngoại suy đến 15 năm.

Sau 15 năm khai thác, cường độ chịu lực của các mối nối hàn cao tần và dán bị giảm song mức độ giảm cường độ mối nối cũng bằng mức độ giảm cường độ của vật liệu. Như vậy biện pháp nối màng bằng hàn cao tần và dán là phù hợp khi sử dụng vật liệu màng trong kết cấu.

Chỉ khi màng làm việc ở nhiệt độ cao liên tục và chịu ứng suất dài hạn lớn thì cường độ mối nối mới giảm mạnh so với cường độ của vật liệu. Trong những trường hợp này thì cách liên kết may kép 4 đường tỏ ra có hiệu quả hơn. Tuy nhiên điều này cũng ít xảy ra trong thực tế [6; 33]. Cường độ mối hàn nhiệt cũng chịu các ảnh hưởng tương tự như trên nhưng với trị số cường độ nhỏ hơn [27].

Bảng 2.11. **Kết quả thí nghiệm về cường độ mối nối**

Tên	Nhiệt độ °C	Giá trị độ bền (N/cm)			
		Kéo nhanh		Với tải dài hạn (10^5 giờ)	
		Phương dọc	Phương ngang	Phương dọc	Phương ngang
Lực kéo đứt	- 20	1079	896	-	-
	23	930	847	620	604
	70	811	791	536	532
Độ bền mối hàn cao tần rộng 60mm	- 20	967	754	-	-
	23	843	802	431	403
	70	821	695	197	198
Cường độ mối nối may 4 đường kép	- 20	604	461	-	-
	23	505	470	303	296
	70	394	372	308	303

2.4. Các tính năng khác của vật liệu

Trên đây đã đề cập đến các tính năng cơ học quan trọng của vật liệu màng khi sử dụng trong kết cấu. Bên cạnh đó còn có các tính năng quan trọng khác của vật liệu màng cần được quan tâm.

2.4.1. Các tính năng vật lý của vật liệu

a) Độ chống mài mòn của vật liệu

Khả năng chống mài mòn của vật liệu là do lớp phủ quyết định, hay chính là do chiều dày của vật liệu quyết định. Trong quy trình của Đức, DIN 52 528 đã đưa ra yêu cầu về độ chống mài mòn của vật liệu màng, tuy nhiên

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

tính năng này của màng trong kết cấu không yêu cầu cao như khi sử dụng để làm bạt che ôtô, tàu thuỷ và có thể khắc phục được bởi các biện pháp khác như tăng số lớp ở vị trí dễ bị mài mòn. Có một số vị trí vật liệu dễ bị mài mòn khi chịu lực như các vị trí tiếp xúc với dây, với dầm hoặc vòm thép hay tại các vị trí gia cường bản thép tại nút, nơi mà vật liệu thường xuyên dịch chuyển.

b) Độ dai của vật liệu

Độ dai là một khái niệm tổng hợp mang ý nghĩa khác nhau trong mỗi lĩnh vực kỹ thuật. Ở đây có thể xem là độ dẻo hay độ đàn hồi. Vật liệu màng phải chịu được một số lượng các chu kỳ bẻ gập nhất định Tiêu chuẩn MSZ 7257/2, mục 11 quy định về thí nghiệm xác định độ dai: mẫu thí nghiệm được bẻ gập về hai phía 100 000 lần ở nhiệt độ trong phòng, sau đó kiểm tra khả năng hình thành vết nứt xuất hiện trên lớp phủ của mẫu dưới kính phóng đại 10 lần. Người ta cũng thí nghiệm với các mẫu đã sử dụng trên 10 năm để xác định ảnh hưởng của sự lão hoá đến độ dai của vật liệu.

Theo [7], lớp phủ mới bằng PVC mềm có độ dai hoàn hảo ở nhiệt độ trong phòng. Trong điều kiện nhiệt độ thấp cũng như khi chịu tải lâu dài, độ dai của vật liệu giảm đáng kể. Nếu ở nhiệt độ trong phòng, vật liệu mới chịu được trên 100 nghìn lần thì ở nhiệt độ $-10^{o}C$ vật liệu chỉ chịu được 10~15 nghìn lần. Thí nghiệm với vật liệu đã chịu lực dài hạn 5~8 năm, độ dai giảm chỉ còn 1/3 đến 1/2 so với vật liệu mới.

c) Tính thay đổi kích thước của vật liệu

Vật liệu màng khi chịu tải thường có biến dạng lớn. Biến dạng của vật liệu không những phụ thuộc độ lớn và phương của tải trọng mà còn phụ thuộc nhiệt độ và thời gian giữ tải. Thậm chí khi không có tác động của tải trọng bên ngoài, vật liệu màng cũng bị biến dạng dài cũng như bị nhăn; người ta gọi điều đó là "tính thay đổi kích thước", xảy ra do hai nguyên nhân sau:

- Trong quá trình sản xuất đã làm các sợi vải bị căng, một phần bị ép lại với nhau, sau khi sản xuất xong chúng được tự do nên phát sinh biến dạng.
- Các loại sợi còn có biến dạng khi chịu ảnh hưởng của độ ẩm.

U. Eichert đã thí nghiệm và công bố trong [5] về sự thay đổi kích thước của các vật liệu màng có cốt vải khác nhau tương ứng với các nhiệt độ khác nhau. Với vật liệu màng PES hay PA, kết quả về biến dạng là khá nhỏ (xem bảng 2.12). Các thí nghiệm của L. Holstein [11] cho thấy: vật liệu màng với sợi PA đã bị lão hóa dưới tác động của nhiệt độ và khi độ ẩm tăng, màng co lại khoảng 1%.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bảng 2.12. **Kết quả thí nghiệm về sự thay đổi kích thước của vật liệu**

Điều kiện thí nghiệm	Sự thay đổi kích thước (%) của vật liệu màng chế tạo từ sợi		
	Pamut	PA	PES
80°C, 24h, trong không khí	+1,1	+0,4	+0,4
20°C, 24h, trong nước và 70°C, 24h, trong không khí	+3,4	-0,4	-0,2
20°C, 24h, trong nước và -6°C, 24h, trong không khí	+3,8	-0,2	0,0

Tóm lại trong quá trình sử dụng, sự thay đổi kích thước của vật liệu màng sợi PA là *0,5~1%*; còn với màng sợi PES là *0,1~0,4%*.

d) Tính kín khí của vật liệu

Tính kín khí và kín hơi nước của vật liệu màng là khá tốt.

Theo các tài liệu đã công bố trong [18; 9], độ thấm khí của vật liệu màng khoảng 10^{-12} cm^3/ (cm.s.bar) còn độ thoát hơi nước vào khoảng 5 g/(m^2.24h). Tính năng này của vật liệu đáp ứng phần lớn các yêu cầu sử dụng. Trong một số lĩnh vực ứng dụng, có thể có yêu cầu về tính kín khí cao hơn (như để làm các túi khí nén), hay yêu cầu về tính thoát hơi nước tốt hơn (như các mái lều du lịch). Với công nghệ hiện nay người ta có thể sản xuất vật liệu đáp ứng được hoàn toàn các yêu cầu nêu trên. Với các kết cấu có yêu cầu về tính kín khí cao, cần ứng dụng các phương pháp hàn, dán phù hợp để thực hiện các mối nối kín khí.

e) Tính kín nước của vật liệu

Vật liệu màng dùng trong kết cấu cần có tính kín nước hoàn toàn. Tính kín nước được đo bằng thí nghiệm với áp lực nước. Vật liệu đạt yêu cầu về kín nước khi chịu được áp lực nước *2000* mm trong *1* giờ mà không bị thấm qua [7]. Bản thân vật liệu và các mối nối hàn cao tần hoàn toàn thoả mãn tính kín nước trừ khi vật liệu có các lỗi trong cốt vải hay tại lớp phủ. Với các mối nối bằng keo dán thông thường, sau một thời gian ngâm nước, cường độ cũng như tính kín nước giảm nên trong các kết cấu bể chứa, bể bơi chỉ được phép dùng các mối nối bằng keo chịu nước.

2.4.2. Đặc tính quang học của vật liệu

Tính ngăn sáng của vật liệu màng phụ thuộc cấu trúc của cốt vải (các sợi mau hay thưa), chiều dày của lớp phủ cũng như màu sắc của vật liệu. Tùy theo yêu cầu sử dụng, người ta chế tạo ra các loại vật liệu màng khác nhau như: mái trong suốt cho ánh sáng qua tối đa (dùng trong mái nhà trồng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

cây), ngăn hoàn toàn ánh sáng hay ở mức độ trung gian. Trong quá trình sử dụng, do bụi bẩn làm tăng tính ngăn sáng của vật liệu nên đôi khi cần rửa màng bằng nước.

Trong bảng 2.13 [13] cung cấp các số liệu về tính xuyên sáng của một số vật liệu màng phủ PVC với các màu sắc khác nhau.

Tính xuyên sáng cũng như tính phản xạ ánh sáng của vật liệu phụ thuộc chiều dài bước sóng của ánh sáng. Một số bước sóng ánh sáng có tác động đến tâm sinh lý con người do đó khi thiết kế các công trình ta cần chú ý đến vấn đề này. Tính phản xạ và khúc xạ ánh sáng phụ thuộc bề mặt của vật liệu. Ánh sáng làm cho vật liệu màng bị lão hoá, mức độ lão hoá cũng phụ thuộc vào tính xuyên sáng của vật liệu. Mức độ xuyên sáng lớn sẽ làm cho quá trình lão hoá tăng lên trong khi các vật liệu phản xạ ánh sáng tốt sẽ làm cho quá trình lão hoá chậm hơn.

***Bảng 2.13.* Độ xuyên sáng tương ứng với các màu sắc của vật liệu màng**

Màu	Độ xuyên sáng %	Màu	Độ xuyên sáng %
Trắng	21,16	Xanh da trời nhạt	0,05
Vàng	17,46	Xanh sẫm	0,03
Da cam	5,56	Xanh lá cây nhạt	0,06
Xám đen	0,05	Xanh lá cây sẫm	0,03
Nâu sáng	1,55	Nâu sẫm	0,23
Đỏ	3,83	Đen	0,03

2.4.3. Đặc tính nhiệt học của vật liệu

Màng với cốt vải PES và lớp phủ PVC mềm có độ dãn vì nhiệt là $0,5.10^{-4}$ tính theo °C, có nghĩa là nếu nhiệt độ chênh lệch giữa ban ngày và ban đêm là 50°C thì một dải màng dài *10* m sẽ dãn dài *2,5* cm.

Tính cách nhiệt của vật liệu màng kém vì màng khá mỏng (từ *0,5* đến *1,5* mm).

Tính dẫn nhiệt của màng là $\lambda = 0,18$ W/(m.K) (*). Tính tản nhiệt của màng một lớp là $k = 5,7$ W/(m^2.K).

(*) **K** (Kelvin) – đơn vị đo nhiệt độ dùng trong nhiệt động học, trùng với thang nhiệt độ tuyệt đối (thang nhiệt độ có gốc là không độ tuyệt đối, bằng – 273,15 °C).

W / (m.K) : (Watt / mét.Kelvin) – đơn vị đo độ dẫn nhiệt, bằng thông lượng nhiệt 1 Watt truyền qua giữa hai mặt của một vật thể đồng nhất, đẳng hướng, có bề mặt 1 m^2, cách nhau 1 m, ứng với sự chênh lệch nhiệt độ là 1 độ Kelvin.

W / (m^2.K) : (Watt / mét vuông.Kelvin) – đơn vị đo độ tản nhiệt, bằng lượng nhiệt tỏa ra là 1 Watt trên bề mặt 1 m^2, ứng với sự chênh lệch nhiệt độ là 1 độ Kelvin.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Tùy theo yêu cầu của công trình, để tăng cường tính cách nhiệt của vật liệu người ta sử dụng các lớp cách nhiệt bằng bọt xốp, điều này làm tăng chiều dày của vật liệu lên đến *5~10* cm. Loại vật liệu này có giá thành cao và cần bảo quản tốt vì lớp bọt xốp rất dễ bị hư hại. Sử dụng vật liệu màng nhiều lớp, giữa các lớp có không khí để làm tăng tính cách nhiệt của vật liệu thường đơn giản hơn và có giá thành hạ.

Trong bảng 2.14 giới thiệu một số đặc trưng nhiệt học của vật liệu màng.

***Bảng 2.14.* Đặc trưng nhiệt học của vật liệu màng**

Cấu tạo vật liệu màng	Khoảng cách các lớp (mm)	Tính dẫn nhiệt λ (W/m. K)	Tính tản nhiệt (W/m^2. K)
Màng 1 lớp	-	0,18	5,7
Màng 2 lớp	200	0,28	2,7
Màng 3 lớp	200	0,59	1,7

2.4.4. Đặc tính hoá học của vật liệu

Gọi độ bền chịu hóa chất là khả năng chịu ảnh hưởng về mặt hóa chất của vật liệu màng, khả năng này phụ thuộc lớp nhựa phủ. Người ta đã kiểm nghiệm và công bố các chỉ tiêu về độ bền chịu hoá chất của từng loại vật liệu màng trong các tài liệu chuyên môn [9; 14; 15]. Các chỉ tiêu này cũng thường do các nhà sản xuất cung cấp.

Trong quá trình sử dụng, vật liệu màng chịu ảnh hưởng của khá nhiều tác động hoá chất như axit, kiềm hay các chất dung môi... Tùy theo các yêu cầu khác nhau khi sử dụng, người ta chế tạo vật liệu có độ bền chịu hóa chất phù hợp. Khi có yêu cầu cao về khả năng chịu hóa chất, cần phải kiểm tra tính chất này trong phòng thí nghiệm.

Màng với lớp phủ PVC mềm có thể chịu được axit và kiềm trong khoảng 3 đến 11 độ pH, nhưng không chịu được dầu mỏ. Khi sử dụng làm côngtenơ chứa vật liệu rời, màng có lớp phủ PVC mềm phù hợp với nhiệt độ thấp hơn 80°C, còn với lớp phủ Polyure và Cao su Butil có thể chứa được các vật liệu với nhiệt độ đến 120°C [10].

Độ bền chịu hoá chất của lớp phủ từ Clorosuynfua polyetylen (Hypalon) tốt hơn từ PVC, có thể chịu được dung dịch hydroxit natri (40%) và dung dịch axit sunfuaric 50%, còn với lớp phủ PUR thì chịu kiềm và axit kém nhưng lại chịu dầu rất tốt. Các lớp phủ có độ bền chịu hóa chất tốt nhất

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

là Teflon và Hostaflon, chịu dựng tốt dưới tác động của hầu hết các hoá chất ngay cả khi ở nhiệt độ 300°C. Khả năng chịu hóa chất giữ vai trò rất quan trọng khi sử dụng màng trong các ngành công nghiệp thực phẩm, cần bảo đảm không gây ra các tác động xấu đến sức khoẻ của con người.

2.4.5. Tuổi thọ của vật liệu màng

Trong môi trường sử dụng, vật liệu màng bị lão hoá do tác nhân tổng hợp của các yếu tố như nhiệt độ, ánh sáng, nước, các chất ô nhiễm trong không khí cũng như ứng suất trong bản thân vật liệu. Các yếu tố này tác động đến cấu trúc vi mô của vật liệu, điều này sẽ được trình bày kỹ ở các mục sau. Tuổi thọ của vật liệu màng là do chất lượng và chiều dày lớp phủ quyết định, cốt vải chỉ bị hư hại khi lớp phủ bắt đầu bị hỏng.

a) Tác động của nhiệt đến vật liệu

Vật liệu màng bị nóng lên khi chịu ảnh hưởng trực tiếp của ánh sáng mặt trời hoặc do các nguồn nhiệt khác. Do tác động lâu dài của nhiệt, các cấu trúc polyme biến đổi như sau: đầu tiên là mất màu, tiếp đó biến cứng và nứt, sau đó độ bền của vật liệu giảm. Với nhiệt độ 80°C, sau một năm, độ bền vật liệu giảm không đáng kể còn với nhiệt độ khai thác bình thường thì quá trình suy giảm độ bền chỉ xảy ra sau 5 năm. Tính lão hoá của vật liệu dưới tác động của nhiệt không gây nguy hiểm cho kết cấu bằng trạng thái làm việc của mối nối dưới tác động nhiệt (ở nhiệt độ lâu dài trên 60~70°C, cường độ của mối nối hàn cao tần giảm nhanh chóng). Vì vậy khi thiết kế kết cấu chịu nhiệt độ cao cần chú ý đặc biệt đến các biện pháp liên kết và cường độ dài hạn của chúng.

b) Tác động của ánh sáng đến vật liệu

Các tia sáng mặt trời tác động đến cấu trúc phân tử của vật liệu polime, bức xạ làm suy yếu các năng lượng liên kết hóa học của phân tử sau đó quá trình biến đổi cấu trúc phân tử sẽ xảy ra.

Trong thực tế quá trình lão hoá của vật liệu là do tác động đồng thời của hai yếu tố: ánh sáng và nhiệt độ. Vì ảnh hưởng mạnh nhất của ánh sáng là các tia cực tím (UV) do đó, để làm tăng khả năng chịu ảnh hưởng ánh sáng của vật liệu, lớp phủ cần được chế tạo từ nhựa chống tia cực tím. Bên cạnh đó, các cốt vải từ sợi PES, nhất là PA cũng bị ảnh hưởng của tia cực tím, để bảo vệ chúng thì lớp phủ cần có một chiều dày tối thiểu nào đó, ví dụ với PVC mềm cần có chiều dày > 0,2 mm. Lớp nhựa phủ gốc Poly(tetra-etylen) – Teflon và Clo suynfua Polyetylen có khả năng chịu ảnh hưởng của ánh sáng cao nhất, tuy vậy với các yêu cầu thông thường của công trình thì các loại nhựa khác cũng đảm bảo.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

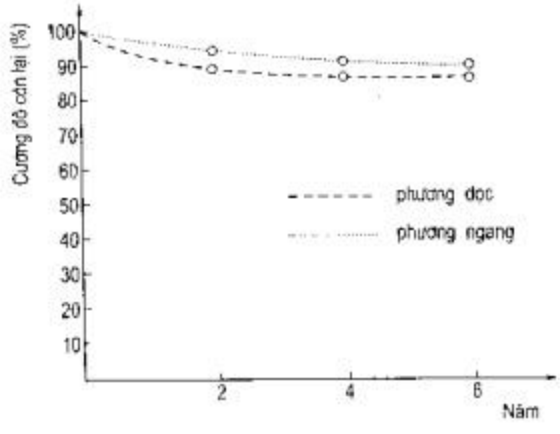
c) Tác động của khí hậu đến vật liệu

Các tác động đồng thời của khí hậu đến vật liệu bao gồm mưa, nắng, các chất ô nhiễm trong không khí như (bụi, axit, khí cácbonic, ôxy...) làm cho vật liệu lão hoá và dẫn đến giảm khả năng chịu tải.

Qua các thí nghiệm cho thấy những yếu tố tác động mạnh nhất đến vật liệu là nhiệt độ của môi trường xung quanh, số giờ nắng trung bình, độ ẩm và độ ô nhiễm của không khí xung quanh. Do đó với khí hậu nhiệt đới nóng ẩm như ở nước ta và trong các khu vực công nghiệp ô nhiễm nặng, quá trình lão hoá vật liệu nhanh hơn do đó tuổi thọ của công trình thấp hơn. Hiện nay, ta chưa có các quan trắc đầy đủ để có được các số liệu về vấn đề này. Qua các công trình đã và đang sử dụng vật liệu màng có nhựa phủ PVC mềm ở khí hậu vùng ôn đới như châu Âu và trong không khí không ô nhiễm, tuổi thọ công trình tăng đáng kể.

Quá trình lão hoá vật lý của vật liệu màng như sau:

- Bạc màu.
- Lớp phủ bị biến cứng.
- Bề mặt lớp phủ xuất hiện các vết nứt li ti.
- Các vết nứt lớn dần, ăn sâu vào trong gây nguy hại lớp cốt vải và vật liệu nhanh chóng bị phá huỷ.



Hình 2.20 . Cường độ còn lại của màng trong quá trình lão hóa.

Trong các tính năng cơ lý của vật liệu thì độ bền còn lại bắt đầu suy giảm từ các mối nối may hoặc dán, với mối nối hàn cao tần thì chỉ giảm cường độ ở giai đoạn cuối nhưng tốc độ suy giảm diễn ra nhanh chóng. Trong thực tế có thể dễ dàng theo dõi quá trình lão hóa và suy giảm khả năng chịu lực của vật liệu khi lớp nhựa phủ bị nứt, khi đó có thể sửa chữa bằng cách quét lên bề mặt vật liệu một lớp sơn bảo vệ để chống các quá

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

trình lão hoá tiếp theo. Tuy nhiên, cũng ít khi sử dụng giải pháp này vì chúng chỉ kéo dài tuổi thọ của màng thêm 2~3 năm. Do giá thành của vật liệu khá rẻ nên tốt nhất là thay lớp màng mới, ngoài ra về mặt thẩm mỹ cũng nên thay đổi màu sắc của công trình. Các số liệu về độ bền còn lại của vật liệu trong quá trình lão hoá được Blumberg thí nghiệm và công bố trong [1] (xem hình 2.20).

Trong bảng 2.15 là kết quả thí nghiệm của H. Mewes [21] trong thời gian 5 năm hoặc 10000 giờ với vật liệu chịu lực trong môi trường bình thường.

***Bảng 2.15.* Sự thay đổi tính năng cơ học của vật liệu theo thời gian**

Vật liệu	Thời gian sử dụng	Cường độ kéo đứt (N) theo phương		Biến dạng khi đứt (%) theo phương		Cường độ còn lại (N) theo phương	
		dọc	ngang	dọc	ngang	dọc	ngang
Bạt ôtô	mới	660	640	15	20	300	300
	sau 6 năm	632	622	16	23	260	270
Mái màng	mới	600	560	15	19	250	250
	sau 4 năm	544	486	11	16	190	210

d) Tuổi thọ vật liệu trong công trình

Tuổi thọ của vật liệu phụ thuộc nhiều vào thành phần cấu tạo của loại màng sử dụng; chất lượng của màng; phương thức và môi trường sử dụng màng. Tuổi thọ trong công trình của các loại vật liệu có chất lượng tốt, khi sử dụng ở môi trường bình thường, khí hậu trung Âu như sau:

- Kết cấu sử dụng vật liệu màng có lớp phủ PVC mềm: hoàn toàn ổn định trong thời gian 8~12 năm; với điều kiện thiết kế kết cấu và thi công phù hợp có thể đến 15 năm.
- Với vật liệu màng có lớp phủ Hypalon : 20~30 năm.
- Với vật liệu màng có lớp phủ Teflon : 30~40 năm.
- Với vật liệu màng có lớp phủ PUR hay các loại cao su: tuổi thọ thấp hơn của vật liệu phủ PVC.

e) Tính chống cháy của vật liệu

Để sử dụng làm mái trong các công trình, vật liệu cần phải có tính chống cháy hay ít nhất là khó bắt lửa, không cháy thành ngọn lửa. Theo tiêu chuẩn sử dụng của Mỹ MVSS 302 hoặc tiêu chuẩn Đức DIN 54333 thì ở trạng thái nằm ngang nếu màng được đốt bằng một que diêm: không bắt lửa, không tiếp tục cháy mà chỉ chảy ra. Với yêu cầu này thì vật liệu màng phủ

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

PVC hoàn toàn thoả mãn [11]. Với các tiêu chuẩn chống cháy cao hơn như tiêu chuẩn Đức DIN 4102 hoặc tiêu chuẩn Hungary MSZ 14800/3-82, (mẫu thử đốt thẳng đứng) màng phủ PVC phải được chế tạo có phụ gia đặc biệt [15].

Nhìn chung vật liệu màng phủ PVC và một số loại nhựa khác được xếp vào loại khó cháy, khi cháy tạo ít khói. Các mái màng loại này khi bị cháy: lớp nhựa phủ sun lại cục bộ, không tạo khối, cốt vải từ sợi PES hoặc PA dưới tác động của lửa sẽ chảy thành giọt nhưng không gây nguy hiểm, toàn bộ mái không cháy lan hoặc cháy lan rất chậm, kết cấu không bị mất khả năng chịu lực đột ngột, đủ thời gian để chữa cháy và cho người thoát hiểm. Với các công trình có yêu cầu chống cháy cao người ta phải sử dụng loại vật liệu màng có cốt sợi thuỷ tinh tráng Teflon là loại có khả năng hoàn toàn chống cháy. Vật liệu này đã được sử dụng làm kết cấu mái phòng đợi của sân bay Jidda, Arập Xêut.

2.4.6. Đặc tính điện học của vật liệu màng

Về mặt điện học ta có thể coi màng là vật liệu cách điện.

Điện trở của thể tích màng vào khoảng 10^{12} đến 10^{15} Ohm.cm với màng PVC, 10^{19} Ohm.cm với màng có lớp phủ từ Tetrafluor-Etylen, điện trở bề mặt của chúng cũng rất lớn.

Dưới tác động của môi trường vật liệu có xu hướng tích điện khi làm việc, hiện tượng này thường do bụi và các chất ô nhiễm bám trên bề mặt gây ra. Đó là hiện tượng có hại khi vật liệu được sử dụng trong công nghiệp thực phẩm, đặc biệt là khi được sử dụng để chuyển chất lỏng dễ cháy vào các bể chứa hoặc để bơm vào ống dẫn khí có thể gây cháy nổ. Do đó không nên sử dụng màng thông dụng làm ống dẫn khí trong mỏ than hoặc bể chứa dầu.

Với các phụ gia đặc biệt người ta cũng chế tạo các loại vật liệu chống bám bẩn, chống tích điện khi đó vật liệu có điện trở bề mặt tới 10^{10} Ohm [34], tuy nhiên khả năng này cũng sẽ giảm dần theo thời gian. Yêu cầu tối thiểu về độ cách điện theo thể tích 10^5 Ohm.cm và trên bề mặt là 10^5 Ohm.

Người ta cũng pha bột kim loại vào lớp nhựa phủ để chế tạo loại vật liệu màng dẫn điện khi có yêu cầu.

2.4.7. Tính bền vững với các vi sinh vật

Trong môi trường luôn tồn tại các tổ chức hữu cơ (vi sinh vật) như các vi khuẩn, vi nấm; chúng tồn tại cả trong môi trường không khí (vi khuẩn háo khí) và môi trường không có không khí (vi khuẩn yếm khí). Trên bề mặt của kết cấu màng mỏng luôn luôn có vi sinh vật sinh sống, ít nhiều gây hại cho vật liệu nhất là kết cấu nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới nóng ẩm như ở Việt Nam.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Các ăn mòn vi sinh:

- Tồn tại loại vi sinh vật có thể sử dụng một số chất thành phần của lớp nhựa phủ như là thức ăn để sinh sống và sau đó làm hư hại lớp phủ.
- Vi sinh vật không ăn được vật liệu nhưng chúng tồn tại trên bề mặt do bám bụi và giữ ẩm, quá trình trao đổi chất của chúng làm vật liệu bị ăn mòn.

Trong tự nhiên thường tồn tại rất nhiều loại vi sinh vật, đặc biệt là chúng phát triển rất nhanh trong đất ẩm do đó các kết cấu mái công trình nông nghiệp bị ăn mòn vi sinh mạnh hơn cả . Các thí nghiệm trong điều kiện giống như tự nhiên hay trong đất cho thấy: thường vi sinh vật không gây hại đáng kể cho vật liệu mới có bề mặt nhẵn; với các vật liệu có khuyết tật trên bề mặt hoặc đã lão hoá thì các vi sinh vật tồn tại và phát triển trong các vết nứt li ti của lớp nhựa phủ và làm hư hại vật liệu.

Người ta cũng chế tạo các loại vật liệu màng với các phụ gia bề mặt chịu được tác động của vi sinh vật để nâng cao tuổi thọ của công trình khi sử dụng trong các môi trường vi sinh hoạt động mạnh.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

CHƯƠNG 3

LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN KẾT CẤU MÀNG MỎNG

3.1. Tải trọng và tác động

Như đã biết, màng mỏng không tiếp nhận được ứng lực nén, chịu cắt kém nhưng có khả năng chịu kéo tốt. Về thực chất, màng mỏng là hệ biến hình (hình dạng phụ thuộc tải trọng, chỉ được xác định tương ứng với mỗi hệ lực tác dụng). Để sử dụng màng mỏng như kết cấu chịu lực trong công trình, tức là có khả năng chịu được tất cả các lực tác động phát sinh trong quá trình sử dụng, ta phải tìm cách tạo ra ứng suất căng trước trong màng với trị số sao cho dưới tác động của tải trọng ngoài, ứng suất trong màng luôn lớn hơn không. Tùy theo phương pháp tạo ứng suất căng trước, kết cấu màng mỏng được chia thành ba nhóm chính như sau:

* Kết cấu màng căng: ứng suất trước được tạo ra do các lực căng ngoài thông qua các kết cấu cứng khác, dây biên, dây liên kết.

* Kết cấu màng bơm hơi hay khí nén (mái khí nén, mái gối hơi, đệm cao su...): ứng suất trước trong màng được hình thành do chênh lệch áp suất không khí giữa bên trong và bên ngoài một không gian kín.

* Kết cấu bể chứa (xilô, bể chứa chất lỏng): khi chưa chịu tải, trong màng không tồn tại trạng thái ứng suất trước.

3.1.1. Lực căng ngoài và áp suất bên trong kết cấu

Các tác nhân tạo ra ứng suất trước trong kết cấu gồm các lực căng trước và áp suất khí. Độ lớn của chúng phụ thuộc các nguyên nhân gây ra ứng suất nén trong quá trình sử dụng. Ngoài yêu cầu trên để kết cấu trở nên bất biến hình, tránh phát sinh chuyển vị lớn cũng như mất ổn định khí động, chúng cần có một ứng suất trước tối thiểu. Tiêu chuẩn xây dựng của Đức DIN 4112 [4] quy định ứng lực trước tối thiểu đối với kết cấu màng căng như trong bảng 3.1.

Tiêu chuẩn DIN 4134 [3] cũng quy định trị số áp suất bên trong tối thiểu đối với các mái hơi như trong bảng 3.2.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Các trị số áp lực cần thiết này đảm bảo cho mái giữ được hình dạng thiết kế mong muốn. Gọi trạng thái ban đầu của kết cấu là trạng thái tương ứng với hình dạng ban đầu này và xuất phát từ trạng thái ban đầu ta có thể tính toán nội lực trong kết cấu dưới các tác động của tải trọng như gió, nước, tuyết ...

Bảng 3.1. **Lực căng trước tối thiểu trong kết cấu mái màng để tránh xảy ra mất ổn định khí động**

Diện tích mặt bằng S (m^2)	Chiều cao công trình (m)	Ứng lực yêu cầu (kN/m)
S < 400	< 8	0,50
S > 400	< 8	0,80
S < 1000	> 8	1,00
S >1000	> 8	1,50

Bảng 3.2. **Áp suất hơi cần thiết để công trình các mái hơi đủ cứng**

Hình dạng mái			Áp suất bên trong p (kN/m^2)
Hình bán trụ với 1/4 hình cầu ở mỗi đầu	H / r	= 1,5	0,8 q - 1,6 s
		= 1,0	0,6 q - 1,3 s
		≤ 0,75	0,5 q - 1,1 s
Hình cầu	H / r	= 1,5	1,0 q - 1,3 s
		= 1,0	0,7 q - 1,0 s
		= 0,5	0,6 q - 1,0 s
H - chiều cao mái ; r - bán kính của hình trụ hay hình cầu; q - áp lực gió đẩy ; s - áp lực thẳng đứng trong trường hợp mái võng do bị đọng nước hoặc tuyết.			

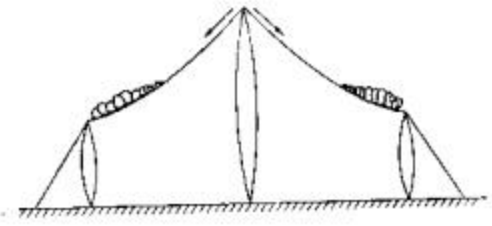
3.1.2. Tải trọng do tuyết hay do nước đọng

Trên mái các công trình ở các nước xứ lạnh thường phải chịu tải trọng do tuyết, các lớp tuyết rơi chồng chất trong mùa đông làm cho kết cấu mái màng võng xuống và tải trọng càng ngày càng gia tăng.

Với các mái được thiết kế hợp lý có độ dốc lớn như trên hình 3.1, tuyết sẽ trượt dần xuống phần dưới và xuống đất, do đó tải trọng cũng được giảm nhẹ và cũng dễ dàng trong việc dọn sạch tuyết.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Còn ở Việt Nam, khả năng tuyết rơi là hầu như không có, với các kết cấu mái được thiết kế phù hợp cũng không có khả năng đọng nước cho nên tải trọng này không cần xét đến.



Hình 3.1. Tuyết trượt đọng tại phần mái gần phẳng

3.1.3. Tải trọng gió

Gió là tải trọng cần đặc biệt quan tâm trong kết cấu màng mỏng vì trọng lượn bản thân của kết cấu khá nhẹ, biến dạng và chuyển vị khá lớn. Tải trọng gió tác động lên các mặt cong của kết cấu màng thường có quy luật khá phức tạp. Thật vậy, tải trọng gió không những phụ thuộc hình dạng chính của kết cấu mà còn phụ thuộc sự biến động về hình dạng của mặt mái dưới tác động của tải trọng vì chuyển vị trong kết cấu màng thường lớn. Như vậy, diện tích hứng gió, góc tác dụng của gió so với bề mặt mái của công trình cũng thay đổi. Để xác định được đơn giản, ta tìm cách tính gần đúng tác động của tải trọng gió.

Tải trọng gió trình bày ở đây là thành phần tác dụng tĩnh của gió, còn ảnh hưởng của tác dụng động chỉ được xét đến với các công trình cao và mảnh như các tháp, trụ, nhà cao tầng (trên *40* m).

Đối với các kết cấu truyền thống có độ cứng lớn, trị số áp lực gió phụ thuộc tốc độ gió w_o (được phân vùng theo khu vực xây dựng), độ cao công trình k, khả năng được che khuất gió do địa hình xung quanh và hệ số C phụ thuộc hình dạng và độ nhám của bề mặt kết cấu. Theo TCVN 2737-1995 ta có công thức tính tải trọng gió:

$$W = n\,k\,C\,w_o.$$

trong đó:

w_o – giá trị của áp lực gió được lấy theo bản đồ phân vùng trong Tiêu chuẩn kỹ thuật. Cũng có thể tính trực tiếp dựa vào các số liệu quan trắc khí tượng hoặc kết quả khảo sát hiện trường đã được xử lý theo công thức:

$$w_o = 0{,}0613\,V_o \text{ daN/m}^2,$$

với V_o là vận tốc gió ở độ cao 10 m so với mức chuẩn, tính bằng m/s (vận tốc trung bình trong khoảng thời gian 3 giây với xác suất ít nhất

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

1 lần trong 20 năm).

k – hệ số kể đến sự thay đổi của áp lực gió theo độ cao, tìm theo bảng trong Tiêu chuẩn kỹ thuật.

n – hệ số tin cậy (hệ số vượt tải) của tải trọng gió, $n = 1,2$.

C – hệ số phụ thuộc hình dáng công trình, độ nhám bề mặt v.v...

Trong kết cấu màng mỏng ta cũng sử dụng công thức trên để xác định tải trọng gió. Tuy nhiên việc xác định trị số của hệ số "C" là khá phức tạp.

a) Tải trọng gió tác động lên kết cấu mái màng căng

Về thực chất, xác định áp lực gió tác động lên các mái màng căng là xác định hệ số hình dạng C. Giá trị của hệ số C phân bố rất khác nhau trên các khu vực khác nhau của công trình. Với mái màng dạng kín, ta thường lấy gần đúng hệ số C của mái màng như của mái vỏ có dạng tương tự (ví dụ như mái vỏ dạng hypebolôit).

Trên hình 3.2 (theo [13]), cung cấp trị số C đo được qua thí nghiệm trong ống khí động của mô hình một mái màng kín căng trên các vòm có nhịp *18* m, các trị số dương biểu thị gió đẩy còn trị số âm là gió hút trên mặt ngoài của mái.

Trên hình 3.3 và 3.4 (theo [13]), cung cấp các số liệu thí nghiệm đo áp lực gió trong ống khí động của hai mô hình kết cấu có hình dạng khác nhau, bao gồm các số liệu đo được về hệ số C của áp lực gió từ mặt ngoài (gió đẩy và gió hút) và các trị số của áp lực gió tác động từ bên trong.

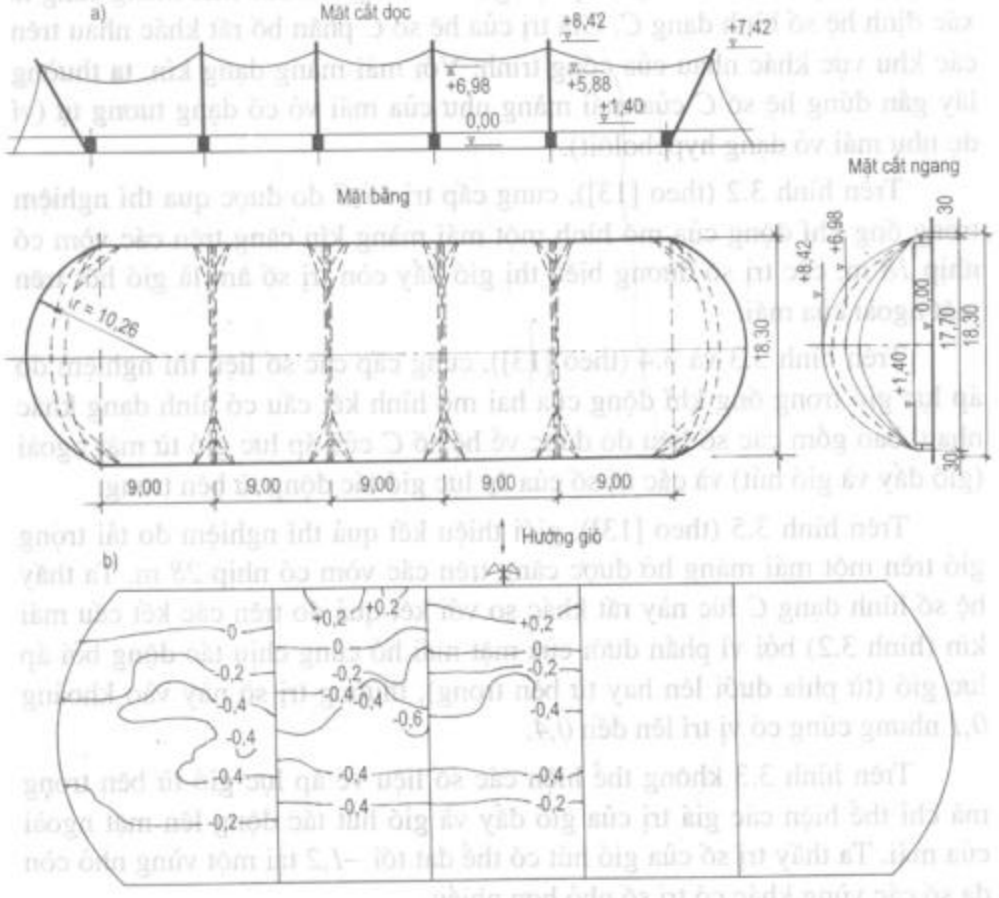
Trên hình 3.5 (theo [13]), giới thiệu kết quả thí nghiệm đo tải trọng gió trên một mái màng hở được căng trên các vòm có nhịp *28* m. Ta thấy hệ số hình dạng C lúc này rất khác so với kết quả đo trên các kết cấu mái kín (hình 3.2) bởi vì phần dưới của mặt mái hở cũng chịu tác động bởi áp lực gió (từ phía dưới lên hay từ bên trong), thường trị số này vào khoảng *0,1* nhưng cũng có vị trí lên đến *0,4*.

Trên hình 3.3 không thể hiện các số liệu về áp lực gió từ bên trong mà chỉ thể hiện các giá trị của gió đẩy và gió hút tác động lên mặt ngoài của mái. Ta thấy trị số của gió hút có thể đạt tới *–1,2* tại một vùng nhỏ còn đa số các vùng khác có trị số nhỏ hơn nhiều.

Với kết cấu mái hở, hình dạng của mái thường đa dạng hơn nhiều so với các mái kín, sự phân bố áp lực gió cũng rất khác nhau, vì vậy để xác định chính xác giá trị của tải trọng gió thì về nguyên tắc với mỗi loại kết

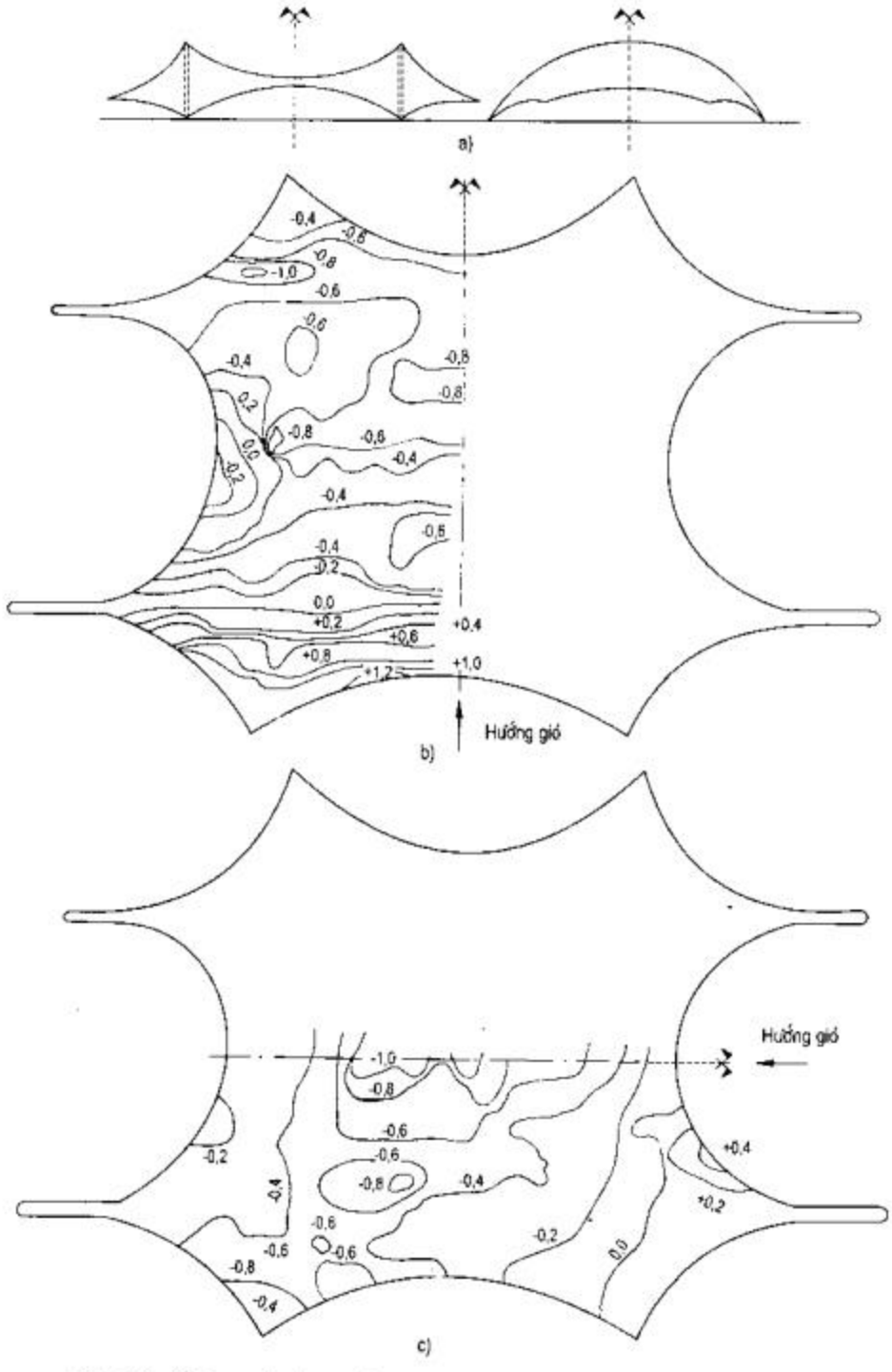
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

cấu mái mới hoặc với các công trình quan trọng ta cần làm thí nghiệm mô hình trong ống khí động. Điều này khá tốn kém. Cũng cần nhận thấy là ngay cả các số liệu đo đạc được trong thí nghiệm cũng không hoàn toàn chính xác. Ví dụ trong một thí nghiệm với mô hình hoàn toàn đối xứng người ta cho gió tác động từ từng phía một, tiến hành đo đạc và thấy rằng: rất ít khi số liệu về áp lực gió giống nhau hoặc gần nhau tại các vị trí đối xứng. Các trị số của hệ số C ở khu vực gần biên thường dao động khá lớn bởi vì dưới tác động của gió hình dạng của màng biến đổi theo, dẫn đến góc đón gió cũng thay đổi và độ lớn của hệ số *C* cũng biến đổi theo thời gian.



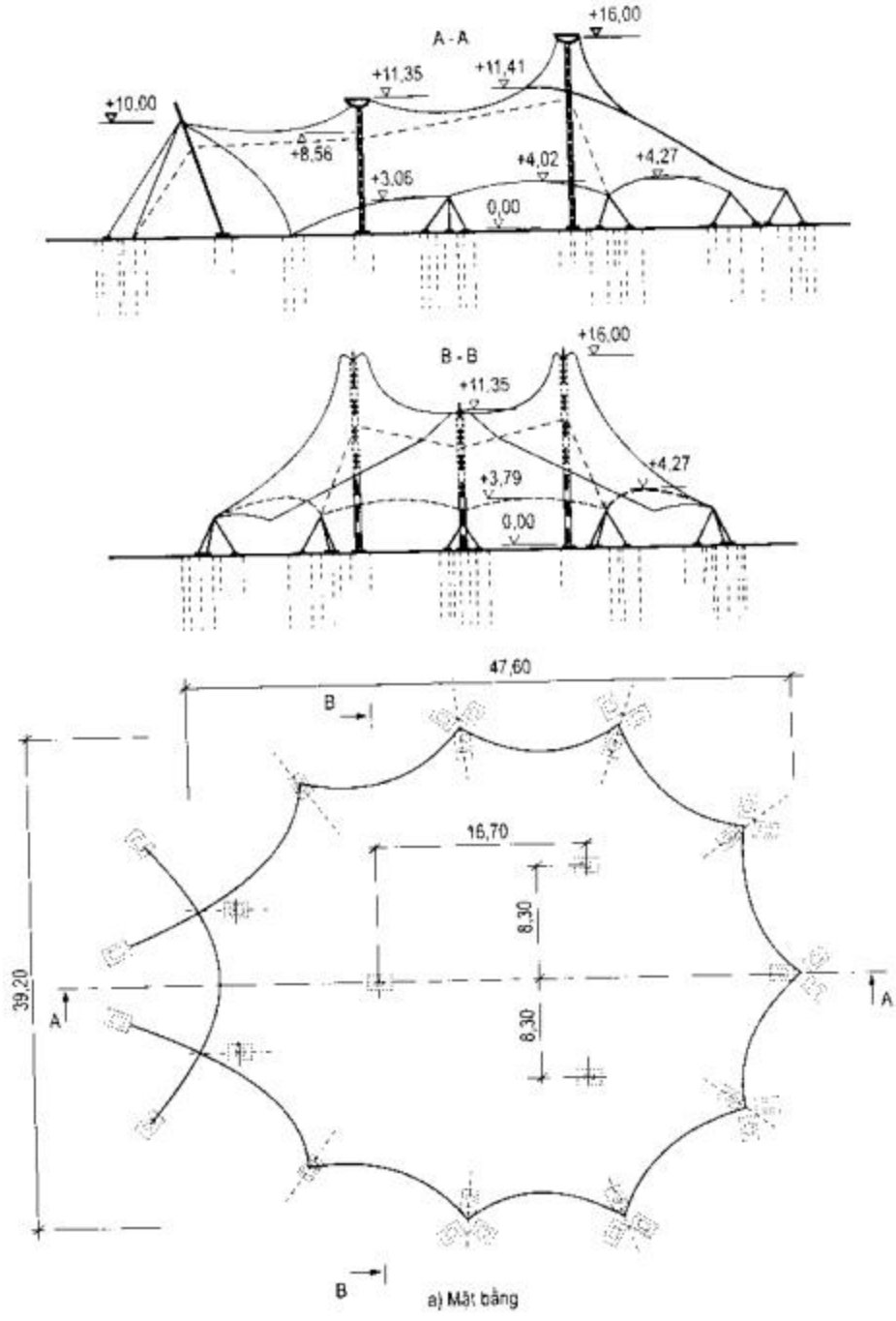
Hình 3.2. Áp lực gió phân bố trên mặt mái màng kín căng trên các vòm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



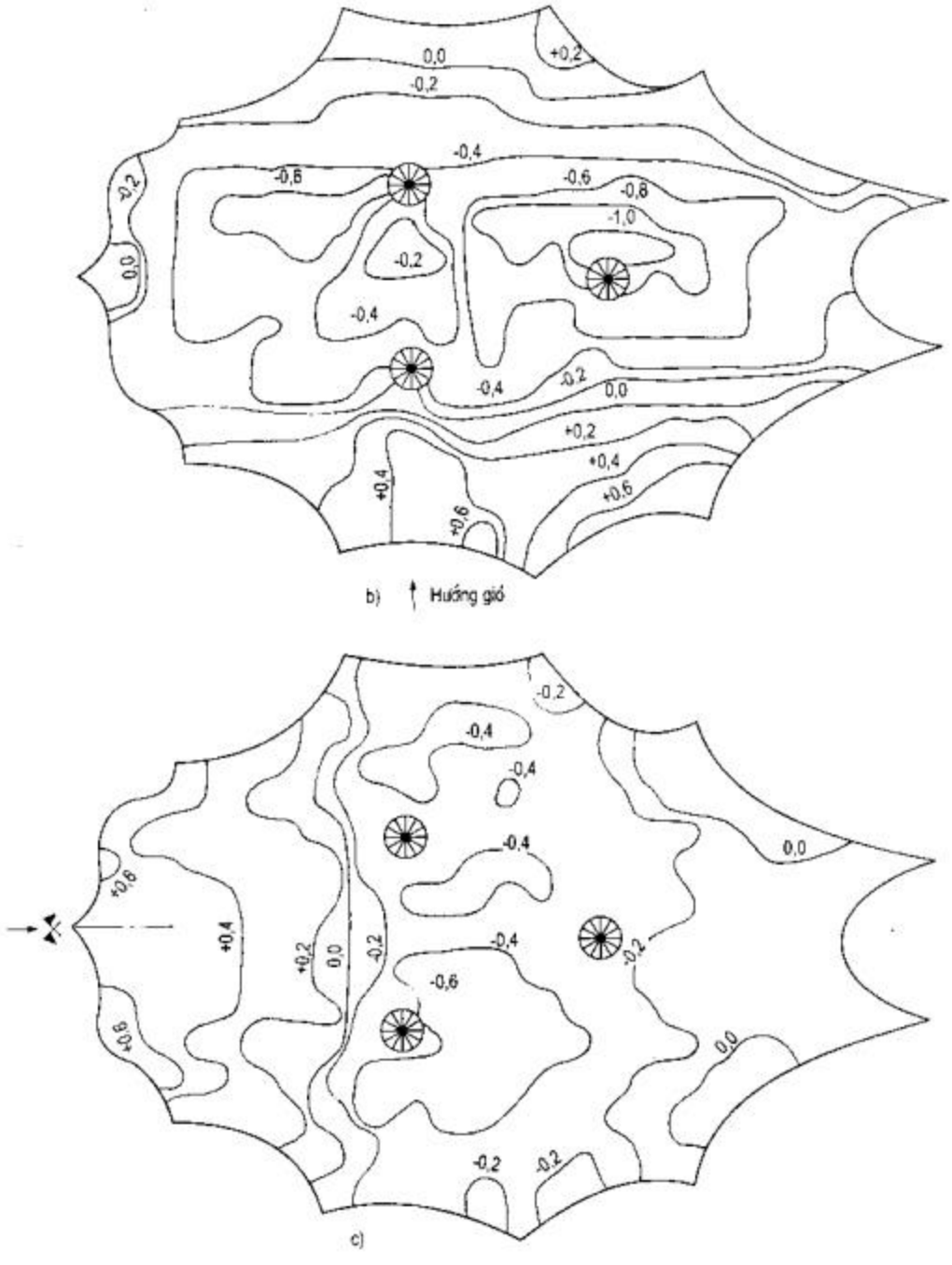
Hình 3.3. Áp lực gió phân bố trên mặt mái màng hở có hai trục đối xứng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



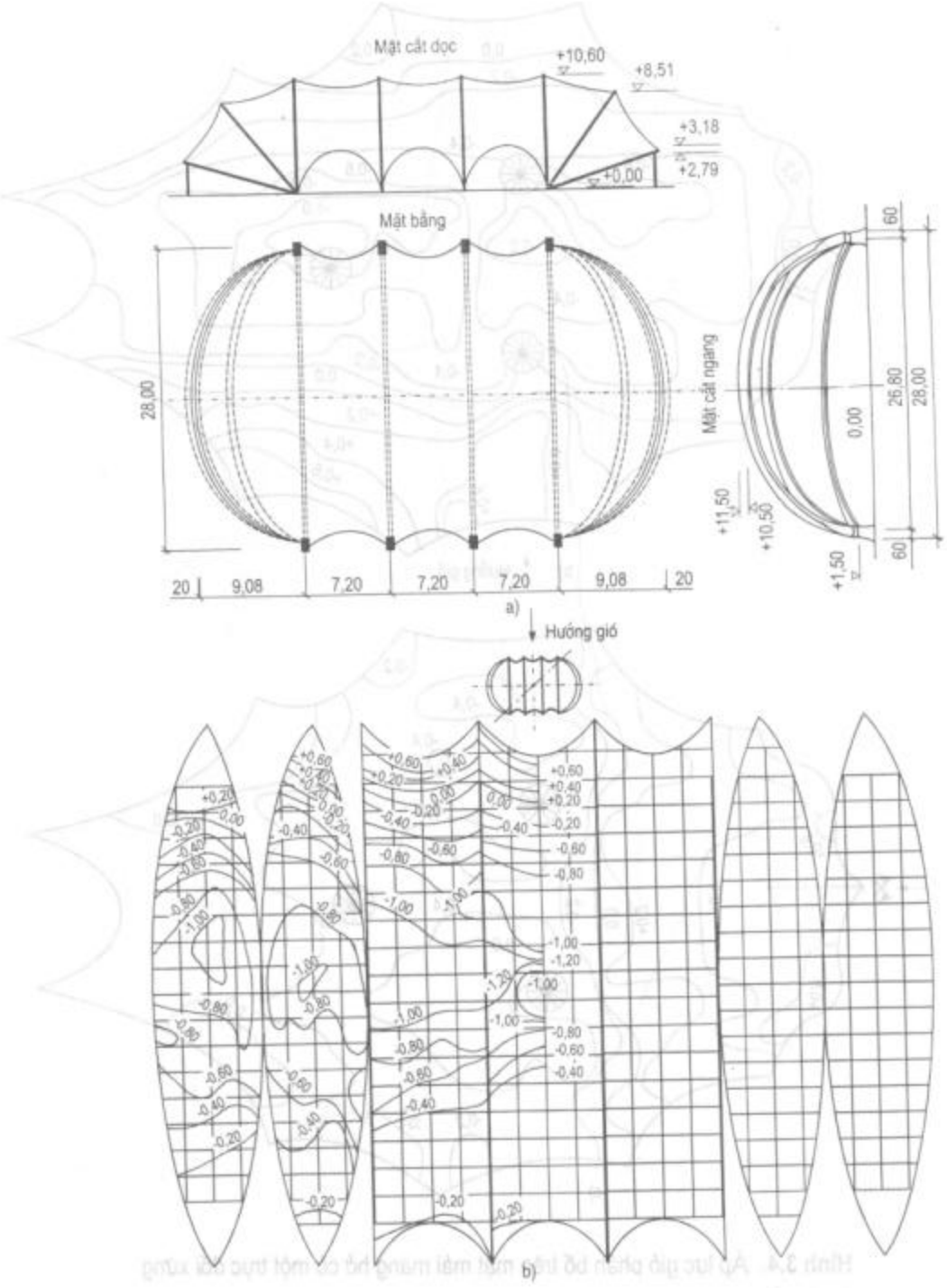
a) Mặt bằng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

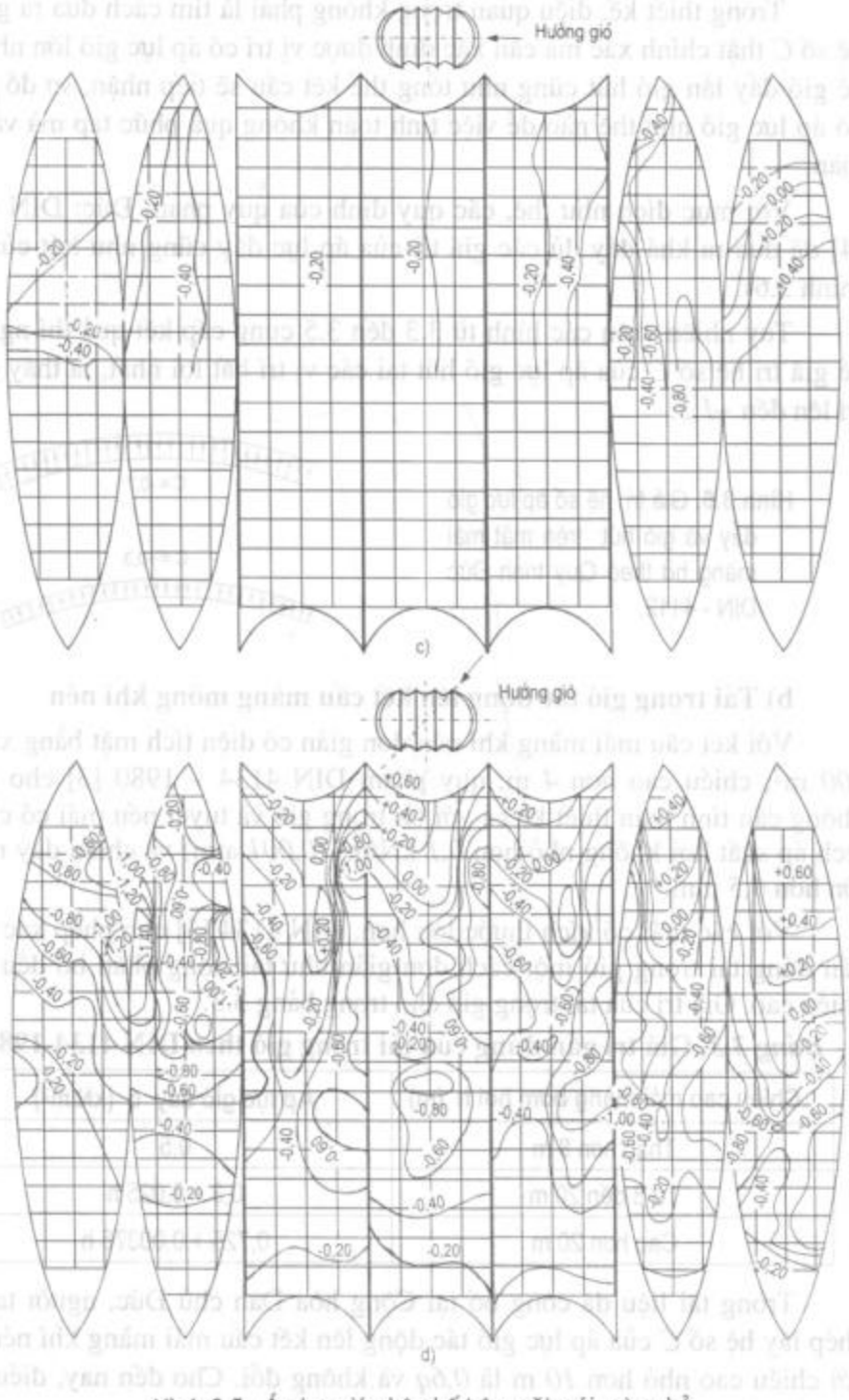


Hình 3.4. Áp lực gió phân bố trên mặt mái màng hở có một trục đối xứng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



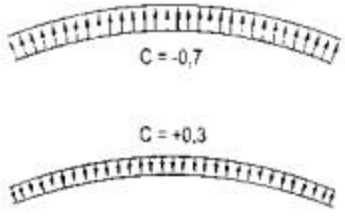
Hình 3.5. Áp lực gió phân bố trên mặt mái màng hở

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong thiết kế, điều quan trọng không phải là tìm cách đưa ra giá trị hệ số C thật chính xác mà cần xác định được vị trí có áp lực gió lớn nhất cả về gió đẩy lẫn gió hút cũng như tổng thể kết cấu sẽ tiếp nhận, sơ đồ phân bố áp lực gió như thế nào để việc tính toán không quá phức tạp mà vẫn an toàn.

Với mục đích như thế, các quy định của quy phạm Đức: DIN 4112 [4] đã đưa ra khá đầy đủ các giá trị của áp lực đẩy cũng như hút của gió (hình 3.6).

Tuy nhiên, trên các hình từ 3.3 đến 3.5 cung cấp kết quả thí nghiệm về giá trị hệ số C của áp lực gió hút tại các vị trí bất lợi nhất, ta thấy có vị trí lên đến $-1,2$.



Hình 3.6. Giá trị hệ số áp lực gió đẩy và gió hút trên mặt mái màng hở theo Quy trình Đức DIN - 4112.

b) Tải trọng gió tác động lên kết cấu màng mỏng khí nén

Với kết cấu mái màng khí nén đơn giản có diện tích mặt bằng xấp xỉ 100 m^2, chiều cao hơn 4 m, quy phạm DIN 4134 – 1980 [3] cho phép không cần tính toán thiết kế cả với tải trọng gió và tuyết nếu mái có chênh lệch áp suất hơi không nhỏ hơn $0,1$ kN/m^2 ($0,001$ atm) và chiều dày màng lớn hơn $0,5$ mm.

Với các mái có kích thước lớn hơn, DIN 4134 [3] cho phép xác định gần đúng tải trọng gió một cách đơn giản như tải trọng phân bố đều theo chiều cao. Giá trị của tải trọng gió cho trong bảng 3.3.

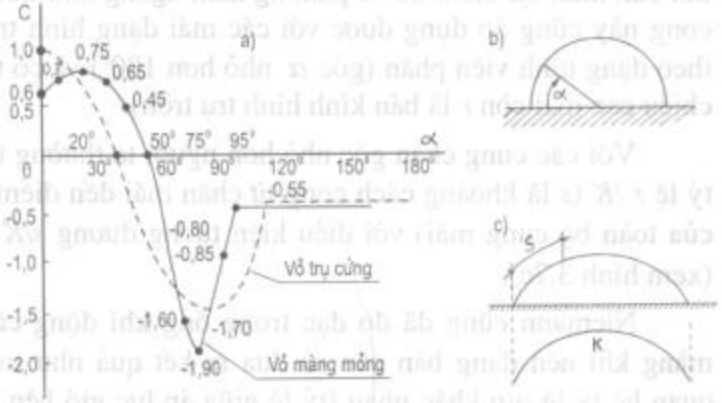
***Bảng 3.3.* Giá trị gần đúng của tải trọng gió theo DIN 4134-1980**

Chiều cao mái màng bơm hơi h (m)	Áp lực gió đẩy q (kN/m^2)
Thấp hơn 8 m	0,5
Từ 8 đến 20 m	0,3 + 0,025 h
Cao hơn 20 m	0,725 + 0,00375 h

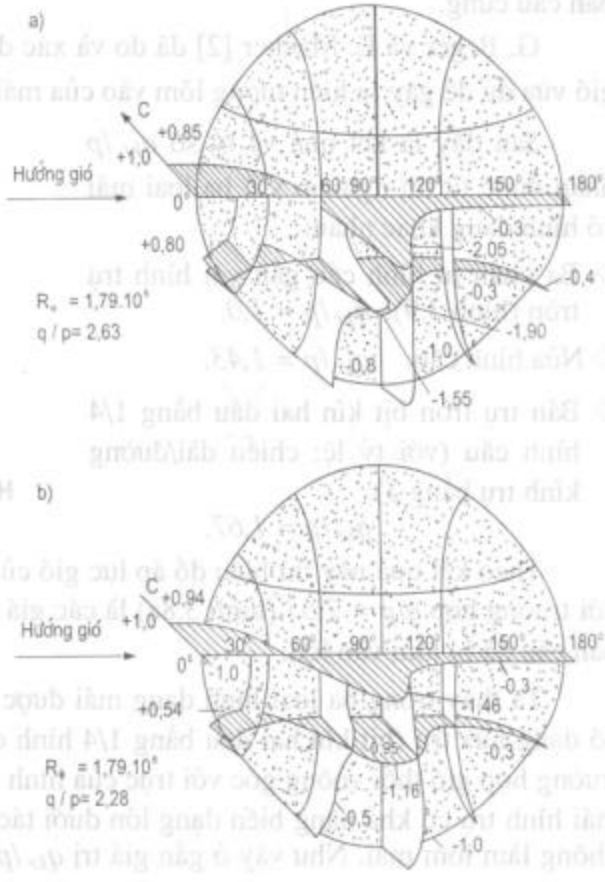
Trong tài liệu đã công bố tại Cộng hòa Dân chủ Đức, người ta cho phép lấy hệ số C của áp lực gió tác động lên kết cấu mái màng khí nén kín với chiều cao nhỏ hơn 10 m là $0,6q$ và không đổi. Cho đến nay, điều này vẫn còn được áp dụng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trên hình 3.7a là các số liệu của H. J. Niemann [25] khi phân tích so sánh áp lực gió của mái màng (mái mềm) dạng trụ tròn và mái cứng có hình dạng tương tự.



Hình 3.7. Áp lực gió trên vỏ nửa trụ cứng và vỏ màng dạng tương tự có biến dạng lớn.



Hình 3.8. Kết quả thí nghiệm mô hình kết cấu màng khí nén dạng bán cầu.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Với mái mềm, trong quá trình chịu tải trọng gió mái biến dạng làm thay đổi đường cong áp lực gió. Trên hình 3.7a cho ta mối quan hệ phụ thuộc của hệ số áp lực gió C với góc α của mái dạng nửa trụ (α là góc hợp bởi bán kính tại điểm đo và phương nằm ngang như trên hình 3.7b). Đường cong này cũng áp dụng được với các mái dạng hình trụ có mặt cắt ngang theo dạng hình viên phân (góc α nhỏ hơn 180^0) và có tỷ lệ $h/r > 0,75$ (h là chiều cao mái còn r là bán kính hình trụ tròn).

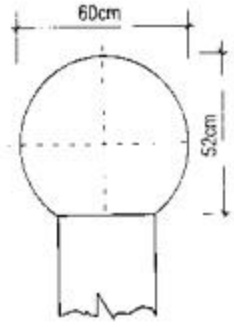
Với các cung chắn góc nhỏ hơn người ta thường thay thế góc α bằng tỷ lệ s/K (s là khoảng cách cong từ chân mái đến điểm xét; K là chiều dài của toàn bộ cung mái) với điều kiện tương đương $s/K = 0,5$ khi $\alpha = 90^o$ (xem hình 3.7c).

Niemann cũng đã đo đạc trong ống khí động các mô hình kết cấu màng khí nén dạng bán cầu và đưa ra kết quả như trên hình 3.8 với hai quan hệ tỷ lệ q/p khác nhau (tỷ lệ giữa áp lực gió bên ngoài và áp lực khí bên trong mái), giá trị của hằng số Reynolds R_e được lấy tương tự như mái bán cầu cứng.

G. Beger và E. Macher [2] đã đo và xác định q_{kr} là giá trị của áp lực gió vừa đủ để gây ra hiện tượng lõm vào của mái khí nén.

Sau đây là kết quả về tỷ số q_{kr}/p nhận được từ thí nghiệm với ba loại mái có hình dạng khác nhau:

- ◇ Ba phần tư hình cầu gắn với hình trụ tròn (hình 3.9): $q_{kr}/p = 1,0$.
- ◇ Nửa hình cầu: $q_{kr}/p = 1,43$.
- ◇ Bán trụ tròn bịt kín hai đầu bằng 1/4 hình cầu (với tỷ lệ: chiều dài/đường kính trụ bằng 3): $q_{kr}/p = 1,67$.



Hình 3.9. Mô hình thí nghiệm mái màng 3/4 hình cầu

Theo kết quả này thì biểu đồ áp lực gió của H. J. Niemann tương ứng với trường hợp $q/p = 2,63$ (hình 3.8a) là các giá trị nhận được khi mái hình bán cầu đã bị lõm vào lớn.

Ta thấy trong ba loại hình dạng mái được đo đạc thí nghiệm thì mái có dạng nửa trụ (bịt kín hai đầu bằng 1/4 hình cầu) là ổn định hơn, với cả trường hợp gió thổi vuông góc với trục của hình trụ. Có thể giải thích là các mái hình trụ có khả năng biến dạng lớn dưới tác động của tải trọng gió mà không làm lõm mái. Như vậy ở gần giá trị q_{kr}/p các mái trụ biến dạng rất

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

lớn nhưng đều đặn mà không bị lõm, ngoài ra tại hai đầu mái áp lực dòng không khí tạo ra lực kéo theo phương dọc cũng làm cho mái ổn định hơn.

3.1.4. Tải trọng bản thân

Trọng lượng riêng của màng mỏng thường chỉ vào khoảng *5~10* N/m^2. Như vậy so với các tải trọng khác thì rất nhỏ, trong thực tế tính toán ta có thể bỏ qua.

3.1.5. Tác động của sự thay đổi nhiệt độ

Về nguyên tắc sự thay đổi nhiệt độ gây ra ứng suất trong kết cấu và cần phải xét đến khi xác định cường độ chịu tải của màng mỏng. Tuy nhiên giá trị của chúng là nhỏ cho nên với các công trình không có yêu cầu đặc biệt thì được phép bỏ qua tác động này (theo DIN 4134 [3]).

3.1.6. Tải trọng tính toán đối với kết cấu bể chứa vật liệu

Với các kết cấu chứa vật liệu sử dụng màng mỏng, các thông số cần thiết đưa vào tính toán bao gồm: trọng lượng riêng của vật liệu bên trong và góc ma sát trong của chúng. Các quy định về hệ số an toàn và các quy định về cấu tạo của kết cấu và các nguyên liệu chứa (đặc trưng bởi góc ma sát trong và trọng lượng riêng của chúng) được cho trong quy phạm Hungary về kết cấu bể chứa MSZ 15 021/1.

3.2. Chọn tiết diện kết cấu màng mỏng

Trong quá trình tính toán chọn tiết diện kết cấu màng mỏng ta cần đảm bảo ứng suất trong màng mỏng nhỏ hơn giá trị của ứng suất giới hạn của vật liệu. Mặt khác, cần xác định các trạng thái giới hạn khác của kết cấu để kiểm tra nhằm đảm bảo cho kết cấu làm việc an toàn. Các đặc trưng về độ bền của màng (như cường độ dài hạn, biến dạng dư, cường độ chống xé rách...) đã nêu ở chương 2. Cũng cần nhắc lại là với kết cấu làm từ vật liệu nhựa tổng hợp thì việc khống chế ứng suất một cách gần đúng có thể thay thế bằng việc khống chế biến dạng của vật liệu (theo hướng dẫn thiết kế của Hungary MI-04.55-78). Ngoại trừ với các vật liệu có biến dạng chảy lớn thì không thể áp dụng được.

3.2.1. Ứng suất giới hạn của vật liệu

Do tính đặc thù của vật liệu màng mỏng nên ta không thể xác định ngay được giá trị ứng suất giới hạn để màng làm việc an toàn trong kết cấu. Các tác giả S. Shimamura và O. Takeuchi (Nhật Bản), P. S. Bulson (Anh) và các tác giả khác đã đề nghị: sử dụng đại lượng *cường độ chịu kéo tức*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

thời của vật liệu được xác định từ thí nghiệm kéo nhanh mẫu vật liệu (xem Chương 2), đôi khi dùng đại lượng lực kéo đứt N thay thế cho ứng suất kéo đứt σ, với một bề rộng đơn vị của vật liệu có độ dày δ. Lực kéo đứt N được xác định theo công thức $N = \delta.\sigma$.

Ở Đức, người ta sử dụng ba loại ứng suất giới hạn tùy thuộc điều kiện làm việc của kết cấu như sau:

❖ Cường độ chịu kéo tính toán ngắn hạn ở nhiệt độ 23^oC (nhiệt độ trong phòng):

$$N_{nh}^{23} = \alpha_1 \alpha_2 \frac{N_m}{\gamma}. \qquad (3.1)$$

❖ Cường độ chịu kéo tính toán dài hạn ở nhiệt độ 23^oC (nhiệt độ trong phòng):

$$N_{dh}^{23} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_{dh} \frac{N_m}{\gamma}. \qquad (3.2)$$

❖ Cường độ chịu kéo tính toán ngắn hạn ở nhiệt độ 70^oC (nhiệt độ ngoài trời, cao nhất vào mùa hè):

$$N_{nh}^{70} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_T \frac{N_m}{\gamma}. \qquad (3.3)$$

Trong các công thức trên:

N_m – lực kéo đứt mẫu xác định từ thí nghiệm kéo với xác suất 95% mẫu thử.

γ – hệ số an toàn, với vật liệu màng thường lấy $\gamma = 1,25$; với các loại mối nối vật liệu trong kết cấu $\gamma = 1,4$.

$\alpha_1 = 0,8$ – hệ số kể đến sự lão hoá của vật liệu.

$\alpha_2 = 0,85$ – hệ số kể đến sự khác biệt về trạng thái làm việc của mẫu thử trong thí nghiệm và của trạng thái thực trong kết cấu cũng như các yếu tố ảnh hưởng khác.

α_{dh} – hệ số giảm cường độ của vật liệu dưới tác động của tải trọng dài hạn, chính là dưới tác động của biến dạng chảy dẻo. Với vật liệu màng, hệ số này bằng $0,6$. Với các mối liên kết hàn, tuỳ theo loại vật liệu và phương pháp hàn giá trị của hệ số này dao động từ $0,23$ đến $0,65$ (phụ thuộc vào loại vật liệu màng).

α_T – hệ số giảm cường độ do nhiệt độ, với vật liệu màng mỏng $\alpha_T = 0,9$; với các mối liên kết hàn $\alpha_T = 0,83$.

Đối với vật liệu màng mỏng cũng như với các mối liên kết, hiện tượng mỏi không làm giảm cường độ của chúng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trên bảng 3.4 là kết quả so sánh giữa các hệ số an toàn trong toàn bộ việc xác định cường độ của vật liệu và các liên kết (theo DIN 4134-1980 [3]).

***Bảng 3.4.* Hệ số an toàn toàn bộ và hệ số vượt tải**

Tải trọng tác động	Với vật liệu	Với các liên kết	Hệ số vượt tải
Tải trọng ngắn hạn, ở 23° C	2,8	3,1	~ 1,5
Tải trọng dài hạn, ở 23° C	4,0	11,6 ÷ 4,1	~ 1,3
Tải trọng ngắn hạn, ở 70° C	1,4	1,7	~ 0,7

Trong bảng 3.4 cột thứ tư biểu thị hệ số vượt tải thường lấy trong tính toán thiết kế kết cấu. Trên cột thứ hai và thứ ba là các giá trị của hệ số an toàn tổng cộng khi xác định cường độ thiết kế từ kết quả thí nghiệm kéo nhanh các mẫu vật liệu màng mỏng.

Sau đây là cách xác định các ứng suất giới hạn của Hungari (theo [13]:

Trong chương 2 đã nêu đầy đủ các số liệu để xác định ứng suất giới hạn của màng mỏng và nhận thấy kết quả tìm được từ thí nghiệm kéo nhanh theo một phương phải giảm *5%*. Như vậy, ứng suất giới hạn của vật liệu màng mỏng được xác định bởi *0,95* giá trị thí nghiệm ($\sigma_{m,min}$).

- Hệ số an toàn thường được lấy bằng $k_1 = 1,5$ (thông thường: với gạch lấy bằng *1,8;* với thép lấy bằng *1,15*) với chú ý là trong đó số liệu từ kết quả thí nghiệm kéo nhanh đã giảm đi *5%*. Với các số liệu nhận được từ kết quả trung bình của thí nghiệm 40 mẫu liên tiếp có thể giảm hệ số an toàn này xuống còn *1,3*.
- Để kể đến hiện tượng lão hoá của kết cấu do thời tiết và môi trường gây ra, cần nhân với hệ số an toàn $k_2 = 1.4$.
- Để kể đến hiện tượng chế tạo không chính xác gây ra, cần nhân với hệ số an toàn $k_3 = 1,25$.
- Để kể đến khả năng không chính xác của mô hình tính toán kết cấu gây ra, cần nhân với hệ số an toàn $k_4 = 1,1 \sim 1,4$.

Tích lũy các hệ số này lại ta được hệ số an toàn ngắn hạn:

$$k_{ngh} = k_1 . k_2 . k_3 . k_4 = 2,9 \sim 3,7.$$

Như vậy ta có cường độ tính toán ngắn hạn của màng mỏng:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$[\sigma]_{ngh} = \frac{\sigma_{m,min}}{k_{ngh}} = \left(\frac{1}{2,9} \div \frac{1}{3,7}\right)\sigma_{m,min}.$$

Theo [13], khi kết cấu chịu tải trọng tác dụng dài hạn, khả năng chịu tải của vật liệu giảm, ta cần tăng hệ số an toàn bằng cách nhân với hệ số an toàn dài hạn $k_{dh} = 1,7$. Lúc này, cường độ tính toán dài hạn của vật liệu màng mỏng được xác định như sau:

$$[\sigma]_{dh} = \left(\frac{1}{4,9} \div \frac{1}{6,3}\right)\sigma_{m,min}.$$

Mùa hè, nhiệt độ của vật liệu có lúc lên đến 70^o C, cường độ vật liệu màng mỏng tương ứng giảm xuống khoảng 15% song do tác động ngắn cho nên khi xác định cường độ ta không cần đưa yếu tố này vào.

3.2.2. Các yêu cầu về chọn tiết diện trong thiết kế kết cấu

Với kết cấu màng căng trước và kết cấu khí nén, ta cần tính toán đảm bảo đồng thời hai trạng thái sau:

* Đảm bảo tổng lực kéo lớn nhất gây ra bởi các tổ hợp tải trọng bất lợi nhất và ứng lực căng trước trong màng mỏng (do căng trước hoặc áp lực khí nén) tác dụng đồng thời không gây ra hư hại cho kết cấu (không có điểm nào trong kết cấu chịu ứng suất kéo lớn hơn cường độ tính toán của vật liệu). Đây là yêu cầu về độ bền của kết cấu (về nguyên tắc còn phải đảm bảo về khả năng chịu cắt của kết cấu, tuy nhiên trong thực tế thường ít quan tâm).

* Đảm bảo sao cho trên toàn bề mặt kết cấu màng không bị nhăn, tức là luôn luôn cần một trị số ứng lực căng trong kết cấu sao cho ở bất kỳ một điểm nào trên kết cấu, theo bất kỳ phương nào cũng không xuất hiện ứng suất nén trong màng mỏng, ngay cả khi kết cấu chịu các tổ hợp tải trọng bất lợi nhất.

Hai trạng thái trên chính là hai điều kiện quyết định để chọn tiết diện kết cấu màng mỏng. Tăng chiều dày của màng (hoặc sử dụng kết cấu màng nhiều lớp) thường chỉ thoả mãn được yêu cầu về độ bền của kết cấu. Còn để cho bề mặt kết cấu luôn phẳng (không bị nhăn) thì biện pháp tăng chiều dày của màng không phải lúc nào cũng có hiệu quả, trong trường hợp này nhiều khi phải thay đổi hình dạng thiết kế của kết cấu.

a) Các yêu cầu kiểm tra về độ bền:

Theo quy định của Quy trình Đức DIN 4134 [3], với mái màng dạng khí nén và có thể mở rộng ứng dụng với các mái màng căng, cần kiểm tra với ba trạng thái chịu lực phụ thuộc vào thời tiết theo các công thức sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

❖ Với tải trọng gió bão trong mùa đông:

$$1,1N_p + 1,6N_q \le [N_{ngh}^{23}]. \quad (3.4)$$

❖ Với tải trọng tác dụng dài hạn:

$$1,3N_p \le [N_{dh}^{23}]. \quad (3.5)$$

❖ Với tải trọng gió bão trong mùa hè:

$$1,1N_p + 0,7N_q \le [N_{ngh}^{70}]. \quad (3.6)$$

Trong các công thức trên:

N_p – lực căng tại tiết diện kiểm tra do áp lực khí nén hoặc ứng lực căng gây ra.

N_q – lực căng tại tiết diện kiểm tra do áp lực gió gây ra.

$[N_{ngh}^{23}]$ – cường độ tính toán của vật liệu màng tương ứng với tải trọng tác dụng ngắn hạn ở nhiệt độ 23^oC.

$[N_{dh}^{23}]$ – cường độ tính toán của vật liệu màng tương ứng với tải trọng tác dụng dài hạn ở nhiệt độ 23^oC.

$[N_{ngh}^{70}]$ – cường độ tính toán của vật liệu màng tương ứng với tải trọng tác dụng ngắn hạn ở nhiệt độ 70^oC.

Trong công thức (3.6), hệ số tải trọng gió bão trong mùa hè được lấy bằng *0,7* vì thường không thể xảy ra trường hợp có gió bão lớn trong những ngày nắng. Mặt khác ở nhiệt độ cao 70^o C, cường độ tính toán của màng mỏng thường chỉ giảm 15% trong khi đó thì sự nguy hiểm đối với kết cấu do gió thường lớn hơn nhiều. Do đó công thức kiểm tra thứ ba (3.6) hầu như không được sử dụng trong tính toán chọn tiết diện, trong các phần tiếp theo ta bỏ qua trường hợp này.

Tóm lại để kiểm tra độ bền của kết cấu ta chỉ cần tính toán với hai trường hợp bất lợi sau:

❖ Các tải trọng ngắn hạn (gió, nước...) nhân với hệ số tải trọng theo quy trình tác động đồng thời với lực căng trước do khí nén, do ứng lực căng ngoài nhân với hệ số vượt tải *1,1*.

❖ Các tải trọng dài hạn, ở đây thường là do tĩnh tải, lực căng trước (do ứng lực căng ngoài cũng như do khí nén) nhân với hệ số vượt tải *1,3*.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

b) Yêu cầu về chống nhăn

Hiện tượng nhăn của màng xảy ra bởi sự biến đổi trị số ứng suất trong kết cấu do hai loại tải trọng gây ra, các hệ số vượt tải trong mỗi loại này cần được chọn sao cho ứng suất do chúng gây ra là bất lợi nhất đối với hiện tượng nhăn của màng. Theo quan điểm này, lực căng trước (lực căng ngoài hoặc áp suất khí nén) nhỏ hơn trị số thiết kế sẽ gây ra nguy hiểm hơn cho kết cấu vì vậy hệ số tải trọng của chúng lấy bằng *0,8*. Với các tải trọng khác cần chọn tổ hợp sao cho gây ra ứng suất nén lớn nhất tại điểm cần xét và được nhân với hệ số tải trọng theo quy phạm.

Cần tránh hiện tượng này vì khi màng bị nhăn có thể làm rách vật liệu, mặt khác, khi kết cấu chịu tác động của tải trọng gió, tại các vùng bị nhăn trên bề mặt kết cấu có nguy cơ xảy ra hiện tượng mất ổn định khí động, có thể lan rộng ra xung quanh dẫn đến phá huỷ màng mỏng hoặc có thể dẫn đến sụp đổ toàn bộ kết cấu. Về nguyên tắc, cần đảm bảo sao cho tại mọi điểm trên bề mặt kết cấu và theo mọi phương đều không phát sinh ứng suất nén. Sau đây ta sẽ khảo sát tỉ mỉ vấn đề này.

Nếu giả thiết kết cấu làm việc hoàn toàn như kết cấu vỏ màng (điều này sẽ được đề cập đến ở phần sau) thì hiện tượng nhăn của vỏ màng xảy ra khi: lực kéo trong màng phát sinh bởi lực căng ngoài cũng như do áp suất khí nén từ bên trong tại mọi điểm trên kết cấu theo một phương nào đó đã bị triệt tiêu bởi lực nén phát sinh do ngoại lực tác dụng.

Để thể hiện điều kiện tại mọi điểm trên kết cấu chỉ tồn tại lực kéo tức là lực dọc theo hai phương luôn luôn lớn hơn không, ta quan niệm trạng thái nội lực trong bài toán này như trạng thái ứng suất phẳng và sử dụng các công thức xác định ứng suất đã quen biết trong Sức bền vật liệu.

Xét một phân tố màng hình chữ nhật trong hệ tọa độ vuông góc $x\ y$ tại điểm bất kỳ trên màng. Gọi:

N_x, N_y – các thành phần nội lực trên đơn vị diện tích theo phương x và theo phương y, lần lượt đặt tại các mặt cắt có pháp tuyến ngoài theo phương x và theo phương y của phân tố (tương tự như khái niệm ứng suất pháp σ_x, σ_y trong Sức bền vật liệu).

N_{xy}, N_{yx} – các thành phần lực cắt trên đơn vị diện tích theo phương song song với y và phương x, lần lượt đặt tại các mặt cắt có pháp tuyến ngoài theo phương x và theo phương y của phân tố (tương tự như khái niệm ứng suất tiếp τ_{xy} và τ_{yx} trong Sức bền vật liệu). Theo luật đối ứng của các ứng suất tiếp ta có: $N_{xy} = N_{yx}$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Từ công thức xác định ứng suất chính trong Sức bền vật liệu ta suy ra công thức xác định N_{min} và mô tả điều kiện lực dọc tại mọi điểm phải lớn hơn không dưới dạng bất đẳng thức sau:

$$2N_{min} = N_x + N_y - \sqrt{(N_x - N_y)^2 + 4N_{xy}^2)} \geq 0.$$

Bất đẳng thức trên được biến đổi về dạng:

$$2N_{min} = N_x + N_y - \sqrt{(N_x + N_y)^2 - 4(N_x N_y - N_{xy}^2)} \geq 0. \quad (3.7)$$

Ta thấy bất đẳng thức (3.7) chỉ được thỏa mãn với các điều kiện sau:

$$N_x \geq 0;$$
$$N_y \geq 0; \quad (3.8)$$
$$N_x.N_y \geq N_{xy}^2.$$

Như vậy, x và y chính là hai phương vuông góc của phân tố, trong đó ứng lực kéo đều lớn hơn không và tích của chúng lớn hơn bình phương lực cắt. Nếu các điều kiện trên thỏa mãn thì theo bất kỳ phương nào của phân tố cũng không phát sinh ứng suất nén.

Một vấn đề đặt ra là trong quá trình chịu lực, sau khi màng mỏng bị nhăn thì kết cấu có còn khả năng đáp ứng yêu cầu sử dụng hay không? Đây là vấn đề còn cần được nghiên cứu thêm cả về mặt lý thuyết cũng như thực nghiệm. Một tác giả Nhật Bản, Y. Yokoo [36] và các đồng sự đã nghiên cứu vấn đề này và viết được phương trình cân bằng của một mái màng khí nén đã bị nhăn và theo Y. Yokoo thì đối với một vài loại mái màng khí nén đôi khi vẫn có khả năng chịu lực sau khi đã bị nhăn.

c) Yêu cầu về khắc phục chuyển vị lớn trong kết cấu

Dưới tác động của tải trọng ngoài, trong kết cấu màng mỏng phát sinh chuyển vị lớn hơn nhiều so với chuyển vị trong những kết cấu truyền thống. Đối với bản thân kết cấu màng mỏng, điều này không gây ra nguy hiểm, nhưng khi thiết kế công trình thì đó vẫn là điều cần phải xét đến.

Ví dụ, khi liên kết màng mỏng với một hệ kết cấu cứng như hệ vòm gỗ hoặc thép ta cần tìm giải pháp sao cho chúng có thể làm việc cùng nhau, hoặc tạo ra khả năng chuyển dịch lớn cho kết cấu cứng, hoặc cần gia cường các mép biên của màng cứng thêm để tiếp nhận các ứng suất tập trung.

Do đặc điểm của kết cấu màng mỏng là có chuyển vị lớn nên cần tạo khoảng cách an toàn giữa kết cấu và các trang thiết bị (hoặc các hàng hoá

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

chứa trong công trình). Theo quy trình Đức DIN 4134 [3], khoảng cách này không nhỏ hơn 1/20 bán kính cong của mái; với các điểm ở đỉnh mái, khoảng cách này cần lớn hơn nữa để đề phòng khả năng bị võng do đọng nước. Cần tránh sao cho mái không tiếp xúc với các vật bên trong khi xảy ra chuyển vị lớn.

3.3. Lựa chọn hình dạng kết cấu màng mỏng

Vì vật liệu màng mỏng không có khả năng tiếp nhận lực nén nên cần tính toán sao cho dưới các tác động của tải trọng, tại mọi điểm của vỏ màng cũng như theo mọi phương chỉ phát sinh ứng suất kéo nhằm tránh cho kết cấu bị nhăn. Với kết cấu màng mỏng ta có thể tính toán để chọn độ lớn của lực căng ban đầu (hoặc trị số áp lực khí nén bên trong với kết cấu khí nén) sao cho triệt tiêu hoàn toàn ứng suất nén phát sinh do các tải trọng ngoài. Việc lựa chọn hình dạng của kết cấu màng mỏng không hoàn toàn tạo ra một kết cấu mà tự nó tránh được sự phát sinh ứng suất nén nhưng có một ý nghĩa rất quan trọng để phục vụ việc thực hiện điều kiện này. Với kết cấu bể chứa, do không thể tự do tạo ra lực căng ban đầu nên việc lựa chọn hình dạng kết cấu phù hợp là rất quan trọng để tạo ra lực căng trong kết cấu khi chịu lực và tránh phát sinh lực nén.

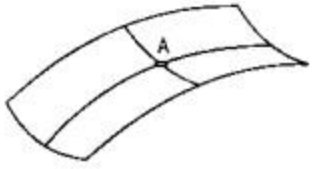
Dưới đây ta lần lượt nghiên cứu ba loại kết cấu màng mỏng và xem xét các điều kiện về hình dạng hợp lý của chúng. Trong các nghiên cứu này người ta thường dùng mô hình vỏ mỏng hay hệ lưới dây không gian để tính toán kết cấu màng mỏng. Các ưu khuyết điểm của hai mô hình tính toán này sẽ được đề cập đến ở phần sau.

3.3.1. Hình dạng của kết cấu màng căng

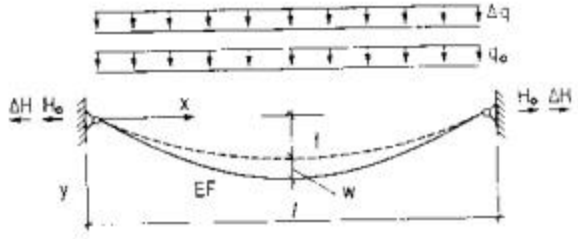
Trạng thái căng ban đầu trong kết cấu màng căng thường là do các lực căng ngoài và tải trọng bản thân tạo ra mà chưa có sự tham gia của tải trọng ngoài. Những lực này gây ra các ứng lực kéo theo hai phương trong kết cấu. Do đó, ở trạng thái ban đầu kết cấu màng căng thường có dạng là một mặt cong hai chiều trong không gian như trên hình 3.10.

Hình dạng của kết cấu màng căng giống như hình dạng của một mái dây, thường là mặt cong bậc hai hypebolôit tròn xoay. Một phần của mặt màng mỏng dạng này có thể gần với mặt phẳng nhưng không bao giờ có thể chuyển thành các mặt dạng parabolôit hoặc elipxôit. Các phần kết cấu gần với mặt phẳng có xu hướng dễ mất ổn định khí động. Ta có thể thấy điều này thông qua ví dụ một dây mềm có đường tên võng nhỏ, cố định ở hai đầu.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 3.10. Mặt mái màng cong hai chiều



Hình 3.11. Đoạn dây khảo sát

Xét dây mềm (hình 3.11), làm việc tương ứng với hai trạng thái [17]:

◇ *Trạng thái ban đầu*, dây chịu tải trọng phân bố đều với cường độ q_o và được căng với đường tên võng f: trong dây phát sinh lực căng H_o.

Từ điều kiện mômen uốn bằng không tại tiết diện bất kỳ trên dây, chẳng hạn tại tiết diện ở giữa nhịp, ta lập được hệ thức sau:

$$H_o = \frac{q_o l^2}{8f}. \tag{3.9}$$

Chiều dài cong S_o của dây được xác định như sau:

$$S_o = \int_l ds = \int_l \sqrt{dx^2 + dy^2} = \int_l \sqrt{1 + (dy/dx)^2}\, dx.$$

Vì dây được xem là căng thoải nên đại lượng $(dy/dx)^2$ rất nhỏ so với đơn vị. Do đó, sau khi khai triển nhị thức $[1 + (dy/dx)^2]^{1/2}$ và bỏ qua các số hạng bậc cao của $(dy/dx)^2$, ta có thể xác định gần đúng chiều dài cong S_o của dây theo công thức sau:

$$S_o \approx l\left[1 + \frac{8f^2}{3l^2}\right]. \tag{3.10}$$

◇ *Trạng thái dây chịu thêm tải trọng phân bố đều với cường độ Δq:* trong dây phát sinh lực căng mới $H_o + \Delta H$; đường tên võng thay đổi và có giá trị $(f + w)$ với w là chuyển vị của dây tại giữa nhịp; chiều dài cong của dây thay đổi do dây bị biến dạng đàn hồi được ký hiệu là S.

Từ (3.9) và (3.10) ta suy ra các hệ thức liên hệ giữa các đại lượng mới phát sinh ở trạng thái này như sau:

$$H_o + \Delta H = \frac{(q_o + \Delta q)l^2}{8(f + w)}. \tag{3.11}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$S = l\left[1 + \frac{8(f+w)^2}{3l^2}\right]. \qquad (3.12)$$

Sự thay đổi chiều dài cong giữa hai trạng thái do biến dạng đàn hồi của dây được xác định theo định luật Hooke. Nếu gọi EF là độ cứng của dây khi chịu kéo và xác định biến dạng đàn hồi của dây với chiều dài lấy gần đúng bằng chiều dài dây cung l, ta có:

$$S - S_o = \Delta H \frac{l}{EF}.$$

Sau khi thay (3.10) và (3.12) vào biểu thức trên, ta được:

$$\Delta H = \frac{8EF}{3l^2}(2fw + w^2). \qquad (3.13)$$

Từ (3.11), ta có:

$$(q_o + \Delta q)\frac{l^2}{8} = (H_o + \Delta H)(f + w). \qquad (3.14)$$

Sau khi thay (3.13) vào (3.14) và chú ý đến (3.9) ta tìm được:

$$\Delta q = \frac{64EF}{3l^4}\left(2f^2 w + 3f w^2 + w^3\right) + \frac{8}{l^2}H_0 w. \qquad (3.15)$$

Gọi c là độ cứng của dây theo định nghĩa: tỷ số giữa vi phân của số gia tải trọng Δq với vi phân của chuyển vị w tương ứng. Sau khi lấy đạo hàm hai vế của (3.15) ta được:

$$c = \frac{d(\Delta q)}{dw} = \frac{64EF}{3l^4}\left(2f^2 + 6f w + 3w^2\right) + \frac{8}{l^2}H_0.$$

Đại lượng cần quan tâm là độ cứng ban đầu, ký hiệu là c_o, ở lân cận giá trị $w = 0$:

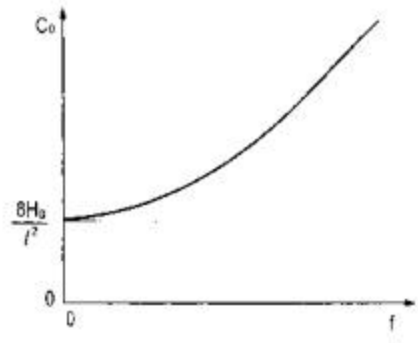
$$c_o = \left[\frac{d(\Delta q)}{dw}\right]_{w=0} = \frac{128f^2 EF}{3l^4} + \frac{8H_0}{l^2}. \qquad (3.16)$$

Như vậy sự biến đổi độ cứng của dây (c_o) phụ thuộc f, hay nói cách khác c_o là hàm của f và có đồ thị tương ứng như trên hình 3.12.

Qua biểu thức (3.16) ta thấy: nếu $H_o > 0$ thì ngay cả khi đường tên vồng f bằng không dây cũng có độ cứng xác định là $8H_o/l^2$; tiếp đó độ cứng này tăng chậm và sau đó tăng nhanh hơn khi f tiếp tục tăng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Như đã đề cập ở phần trước: các phần kết cấu màng mỏng có mặt gần với mặt phẳng có xu hướng dao động chậm dưới tác động của gió. Điều này không trực tiếp gây ra nguy hiểm cho kết cấu nhưng có ảnh hưởng bất lợi với các tác động đồng thời khác. Do đó, tốt hơn là nên tránh để xảy ra hiện tượng này.

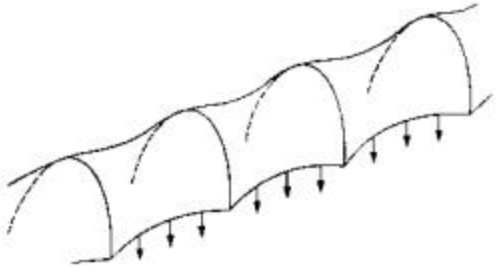


Hình 3.12. Đồ thị liên hệ giữa c_0 và f

Mặt khác các phần kết cấu có dạng mặt phẳng còn có thể gây ra các nguy hiểm khác cho kết cấu như hiện tượng đọng nước mưa làm cho bề mặt màng bị lõm xuống trở thành các túi nước.

Việc tạo hình dạng mặt cong hai chiều cho kết cấu màng căng thường được thực hiện bằng cách cắt và nối các mảnh vật liệu màng mỏng. Như vậy có thể tạo ra một mặt màng mà ngay cả trong trạng thái không tải cũng có dạng cong hai chiều.

Cũng có thể tạo ra mặt cong hai chiều từ các tấm vải màng phẳng bằng cách căng và xoắn chúng, tuy nhiên lúc này màng phải có khả năng dãn dài tốt và đồng thời cần tránh không để cho màng bị nhăn.



Hình 3.13. Mái màng căng trên một dãy vòm

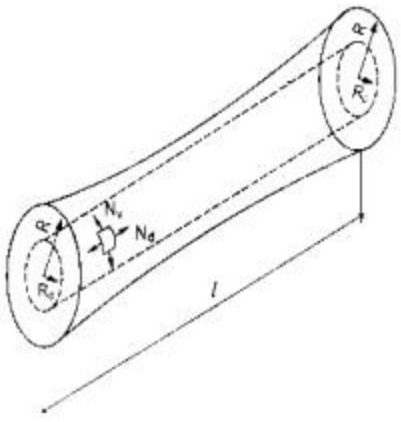
Việc nghiên cứu xác định giới hạn hình học của màng thế nào để thoả mãn các yêu cầu về tạo dáng sẽ được đề cập tới ở dưới đây.

Xét một mái màng mỏng được căng trên các vòm có hình dạng như trên hình 3.13. Để cho đơn giản ta giả thiết: giữa hai vòm cứng màng có dạng một phần mặt hypebolôit xung quanh được cố định vào biên.

Về thực chất ta cần nghiên cứu giải bài toán có sơ đồ như trên hình 3.14. Ban đầu vỏ màng có dạng hình trụ tròn xoay với bán kính ban đầu (ở trạng thái không tải) R_o, chiều dài l. Ta cần căng chúng trên một đường tròn có bán kính R ($R>R_o$). Như vậy là màng sẽ bị cưỡng bức dãn dài theo phương vuông góc với các đường sinh, trong các mặt phẳng vòm.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Nếu giả thiết là màng được căng theo hai phương song song với các phương của sợi cốt vải thì theo sơ đồ hình 3.14, các phương cố định là phương dọc theo các đường sinh và phương ngang vuông góc với các đường sinh. Như vậy, trên mặt màng chỉ phát sinh lực kéo N_d dọc theo các đường sinh và N_v vuông góc với các đường sinh. Khi căng màng lên các vòm, các đại lượng R, R_o, l có các mối liên hệ phụ thuộc biến dạng tỷ đối ε_d và ε_v do lực căng gây ra.



Hình 3.14. Vỏ màng hình trụ căng trên một đôi vòm

Do tính chất đối xứng của kết cấu nên các biến dạng không phụ thuộc độ lớn của góc ở đỉnh vòm (tất nhiên màng phải được căng đều tại mọi điểm trên trục vòm mà không chỉ căng giữa các vòm). Khả năng màng bị nhăn trong trường hợp này là không xảy ra vì cả hai phương chính đều có ứng lực kéo nên sẽ không có bất kỳ phương nào xuất hiện ứng lực nén trong màng mỏng.

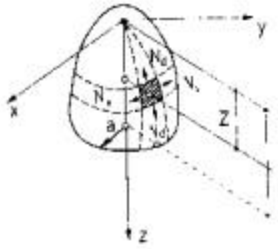
3.3.2. Hình dạng của kết cấu màng khí nén

Trong kết cấu màng khí nén, lực căng trong màng được đảm bảo bởi áp lực khí nén từ bên trong. Điều kiện trong màng chỉ phát sinh các ứng lực kéo thường được bảo đảm khi màng được hình thành từ các mặt cong theo hai phương với bán kính cong xấp xỉ nhau. Trong số các kết cấu màng mỏng khí nén, thường gặp nhất là dạng mặt elipxôit tròn xoay (hình 3.15).

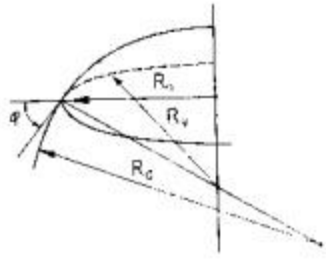
Đôi khi cũng sử dụng kết cấu là một phần của mặt paraboloit thậm chí hypebolôit (tức là độ cong theo một phương có thể bằng không, thậm chí âm), với yêu cầu là trong những phần này cũng chỉ xuất hiện ứng lực kéo theo hai phương do tác động của áp lực khí nén bên trong.

Cũng có thể sử dụng kết cấu có hình dạng phức tạp hơn, ví dụ thường gặp là kết cấu khí nén có hình dạng tạo bởi một mặt bán trụ tròn được làm kín hai đầu bằng các mặt có dạng 1/4 mặt cầu.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 3.15. Màng khí nén dạng mặt elipxôit tròn xoay



Hình 3.16. Các bán kính cong và góc tiếp tuyến theo phương kinh tuyến

Theo quan điểm kỹ thuật [13], ta thường sử dụng kết cấu có dạng mặt elipxôit tròn xoay là do dưới áp suất khí nén chúng thường đảm bảo điều kiện chỉ xuất hiện ứng lực kéo ở tại mọi điểm và theo mọi phương trong kết cấu. Tuy nhiên, đôi khi điều này cũng không hoàn toàn đúng. Ta có thể dễ dàng chứng minh được là dưới tác động của áp suất khí nén, trong các kết cấu màng này chỉ không phát sinh ứng lực nén theo phương vĩ tuyến khi mọi điểm trên kết cấu thoả mãn điều kiện sau: *bán kính cong chính theo phương kinh tuyến R_d lớn hơn hoặc bằng một nửa bán kính cong chính theo phương vĩ tuyến R_v* (hình 3.16):

$$R_d \geq \frac{R_v}{2}. \tag{3.17}$$

Mặt elipxôit tròn xoay trên hình 3.15 thoả mãn điều kiện (3.17) khi:

$$b \geq \frac{a}{\sqrt{2}} = 0{,}707a, \tag{3.18}$$

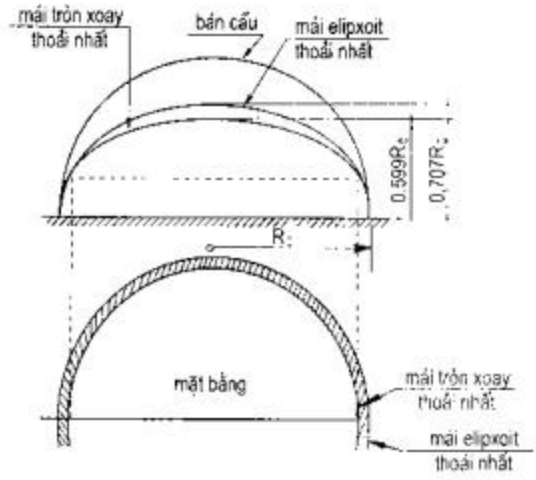
có nghĩa là chiều cao của kết cấu mặt elipxôit tròn xoay không được nhỏ hơn *70%* bán kính của đường tròn trên mặt bằng nếu muốn tránh sự phát sinh ứng lực nén trong kết cấu.

Chiều cao tối thiểu của kết cấu màng khí nén mà dưới tác động của áp suất bên trong vừa đủ để không phát sinh ứng lực nén làm cho màng bị nhăn được xác định theo điều kiện (3.17); lúc này mọi điểm trên kết cấu phải thoả mãn:

$$R_d = \frac{R_v}{2}. \tag{3.19}$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Để tìm mặt cong thoả mãn điều kiện này ta tích phân phương trình của mặt cong elipxôit và được hình dạng như trên hình 3.17 (theo [13]). Trên hình 3.17 cũng cho biết kết quả so sánh hình dạng mặt elipxôit với các mặt cong khác. Ta thấy mặt có chiều cao thấp nhất không làm cho màng bị nhăn thấp hơn *15%* so với mặt elipxôit có cùng mặt bằng và cùng thỏa mãn điều kiện (3.19).



Hình 3.17. So sánh các mặt mái màng khí nén

Hai công thức (3.17) và (3.19) là các điều kiện để không phát sinh lực nén trong màng đối với kết cấu khí nén chỉ chịu áp suất khí bên trong. Rõ ràng là khi chịu các tải trọng ngoài (tải trọng gió hay nước đọng...) trong màng phát sinh ứng lực nén theo một phương nào đó mà lực kéo trước bị triệt tiêu thì mặt màng sẽ xuất hiện các nếp nhăn.

Để không xảy ra hiện tượng mặt màng xuất hiện các nếp nhăn ngay cả với các tổ hợp tải trọng bất lợi nhất, ta cần xác định giới hạn để cho kết cấu hoàn toàn tránh được hiện tượng này.

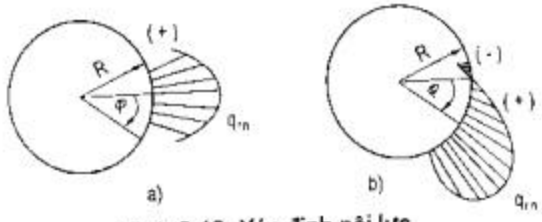
Ta sẽ nghiên cứu các hình dạng tổ hợp của mặt cong tròn xoay. Ta thấy có thể tạo ra một mặt cong tròn xoay từ các đoạn mặt cong xếp chồng lên nhau theo mặt phẳng vuông góc với trục đối xứng của vỏ như trên hình 3.18.

Nếu như từng phần của mặt cong không được liên kết với nhau hoàn toàn theo các đường tiếp xúc thì khi đó sẽ xuất hiện những lực tập trung do mặt màng có độ cong gãy đột ngột. Lúc này ta cần sử dụng các dây liên kết dọc theo mỗi giao tuyến của các phần mặt cong để tiếp nhận các lực tập trung theo phương vĩ tuyến. Những dây này không có độ cứng chịu uốn nhưng có khả năng tiếp nhận mọi thành phần của các lực phát sinh do sự chuyển hướng đột ngột của mặt cong gây ra.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 3.18. Mặt tròn xoay với các dây liên kết



Hình 3.19. Xác định nội lực trong dây liên kết

Theo [13], kết quả tính nội lực trong thanh cong tròn chịu tác dụng của các thành phần tải trọng như sau:

✦ Thành phần xuyên tâm (hình 3.19a):

$q_r = q_{rn}\, cos(n\varphi)$ với n là một số nguyên, (3.20)

gây ra mômen uốn: $$M = -\frac{q_{rn}R^2}{n^2-1} cos(n\varphi)\,. \qquad (3.21)$$

✦ Thành phần tiếp tuyến (hình 3.19b):

$q_t = q_{tn}\, sin(n\varphi)$ với n là một số nguyên, (3.22)

gây ra mômen uốn: $$M = \frac{q_{tn}R^2}{n(n^2-1)} cos(n\varphi)\,. \qquad (3.23)$$

Trong trường hợp này, ta sử dụng liên kết dưới dạng dây cho nên cần xem xét khả năng tác động của các thành phần tải trọng này sao cho trong dây không phát sinh mômen uốn.

Nếu như: $$q_{tn} = n\, q_{rn} \qquad (3.24)$$

thì tổng mômen uốn phát sinh hai thành phần lực trên gây ra sẽ bằng không tại mọi điểm.

Các biểu thức (3.21) và (3.23) chỉ có ý nghĩa khi n lớn hơn hoặc bằng 2. Tuy nhiên, nếu sử dụng các công thức của màng dạng mặt trụ (3.8) và (3.11) thì ta có thể thấy là trong trường hợp $n = 1$, công thức (3.23) cũng đảm bảo điều kiện không phát sinh ứng lực nén (cũng cần lưu ý là khi $n = 1$, thì các phương trình cân bằng sẽ không tồn tại độc lập đối với từng đại lượng q_r và q_t).

Trường hợp $n = 0$ với áp lực nén phân bố đều hướng tâm cũng như lực cắt (do mômen xoắn gây ra) phân bố đều cũng không gây ra nén trong dây. Công thức (3.24) đúng khi q_r là hàm của $sin(n\varphi)$, còn q_t là hàm của $cos(n\varphi)$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

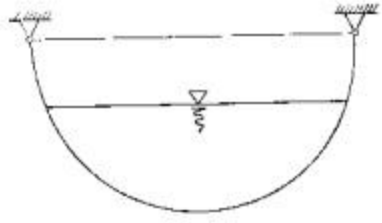
Với hệ trên hình 3.18 ta thấy các dây liên kết có tác dụng truyền lực màng từ phần vỏ trên xuống phần vỏ dưới, các thành phần không phải nội lực màng, phát sinh do sự thay đổi đột ngột của mặt cong sẽ do dây tiếp nhận.

3.3.3. Hình dạng hợp lý của kết cấu bể chứa

Với kết cấu màng mỏng được sử dụng làm bể chứa (chứa chất lỏng hay vật liệu rời), yêu cầu về hình dạng hợp lý là chọn sao cho khi chứa đầy vật chứa sẽ không xuất hiện các vết nhăn trên bề mặt màng. Để thoả mãn yêu cầu này thường không có vấn đề gì khó khăn.

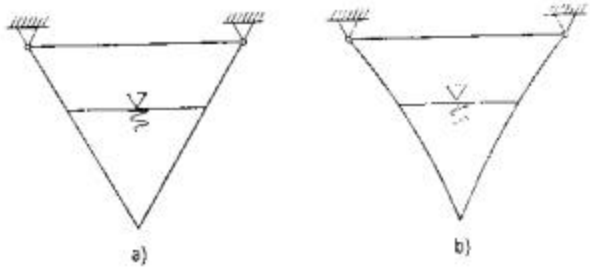
Tuy nhiên, nếu cần đảm bảo điều kiện này ngay cả khi kết cấu chỉ chứa một phần vật chứa thì là việc khá khó khăn.

Trên hình 3.20 là sơ đồ kết cấu bể chứa chất lỏng dạng bán cầu (hoặc dạng mặt cong elipxôit) được treo lên một vành cứng.



Hình 3.20. Bể chứa chất lỏng hình bán cầu

Trong quá trình đổ từng phần chất lỏng (hoặc vật liệu rời), tại phần vỏ ở phía trên mặt phân cách (mặt vật chứa trong bể) sẽ xuất hiện ứng lực nén theo phương vĩ tuyến và như vậy màng sẽ bị nhăn. Theo phương kinh tuyến, trong vỏ sẽ xuất hiện ứng lực kéo do trọng lượng bản thân của vật chứa gây ra. Vì trong kết cấu không có lực căng ban đầu, bán kính cong theo hai phương bằng nhau nên theo điều kiện cân bằng, trong vỏ sẽ xuất hiện ứng lực nén theo phương vĩ tuyến (xem hình 3.21a).



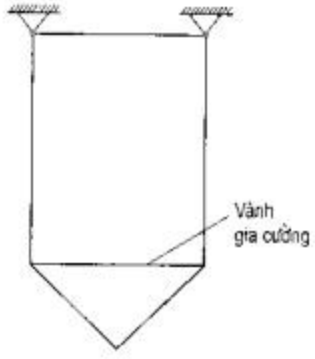
Hình 3.21. Bể chứa không bị nhăn
a) dạng mặt nón;
b) dạng hypebolôit

Để đổ từng phần vật liệu vào bể mà không làm cho màng bị nhăn, người ta thường chế tạo các bể chứa có dạng như trên hình 3.21b. Với những trường hợp này, ứng lực theo phương vĩ tuyến trong phần vỏ màng phía trên vật chứa sẽ là ứng lực kéo hoặc nhỏ nhất cũng chỉ bằng không.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Các bể chứa dạng này mang nhược điểm là có đường kính đáy nhỏ, chứa được ít. Theo chúng tôi, việc chống nhăn cho vỏ màng bằng cách gia cường là không cần thiết bởi vì hiện tượng nhăn có thể xuất hiện khi vật chứa được đổ vào và lấy ra sẽ gây ra sự thay đổi liên tục về giá trị của ứng suất tại phần trên của bể chứa. Tuy nhiên, như đã nêu ở chương 2, mối nguy hiểm do vật liệu khi bị uốn gập liên tục (hiện tượng mỏi) không làm thay đổi cường độ và các đặc tính cơ học của vật liệu.

Ta có thể sử dụng bể chứa có hình dạng tổ hợp mà vẫn tránh được sự xuất hiện ứng lực nén. Bể chứa trên hình 3.22 là tổ hợp của một mặt nón và một mặt trụ được liên kết với nhau bằng một vành tròn cứng.



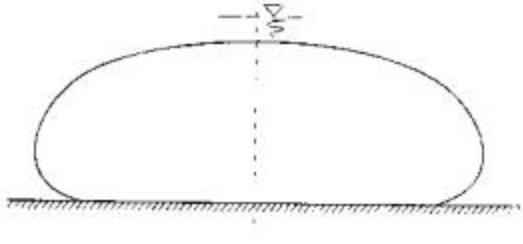
Hình 3.22. Bể chứa có dạng tổ hợp

Bể chứa chất lỏng có hình dạng tối ưu là *dạng giọt nước* (dạng tự nhiên của giọt nước khi chịu sức căng mặt ngoài) như trên hình 3.23.

Đó là một mặt tròn xoay, đáy được tựa trên một nền cứng, có đặc điểm là luôn chịu ứng lực đều, nghĩa là trong trường hợp đổ đầy chất lỏng thì tại mọi điểm trên mặt vỏ và theo mọi phương đều xuất hiện một trị số lực căng N_e như nhau (gọi là kết cấu có độ bền đều).

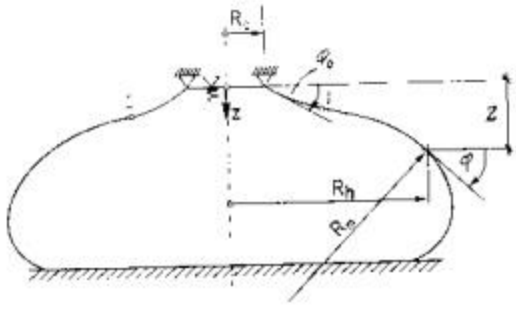
Trong lý thuyết vỏ, hình dạng này đã được nhắc đến từ lâu song với các vật liệu truyền thống như thép, nhôm, bê tông cốt thép thì rất khó chế tạo, do đó chưa được ứng dụng. Với vật liệu màng mỏng việc chế tạo vỏ bể chứa dạng này từ các mảnh như các mảnh vỏ cam và liên kết chúng lại theo đường kinh tuyến là khá đơn giản.

Hình 3.23. Bể chứa chất lỏng dạng giọt nước kín

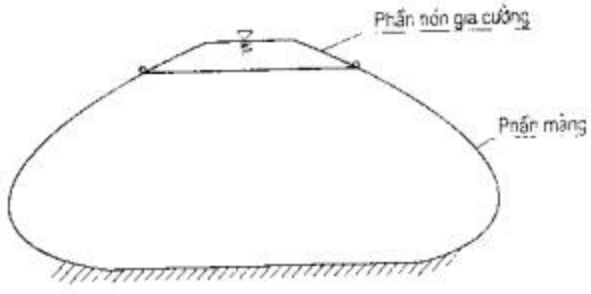


Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bể chứa dạng giọt nước như trên hình 3.23 là loại kín và chỉ tồn tại khi chất lỏng chứa bên trong có áp suất. Do đó kết cấu bể chứa dạng này còn ít được sử dụng.



Hình 3. 24. Bể chứa chất lỏng dạng giọt nước nắp hở



Hình 3.25. Bể chứa chất lỏng dạng giọt nước hở có vành nón gia cường

Thông thường, ở trên đỉnh bể ta cần mở một khoảng trống để rót và lấy chất lỏng trong bể. Theo [13], để thực hiện yêu cầu này ta sử dụng kết cấu có dạng như trên hình 3.24, trong đó cần tạo ra vành biên trên của kết cấu luôn tiếp xúc trơn tru với mặt vỏ nhằm tránh sự đổi hướng đột ngột của vỏ có thể gây ra các ứng lực cục bộ. Một cách giải quyết khác khi sử dụng kết cấu bể chứa hở nắp như trên hình 3.24 là tạo ra một điểm uốn I (thực ra là tập hợp các điểm trên một đường tròn). Một giải pháp khác như trên hình 3.25 là đưa vào sử dụng một vành biên cứng dạng mặt nón tiếp xúc thoải với phần trên của vỏ bể. Ưu điểm của kết cấu bể này là có hình dạng đơn giản, dễ chế tạo, tuy nhiên lực kéo theo phương kinh tuyến trong phần hình nón sẽ lớn hơn so với trường hợp kết cấu có độ bền đều (theo công thức 3.24).

Với kết cấu bể chứa dạng giọt nước trên hình 3.23, 3.24, 3.25, ta có thể tính được bán kính cong R_m của các kinh tuyến tại điểm bất kỳ theo công thức sau [13]:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$R_m = \frac{1}{\frac{\gamma z}{N_e} - \frac{\sin\varphi}{R_h}}, \qquad (3.25)$$

trong đó:

γ – trọng lượng riêng của chất lỏng chứa trong bể;

z – độ sâu của điểm khảo sát tính từ mặt chất lỏng chất đầy trong bể;

φ – góc nghiêng của tiếp tuyến theo kinh tuyến tại điểm đang xét so với phương ngang.

N_e – lực căng phát sinh trong màng bể (có trị số không đổi tại mọi điểm khi bể có dạng hình giọt nước lý tưởng);

R_h – khoảng cách theo phương ngang từ điểm đang xét tới trục của bể (xem hình 3-24).

Trong trường hợp bể có nắp hở, tại điểm xuất phát từ vành biên trên: R_h chính là bán kính của nắp; góc của tiếp tuyến tại điểm xuất phát là φ_o; độ sâu $z = 0$, nên công thức 3.25 sẽ có dạng:

$$R_{mo} = -\frac{R_o}{\sin\varphi_o}. \qquad (3.26)$$

Dấu trừ trong công thức có nghĩa là trên đoạn này kinh tuyến có độ cong âm, đường cong lõm. Đoạn cong từ nắp bể tới điểm uốn I trên hình 3.24 thường không chọn quá dài. Tại các điểm tiếp theo của kinh tuyến với toạ độ z, góc nghiêng φ và khoảng cách đến trục R_h ta tính được bán kính cong R_m theo (3.26). Tại điểm uốn I bán kính cong R_m bằng vô cùng, sau đó R_m sẽ có giá trị dương. Cuối cùng, kinh tuyến có dạng đường thẳng nằm ngang, từ điểm này bể chứa được tựa trên nền đất. Bằng các phép thử, thay đổi góc xuất phát φ_o (đôi khi là lực căng) ta có thể điều chỉnh dung tích của bể chứa.

Trong trường hợp bể không chứa đầy, tất nhiên vỏ bể sẽ bị nhăn vì xuất hiện ứng lực kéo trong vỏ màng. Lúc này, hiện tượng nhăn không gây nguy hại lớn cho kết cấu bể nên có thể không cần xem xét đến.

Với dạng bể có vỏ kín như trên hình 3.23 khi chứa không đầy có thể dẫn đến nguy hiểm cho kết cấu vì phần trên của vỏ do chính chất lỏng bên trong đỡ, lúc này ta có thể sử dụng cách giải quyết như trên hình 3.24. Khi bề mặt chất lỏng trong bể giảm xuống, các phần trên của vỏ cũng như phần tiếp xúc với đất nền đều không phát sinh ứng lực kéo theo phương kinh

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

tuyến: như vậy trên đoạn giữa, ứng lực kéo theo phương này nhỏ hơn trong trường hợp bể chứa đầy. Do trị số của ứng lực kéo theo phương kinh tuyến giảm nhiều hơn so với áp lực của chất lỏng nên ứng lực kéo theo phương vĩ tuyến cần tăng lên để cân bằng với áp suất của chất lỏng. Như vậy bể chứa không đầy chất lỏng sẽ có ứng lực kéo theo phương vĩ tuyến lớn hơn trong trường hợp bể chứa đầy.

Cũng còn một tình huống nguy hiểm cho kết cấu bể chứa là khi chất lỏng bên trong bị đóng băng hoặc nóng lên gây ra sự thay đổi thể tích và làm cho ứng suất trong màng mỏng tăng khá lớn có thể gây ra phá hoại.

3.4. Xác định trạng thái ban đầu của kết cấu màng mỏng

Cũng như các kết cấu có chuyển vị lớn khác, để tính toán chính xác kết cấu màng mỏng ta cần xét đến yếu tố phi tuyến về hình học, tức là thực hiện tính toán theo sơ đồ biến dạng nên việc giải bài toán này khá phức tạp.

Để cho thuận tiện người ta thường chia ra thành các giai đoạn tính như sau:

* ***Xác định trạng thái ban đầu của kết cấu***, tức là xác định hình dạng của kết cấu tương ứng với các tải trọng ngoài cũng như hệ lực căng bên trong, thường là các tải trọng dài hạn như tải trọng bản thân, lực căng ban đầu. Ở trạng thái này người thiết kế có thể điều chỉnh hình dạng của kết cấu theo ý muốn chủ quan thông qua việc chọn cao độ của biên: trị số lực căng ban đầu cũng như tải trọng tác dụng.

* ***Tính toán trạng thái hệ chịu các tác động bên ngoài:*** Từ trạng thái ban đầu đã xác định, khi hệ chịu thêm tải trọng ngoài hoặc các tác động khác thì kết cấu sẽ thay đổi trạng thái đã có và chuyển sang trạng thái mới để cân bằng với các tác động mới. Giai đoạn tính toán này nhằm xác định nội lực, chuyển vị trong hệ ở trạng thái mới.

* ***Tính toán trạng thái không tải:*** Từ trạng thái ban đầu ta giải bài toán ngược nhằm xác định hình dạng từng phần của kết cấu ở trạng thái không tải để trên cơ sở đó cắt vật liệu, liên kết và chế tạo kết cấu màng mỏng trong xưởng trước khi vận chuyển và lắp đặt tại hiện trường. Quá trình này còn được gọi là tính toán thiết kế cắt may kết cấu màng mỏng.

Khi thiết kế kết cấu màng mỏng, trước tiên ta cần xác định trạng thái ban đầu tức là phải chọn một hệ lực căng ban đầu, các cao độ của biên, ngoại lực tác dụng để sao cho kết cấu màng đạt được hình dạng mong muốn và tiếp tục chịu được các tác nhân bên ngoài một cách an toàn khi sử dụng ở các giai đoạn sau.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Hình dạng của kết cấu màng khí nén và kết cấu bể chứa thường được tạo thành bởi các mặt cong có phương trình chuẩn và đạt được hình dạng mong muốn sau khi bơm khí nén hoặc đổ đầy vật liệu như đã nêu trong mục 3.2.2.

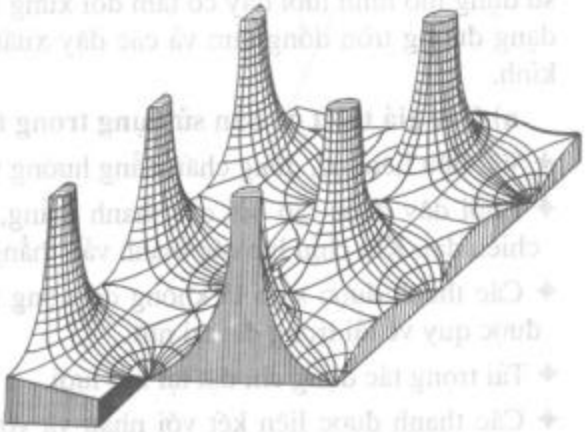
Việc tính toán xác định trạng thái ban đầu của kết cấu màng mỏng có ý nghĩa đặc biệt đối với trường hợp kết cấu màng căng trước. Kết cấu màng căng trước thường được sử dụng làm mái các công trình có mặt bằng bất kỳ, các biên cong trong không gian (có thể là biên cứng, biên đàn hồi, có cột chống giữa hoặc biên cáp mềm).

3.4.1. Xác định trạng thái ban đầu theo lý thuyết vỏ phi mômen

Việc xác định hình dạng ban đầu của kết cấu màng căng theo lý thuyết vỏ phi mômen đã được nhiều tác giả nghiên cứu nhưng phương pháp của J. Pelikán (Hungary) được ứng dụng nhiều hơn cả. Cơ sở của phương pháp này xuất phát từ điều kiện: trong kết cấu vỏ, tại mọi điểm và theo mọi phương luôn chỉ tồn tại những hệ lực kéo phân bố có thành phần ngang không đổi. Trong trường hợp biên cứng người ta tính từng phần và ghép lại. Với trường hợp kết cấu có các cột chống phía trong, hình dạng mặt kết cấu thường được chọn theo hàm Jacôbi - eliptic như trên hình 3.26.

Mô hình tính theo lý thuyết vỏ phi mômen tỏ ra có hiệu quả trong những trường hợp kết cấu có hình dạng ban đầu là một mặt cong hay nhiều mặt chọn theo các phương trình chuẩn, được ghép lại với nhau.

Với kết cấu màng mỏng căng trước, thường có dạng phức tạp, không có quy luật và biên thường được liên kết với các kết cấu khác (khung, vòm, dàn, dây ...) thì sử dụng phương pháp này sẽ gặp nhiều khó khăn. Khi đó người ta thường sử dụng mô hình hệ lưới dây không gian thay thế để tính toán kết cấu.



Hình 3. 26. Mặt cong của các hàm Jacôbi - eliptic

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Một thế mạnh nữa của mô hình hệ lưới dây là có thể dễ dàng sử dụng các thuật toán đã biết để lập chương trình tự động hoá tính toán kết cấu, giúp giảm nhẹ công việc tính toán.

Sau đây ta chỉ đi sâu tìm hiểu cách tính toán trạng thái ban đầu theo mô hình hệ lưới dây trình bày trong [35].

3.4.2. Xác định trạng thái ban đầu theo mô hình hệ lưới dây

Trong cách này ta thay thế xấp xỉ kết cấu màng mỏng bằng một hệ lưới dây không gian có độ cứng tương đương, tức là thay thế màng mỏng liên tục bằng một hệ lưới gồm các dây rời rạc với điều kiện độ cứng EF của dây đúng bằng độ cứng EF của một dải màng có bề rộng b mà nó thay thế. Bề rộng b chính là khoảng cách giữa các dây trong lưới, khoảng cách này càng mau (chiều rộng b của dải màng càng nhỏ) thì kết quả càng chính xác song khối lượng tính toán cũng sẽ tăng tương ứng. Trong thực tế thiết kế thường chọn bề rộng của dải màng được thay thế bằng một dây vào khoảng từ *0,5* m đến *1* m thì kết quả có độ chính xác chấp nhận được.

Để cho đơn giản và phù hợp với sự làm việc của màng mỏng trong kết cấu người ta thường áp dụng một số dạng lưới sau:

- Lưới dây có hình chiếu trên mặt bằng theo dạng hình chữ nhật, lực căng ngang trong các dây song song với nhau có cùng độ lớn. Mô hình này khá phù hợp với cấu tạo của cốt vải trong vật liệu màng mỏng, áp dụng tốt để tính các mái có độ dốc không lớn lắm, được liên kết với biên cứng cũng như biên mềm (dạng cáp biên).
- Với kết cấu màng mỏng có cột chống bên trong, nếu áp dụng lưới dây có hình chiếu trên mặt bằng theo dạng chữ nhật thì kết quả tìm được tại xung quanh vị trí liên kết với cột sẽ không chính xác. Lúc này, tốt hơn là nên sử dụng mô hình lưới dây có tâm đối xứng trên mặt bằng, gồm các dây có dạng đường tròn đồng tâm và các dây xuất phát từ tâm theo phương bán kính.

a) Các giả thiết cơ bản sử dụng trong tính toán kết cấu lưới dây

- Vật liệu liên tục, đồng chất, đẳng hướng và đàn hồi tuyệt đối.
- Lưới dây được tạo bởi các thanh thẳng, tiết diện không đổi trên suốt chiều dài. Khi chịu lực các thanh vẫn thẳng.
- Các thanh được xem là không có trọng lượng. Trọng lượng của thanh được quy về tải trọng đặt tại nút.
- Tải trọng tác dụng chỉ đặt tại nút lưới.
- Các thanh được liên kết với nhau và với các nút biên bằng khớp cầu không có ma sát.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Như vậy việc tính toán hệ lưới dây dẫn đến việc tính toán một hệ thanh không gian theo sơ đồ biến dạng. Tuy hệ thanh hoàn toàn có thể tiếp nhận lực nén nhưng với hệ dây thì không có khả năng chịu lực nén do đó trong quá trình tính toán ta cần chú ý khống chế điều này.

Về mặt tĩnh học, hệ lưới dây nêu trên là kết cấu không xác định, nghĩa là hệ chỉ có khả năng chịu một số dạng tải trọng tương ứng phù hợp nào đó và ta cần tạo lực căng ban đầu trong hệ để chúng trở thành kết cấu thực sự. Trong giai đoạn tính toán này, tùy theo tính chất của kết cấu biên đỡ và tỷ lệ độ cứng của kết cấu biên so với dây, ta có thể xem như hệ lưới dây làm việc độc lập và truyền tải trọng vào kết cấu biên hay xem lưới dây và biên làm việc đồng thời (trường hợp các biên cáp).

Khác với các kết cấu thông thường, hệ lưới dây có chuyển vị nút khá lớn, vị trí của các nút trong không gian phụ thuộc nội lực và ngoại lực tác dụng, ngược lại nội lực trong hệ không chỉ phụ thuộc ngoại lực mà còn phụ thuộc hình dạng hình học của hệ (thông qua toạ độ trong không gian của các nút lưới) ở trạng thái chịu lực tương ứng. Trong mỗi trạng thái của kết cấu, các điều kiện cân bằng giữa nội lực và tải trọng, điều kiện tương thích cần được thoả mãn, dạng hình học được xác định thông qua toạ độ các nút lưới.

b) Xác định toạ độ của nút lưới trong trường hợp tổng quát

Xét hệ lưới thanh không gian có mặt bằng bất kỳ trong hệ tọa độ x, y, z. Giả sử hệ có: n_o nút trong đó có n nút bên trong (nút không liên kết với biên); số đoạn thanh trong hệ là m. Đánh số thứ tự các nút như sau: các nút trong $j = 1, 2, ..., n$; tiếp đó là các nút ngoài $n+1, n+2, ... , n_o$. Các thanh trong hệ được ký hiệu là j, k với j và k là số thứ tự của các nút ở hai đầu thanh.

Ta quy ước ký hiệu các ma trận bằng các ký tự đậm nét.

Đặt:
- $V_{j,k} = 1$ nếu tồn tại thanh j, k nối hai nút j và k;
- $V_{j,k} = 0$ nếu không có thanh nối hai nút j và k.

Nút thứ j trong không gian được xác định bằng vectơ $\boldsymbol{r}_j$ biểu thị các tọa độ x_j, y_j, z_j của nút thứ j, gọi là vectơ vị trí của nút thứ j. Đó là ma trận cột có cấu trúc như sau:

$$\boldsymbol{r}_j = \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix}.$$

Để cho gọn, dưới đây ta sẽ quy ước ký hiệu các ma trận cột (vectơ), ví dụ với ma trận $\boldsymbol{r}_j$, như sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\boldsymbol{r_j} = \{\, x_j \quad y_j \quad z_j \,\}.$$

Gọi $l_{j,k}$ là chiều dài đoạn thanh j, k, ta có:

$$l_{j,k} = l_{k,j} = \left| \sqrt{\boldsymbol{r}_{j,k}^T \cdot \boldsymbol{r}_{j,k}} \right| \tag{3.27}$$

là một số dương vô hướng, trong đó:

$$\boldsymbol{r}_{j,k} = -\boldsymbol{r}_{k,j} = \boldsymbol{r}_k - \boldsymbol{r}_j = \{\, (x_k - x_j) \quad (y_k - y_j) \quad (x_k - z_j) \,\}. \tag{3.28}$$

Vectơ đơn vị theo phương trục thanh có chiều từ nút j đến nút k được ký hiệu như sau:

$$\boldsymbol{e}_{j,k} = \frac{1}{l_{j,k}}\, \boldsymbol{r}_{j,k} = \frac{1}{l_{j,k}} \{\, (x_k - x_j) \quad (y_k - y_j) \quad (x_k - z_j) \,\}. \tag{3.29}$$

Trong thanh j, k chỉ tồn tại lực dọc theo phương trục thanh, ta gọi là lực thanh và ký hiệu là $S_{j,k}$. Đó là một đại lượng vô hướng, được xem là dương nếu lực thanh là kéo và âm nếu lực thanh là nén.

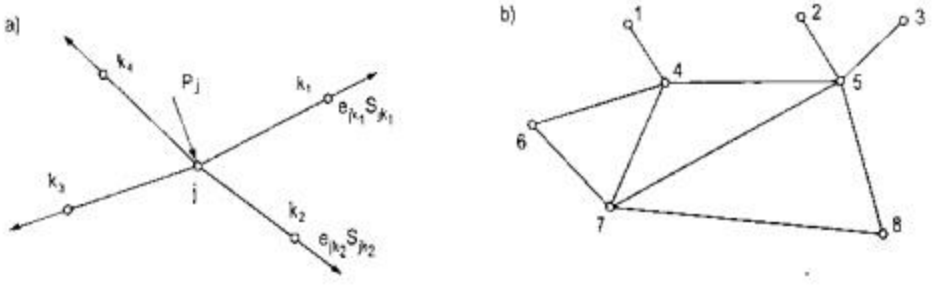
Tại nút thứ j ngoài nội lực của các thanh quy tụ vào nút còn có tác động của ngoại lực được mô tả bằng ma trận cột $\boldsymbol{P_j}$:

$$\boldsymbol{P_j} = \{\, P_{jx} \quad P_{jy} \quad P_{jz} \,\}$$

với P_{jx}, P_{jy}, P_{jz} là các thành phần hình chiếu của lực đặt tại nút j lên các trục x, y, z.

Điều kiện cân bằng hình chiếu lên ba phương x, y, z của nút bất kỳ thứ j (hình 3.27) được viết dưới dạng ma trận như sau:

$$\sum_{k=1}^{n_{cb}} V_{j,k}\, \boldsymbol{e}_{j,k}\, S_{j,k} + \boldsymbol{P_j} = \boldsymbol{0}.$$



Hình 3. 27

Trên hình 3-27a biểu thị một nút có bốn thanh quy tụ: j,k_1 ; j,k_2 ; j,k_3 ; j,k_4. Từ điều kiện cân bằng trên, sau khi thay biểu thức tổng (số hạng thứ nhất) bằng tích của các ma trận với chú ý là $V_{j,k} = 0$ khi $k \neq 1, 2, 3, 4$ ta có

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

phương trình cân bằng của nút thứ j dưới dạng cụ thể như sau:

$$\sum_{k=1}^{v} e_{j,k}\, S_{j,k} + P_j =$$

$$= [\, e_{j,k_1} \quad e_{j,k_2} \quad e_{j,k_3} \quad e_{j,k_4} \,].\{\, S_{j,k_1} \quad S_{j,k_2} \quad S_{j,k_3} \quad S_{j,k_4} \,\} + P_j = 0.$$

với v – số lượng thanh quy tụ tại nút thứ j.

Theo cách này, ta dễ dàng viết được phương trình cân bằng cho tất cả các nút của hệ lưới thanh dưới dạng ma trận như sau:

$$G^T S + P = 0\,, \tag{3.30}$$

trong đó:

G^T – ma trận số liệu hình học của hệ lưới dây, có dạng ma trận chia khối mỗi khối là một véctơ gồm 3 phần tử, kích thước toàn bộ của ma trận là $[3n_0 \times m]$.

S – vectơ nội lực trong các thanh, kích thước $[m \times 1]$.

P – vectơ tải trọng nút. Vectơ này có dạng chia khối, mỗi khối gồm 3 phần tử và có kích thước $[3n_0 \times 1]$.

Ví dụ, các ma trận thành phần trong phương trình cân bằng (3.20) của hệ lưới dây trên hình 3.27b được viết cụ thể như sau:

$$G^T = \begin{bmatrix}
e_{1,4} & & & & & & & & & \\
& e_{2,5} & & & & & & & & \\
& & e_{3,5} & & & & & & & \\
e_{4,1} & & & e_{4,5} & e_{4,6} & e_{4,7} & & & & \\
& e_{5,2} & e_{5,3} & e_{5,4} & & & e_{5,7} & e_{5,8} & & \\
& & & & e_{6,4} & & & & e_{6,7} & \\
& & & & & e_{7,4} & e_{7,5} & & e_{7,6} & e_{7,8} \\
& & & & & & & e_{8,5} & & e_{8,7}
\end{bmatrix}$$

Khi lập ma trận G^T ta để trống các phần tử tương ứng có giá trị $V_{j,k}=0$.

$$S = \{\, S_{1,4} \quad S_{2,5} \quad S_{3,5} \quad S_{4,5} \quad S_{4,6} \quad S_{4,7} \quad S_{5,7} \quad S_{5,8} \quad S_{6,7} \quad S_{7,8} \,\};$$

$$P = \{\, P_1 \quad P_2 \quad P_3 \quad P_4 \quad P_5 \quad P_6 \quad P_7 \quad P_8 \,\}.$$

Ta thấy mỗi cột của ma trận G^T tương ứng với một thanh, mỗi thanh có hai nút cho nên trên mỗi cột chỉ tồn tại hai vectơ thành phần $e_{j,k}$ và $e_{k,j}$.

Từ hệ phương trình cân bằng (3.30) của lưới dây ta thấy tích của ma trận G^T (biểu thị vị trí của các nút lưới) với ma trận nội lực S trong các dây là duy nhất cân bằng với hệ ngoại lực P, tại tất cả các nút, do đó ta có thể

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

viết:

$$\boldsymbol{P} = -\boldsymbol{G}^T \boldsymbol{S}\,. \tag{3.31}$$

Nếu đã biết ma trận $\boldsymbol{G}$ và vectơ tải trọng $\boldsymbol{P}$ thì nói chung ta chưa thể giải (3.30) để tìm được ma trận nội lực $\boldsymbol{S}$ trong các dây. Như vậy hệ lưới dây là hệ không xác định. Chúng chỉ là hệ xác định tĩnh trong những trường hợp đặc biệt khi ma trận hệ số $\boldsymbol{G}$ là ma trận vuông không suy biến. Như vậy ta cần xét kỹ hơn về vấn đề này.

Trong hệ phương trình (3.30) có sự tham gia của tất cả các nút: nút bên trong và nút biên. Như vậy trong véctơ ngoại lực $\boldsymbol{P}$ có cả các lực tác dụng tại các nút biên $\boldsymbol{P}_j$ ($j = n+1, n+2, \ldots, n_0$) còn chưa biết, các lực này phụ thuộc nội lực trong các dây liên kết vào biên. Ta có thể viết lại phương trình (3.30) sao cho các hàng đầu chỉ bao gồm các nút biên của lưới còn các hàng sau là các nút bên trong, lúc này (3.30) được viết lại dưới dạng các ma trận chia khối như sau:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{G}_b^T \\ \boldsymbol{G}_L^T \end{bmatrix} \cdot \boldsymbol{S} + \begin{bmatrix} \boldsymbol{P}_b \\ \boldsymbol{P}_L \end{bmatrix} = \boldsymbol{0}\,, \tag{3.32}$$

trong đó:

$\boldsymbol{P}_b$ và $\boldsymbol{P}_L$ – vectơ các lực tại các nút biên và vectơ các lực tác dụng tại các nút bên trong, kích thước lần lượt là $[3(n_o-n) \times 1]$ và $[3n \times 1]$;

$\boldsymbol{G}_b^T$ – ma trận số liệu hình học của phần hệ tương ứng với các nút biên của lưới dây, kích thước $[3(n_o-n) \times m]$;

$\boldsymbol{G}_L^T$ – ma trận số liệu hình học của phần hệ tương ứng với các nút bên trong của lưới dây, kích thước $[3n \times m]$;

Khai triển (3.32), ta được:

- Hệ phương trình cân bằng của các nút bên trong:

$$\boldsymbol{G}_L^T \boldsymbol{S} + \boldsymbol{P}_L = \boldsymbol{0}\,. \tag{3.33}$$

- Hệ phương trình cân bằng của các nút biên:

$$\boldsymbol{G}_b^T \boldsymbol{S} + \boldsymbol{P}_b = \boldsymbol{0}. \tag{3.34}$$

Như vậy, từ hệ phương trình (3.33) ta có thể xác định được nội lực $\boldsymbol{S}$ trong các thanh khi các tải trọng nút $\boldsymbol{P}_L$ đã biết. Còn từ (3.34) ta sẽ xác định được phản lực tại các nút biên:

$$\boldsymbol{P}_b = -\left(\boldsymbol{G}_b^T\right)^{-1} \boldsymbol{S}\,. \tag{3.35}$$

Do đó, từ nay về sau ta không cần quan tâm đến việc xác định các lực biên một cách riêng biệt và trong phương trình (3.30) ta chỉ quan tâm đến

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

các nút bên trong của lưới.

Chỉ trong những trường hợp đặc biệt, ma trận hệ số G^T trong hệ phương trình cân bằng (3.30) của các nút lưới bên trong mới có dạng vuông và không suy biến (định thức của G^T khác không):

$$\left|G^T\right| \neq 0$$

Lúc này hệ lưới là hệ xác định tĩnh, đó chính là trường hợp hệ dàn tĩnh định và ta có thể xác định nội lực trong các thanh trực tiếp từ hệ phương trình cân bằng (3.30):

$$S = -\left(G^T\right)^{-1} P. \tag{3.36}$$

Trường hợp tổng quát, G^T là ma trận chữ nhật. Giả sử ta có thể xấp xếp lại các cột của G^T cùng với các phần tử tương ứng của vectơ nội lực S; xấp xếp lại các các hàng của G^T cùng với các phần tử tương ứng của vectơ tải trọng P dưới dạng:

$$\begin{bmatrix} G_{11}^T & G_{12}^T \\ G_{21}^T & G_{22}^T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = 0 \tag{3.37}$$

sao cho G_{11}^T là ma trận con của G^T, có dạng vuông với kích thước lớn nhất và có định thức khác không: $\left|G_{11}^T\right| \neq 0$.

Nếu S_2 và P_1 đã biết thì từ phương trình (3.37) ta có thể xác định được các ma trận S_1 và P_2 theo các phương trình sau:

$$S_1 = -\left(G_{11}^T\right)^{-1} G_{12}^T S_2 - \left(G_{11}^T\right)^{-1} P_1 ;$$

$$P_2 = \left[G_{21}^T \left(G_{11}^T\right)^{-1} G_{12}^T - G_{22}^T\right] S_2 + G_{21}^T \left(G_{11}^T\right)^{-1} P_1 . \tag{3.38}$$

Ta nhận thấy hình dạng của lưới được biểu thị qua các giá trị của ma trận G^T chỉ xác định khi một phần của tải trọng nút là cho trước cũng như một phần của nội lực trong hệ có giá trị được chọn trước; các giá trị của tải trọng còn lại và nội lực trong các thanh còn lại bị ràng buộc bởi phương trình (3.38). Như vậy, không còn trở ngại gì trong việc xác định nội lực và tải trọng tác dụng trong hệ lưới.

Tuy nhiên, tồn tại một vấn đề là: hệ nội lực và tải trọng cho trước cần có trị số bao nhiêu để phù hợp với sự làm việc thực tế của hệ lưới.

Cũng cần lưu ý:

- nếu ma trận hệ số của (3.37) có dạng:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$\left[G_{11}^T \quad G_{12}^T\right]$ với $\left|G_{11}^T\right| \neq 0$ thì hệ là hệ không xác định (số phương trình cân bằng lớn hơn số ẩn);

- nếu ma trận hệ số của (3.37) có dạng:

$$\begin{bmatrix} G_{11}^T \\ G_{21}^T \end{bmatrix} \text{ với } \left|G_{11}^T\right| \neq 0 \text{ thì hệ sẽ là siêu tĩnh.}$$

c) Xác định toạ độ của lưới dây chịu lực nút thẳng đứng

Giả sử trong hệ lưới dây chỉ chịu hệ lực nút thẳng đứng (song song với trục z). Trong trường hợp này hợp lực các thành phần nằm ngang của các véctơ nội lực trong các thanh tại mỗi nút sẽ là các véctơ không và không phụ thuộc tải trọng nút. Như vậy ta có khả năng tìm được các mối quan hệ giữa các thành phần nội lực trong các thanh trên mặt bằng *xy*. Mô hình hệ lưới dây khảo sát chỉ gồm những thanh có hình chiếu khác không trên mặt bằng.

Nếu xảy ra trường hợp có thanh thẳng đứng, ta có thể sử dụng hai điều kiện sau để đưa thanh đứng vào mô hình tính:

◇ Với thanh j,k có chiều dài $l_{j,k}$ thì tọa độ theo phương z của hai nút j, k có liên hệ:

$$z_k = z_j + l_{j,k}.$$

◇ Trị số tải trọng tại các nút j và k có số gia để sao cho:

$$\Delta P_j = S_{j,k}; \qquad \Delta P_k = -S_{j,k}.$$

Từ phương trình ma trận tổng quát (3.30) ta có thể phân tích thành ba phương trình hình chiếu theo ba phương x, y, z:

$$\sum_{k=1}^{n} V_{j,k} \boldsymbol{e}_x^T \boldsymbol{e}_{j,k} S_{j,k} = \boldsymbol{0};$$

$$\sum_{k=1}^{n} V_{j,k} \boldsymbol{e}_y^T \boldsymbol{e}_{j,k} S_{j,k} = \boldsymbol{0};$$

$$\sum_{k=1}^{n} V_{j,k} \boldsymbol{e}_z^T \boldsymbol{e}_{j,k} S_{j,k} + \boldsymbol{P}_j = \boldsymbol{0} \quad \text{với } (j = 1, 2, \ldots, n), \tag{3.39}$$

trong đó:

$\boldsymbol{e}_x, \boldsymbol{e}_y, \boldsymbol{e}_z$ – các vectơ đơn vị lần lượt song song với các trục toạ độ x, y, z;

$\boldsymbol{P}_j$ – vectơ các lực đặt tại nút có phương thẳng đứng.

Hai phương trình đầu của (3.39) có thể viết lại dưới dạng:

$$\sum_{k=1}^{n} V_{j,k} \cos(j,k;x) H_{j,k} = 0 \quad \text{với } (j = 1, 2, \ldots, n),$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\sum_{k=1}^{n} V_{j,k}\cos(j,k;y)H_{j,k} = 0 \quad \text{với} \quad (j = 1, 2, \ldots, n),$$

hoặc có thể viết dưới dạng ma trận gọn hơn:

$$\boldsymbol{A}\,\boldsymbol{H} = \boldsymbol{0}; \quad \text{trong đó} \qquad \boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A}_x \\ \boldsymbol{A}_y \end{bmatrix}. \tag{3.40}$$

Các phần tử của $\boldsymbol{A}_x$ và $\boldsymbol{A}_y$ là $V_{j,k}cos(j,k;x)$ và $V_{j,k}cos(j,k;y)$ với $(j, k; x)$ và $(j, k; y)$ là các góc hợp bởi hình chiếu của thanh j,k trên mặt bằng và các trục toạ độ x và y.

$$cos(j,k;x) = \frac{l_{j,k}}{d_{j,k}}\boldsymbol{e}_x^T\boldsymbol{e}_{j,k}; \qquad cos(j,k;y) = \frac{l_{j,k}}{d_{j,k}}\boldsymbol{e}_y^T\boldsymbol{e}_{j,k}$$

Các phần tử của véctơ $\boldsymbol{H}$ là $H_{j,k} = d_{j,k}\,S_{j,k}/\,l_{j,k}$ với $d_{j,k}$ là độ dài hình chiếu của thanh trên mặt bằng.

Từ phương trình thứ ba của (3.39) với chú ý là nội lực trong thanh có thành phần thẳng đứng bằng không và thay thế:

$$\boldsymbol{e}_z^T\,\boldsymbol{e}_{j,k} = \frac{z_k - z_j}{l_{j,k}}; \qquad S_{j,k} = \frac{l_{j,k}}{d_{j,k}}H_{j,k},$$

ta có:
$$\sum_{k=1}^{n} V_{j,k}\frac{z_k - z_j}{d_{j,k}}H_{j,k} + P_j = 0 \quad \text{với} \quad (j = 1, 2, \ldots, n). \tag{3.41}$$

Ta thấy hệ phương trình (3.41) có: n phương trình; n ngoại lực nút thẳng đứng $(j = 1, 2, \ldots, n)$; n phần tử $H_{j,k}$ và $(n_o - n)$ cao độ nút biên z_j với $(j = n+1, n+2, \ldots, n_o)$ đã biết. Các ẩn số z_j là cao độ các nút bên trong của lưới $(j = 1, 2, \ldots, n)$ hoàn toàn có thể xác định được. Nói một cách khác, nếu cao độ các nút biên, hệ tải trọng tác động tại các nút trong và các thành phần nằm ngang của nội lực trong thanh đã biết thì ta hoàn toàn xác định được hình dạng của hệ lưới (chính là cao độ của các nút trong).

Chú ý:

- Các trị số của $H_{j,k}$ không được chọn lựa một cách tự do, chúng phải thỏa mãn hệ phương trình (3.40).
- Độ dài của hình chiếu các thanh trên mặt bằng $d_{j,k}$ được coi là đã biết. Như vậy, trong quá trình hình thành hệ lưới dây, các thông số của phương trình (3.41) có thể tự do thay đổi nhưng các nút lưới chỉ thay đổi toạ độ z_j, còn các tọa độ trên mặt bằng không đổi. Thực ra, sự thay đổi z_j cũng làm cho chiều dài đoạn thanh $l_{j,k}$ thay đổi theo song các đặc trưng cơ học của thanh chưa tham gia trong các phương trình cân

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

bằng, chiều dài các thanh chỉ thay đổi rất nhỏ nên có thể xem hình chiếu trên mặt bằng của chiều dài các thanh là không đổi.

Ma trận hệ số A của phương trình (3.40) có kích thước [2n×m]. Sau khi thực hiện phép chuyển vị trí hàng và cột, ít nhất cũng tồn tại một ma trận con với kích thước [2n×2n] có định thức khác không. Ta có thể bố trí lại như sau:

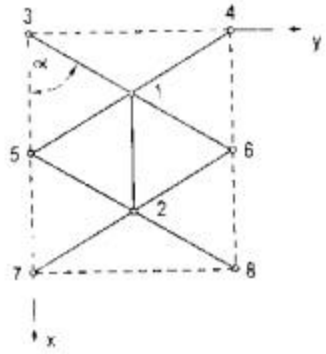
$$A = [A_1 \quad A_2]; \quad \text{trong đó} \quad |A_1| \neq 0; \qquad H = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{bmatrix}.$$

Như vậy, các phương trình (3.40) trở thành:

$$[A_1 \quad A_2] \cdot \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{bmatrix} = 0; \quad \text{suy ra:} \quad H_1 = -A_1^{-1} A_2 H_2. \qquad (3.42)$$

Từ (3.42) ta thấy nếu giả thiết A thoả mãn với các phần tử j,k của véctơ H_2 cho trước thì ta có thể xác định được các phần tử của véctơ H_1. Hay nói cách khác với hệ lưới chịu tải trọng thẳng đứng cần phải cho trước $(m-2n)$ thành phần nằm ngang của nội lực.

Ví dụ, trên hình 3.28 là mặt bằng của một hệ lưới dây chịu tải trọng nút thẳng đứng có hai nút trong là 1 và 2.



Hình 3. 28

$n_0 = 8; \quad n = 2;$

$m = 9$

$c = \cos\alpha = \cos 60^0 = 1/2$

$s = \sin\alpha = \sin 60^0 = \sqrt{3}/2$

$d_{j,k} = d_0$

Phương trình (3.40) được viết như sau:

$$A\,H = \begin{bmatrix} 1 & -c & -c & c & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c & -c & c & c \\ 0 & -s & s & -s & s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -s & s & -s & s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H_{1,2} \\ H_{1,3} \\ H_{1,4} \\ H_{1,5} \\ H_{1,6} \\ H_{2,5} \\ H_{2,6} \\ H_{2,7} \\ H_{2,8} \end{bmatrix} = 0. \qquad (a)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Ta có thể sử dụng các thuật toán quen thuộc và lập chương trình cho máy tính thực hiện việc chuyển vị trí hàng và cột để bố trí lại ma trận A với mục đích có được ma trận con A_1 không suy biến với kích thước lớn nhất.

Trong ví dụ đơn giản này: ta chuyển cột cuối cùng của ma trận A vào sau cột thứ 3 và tương ứng chuyển phần tử cuối cùng của véctơ H ($H_{2,8}$) đến dưới phần tử thứ 3 ($H_{1,4}$) ta có:

$$\begin{bmatrix} 1 & -c & -c & 0 & c & c & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & c & 0 & 0 & -c & -c & c \\ 0 & -s & s & 0 & -s & s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s & 0 & 0 & -s & s & -s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H_{1,2} \\ H_{1,3} \\ H_{1,4} \\ H_{2,8} \\ H_{1,5} \\ H_{1,6} \\ H_{2,5} \\ H_{2,6} \\ H_{2,7} \end{bmatrix} = [A_1 \quad A_2] \cdot \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{bmatrix} = 0.$$

Sau khi chuyển ta được ma trận A_1 không suy biến và nghịch đảo ma trận A_1:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & -c & -c & 0 \\ -1 & 0 & 0 & c \\ 0 & -s & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s \end{bmatrix}; \qquad A_1^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & c/s \\ -1/2c & -1/2c & -1/2s & 1/2s \\ -1/2c & -1/2c & 1/2s & 1/2s \\ 0 & 0 & 0 & 1/s \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} c & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c & -c & c \\ -s & s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -s & s & -s \end{bmatrix}; \quad H_1 = \begin{bmatrix} H_{1,2} \\ H_{1,3} \\ H_{1,4} \\ H_{2,8} \end{bmatrix}; \quad H_2 = \begin{bmatrix} H_{1,5} \\ H_{1,6} \\ H_{2,5} \\ H_{2,6} \\ H_{2,7} \end{bmatrix}.$$

Sau khi giải hệ phương trình (3.40), theo (3.42) ta được một phương án kết quả của hệ dây:

$$H_1 = \begin{bmatrix} H_{1,2} \\ H_{1,3} \\ H_{1,4} \\ H_{2,8} \end{bmatrix} = -A_1^{-1} A_2 H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -2c & 2c \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H_{1,5} \\ H_{1,6} \\ H_{2,5} \\ H_{2,6} \\ H_{2,7} \end{bmatrix} \qquad (b)$$

Sau đây ta xem xét mức độ phụ thuộc của các cao độ nút lưới (z_1 và z_2) theo sự lựa chọn giá trị các phần tử véctơ lực H_2.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Giả sử cao độ các nút trên biên z_j ($j = 3, 4, 5, 6, 7, 8$) đã biết, phương trình cân bằng hình chiếu theo phương thẳng đứng (3.41) được viết như sau:

$$(H_{1,2} + H_{1,3} + H_{1,4} + H_{1,5} + H_{1,6})\, z_1 - H_{1,2}\, z_2 = \\ = P_1\, d_o + (H_{1,3}\, z_3 + H_{1,4}\, z_4 + H_{1,5}\, z_5 + H_{1,6}\, z_6)\ ; \qquad \text{(c)}$$

$$(H_{1,2} + H_{2,3} + H_{2,4} + H_{2,7} + H_{2,8})\, z_2 - H_{1,2}\, z_1 = \\ = P_2\, d_o + (H_{1,5}\, z_5 + H_{2,6}\, z_6 + H_{2,7}\, z_7 + H_{2,8}\, z_8)\ ; \qquad \text{(d)}$$

a) Giả sử ta chọn trị số của các phần tử của $\boldsymbol{H_2}$ *như sau:*

$$\boldsymbol{H_2} = \begin{bmatrix} H_{1,5} \\ H_{1,6} \\ H_{2,5} \\ H_{2,6} \\ H_{2,7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} \qquad \text{từ (b) ta tìm được:} \qquad \boldsymbol{H_1} = \begin{bmatrix} H_{1,2} \\ H_{1,3} \\ H_{1,4} \\ H_{2,8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \end{bmatrix}.$$

Các phương trình (c) và (d) của hệ có dạng:

$$9\, z_1 - z_2 = P_1\, d_o + 3\, z_3 + 2\, z_4 + z_5 + 2\, z_6\ ; \qquad \text{(e)}$$

$$-z_1 + 17\, z_2 = P_2\, d_o + 3\, z_5 + 4\, z_6 + 5\, z_7 + 4\, z_8\ . \qquad \text{(f)}$$

Nếu $\{\, P_1 \quad P_2 \,\} = \boldsymbol{0}$ và cho biết cao độ các nút trên biên z_j:

$$\{\, z_3 \quad z_4 \quad z_5 \quad z_6 \quad z_7 \quad z_8 \,\} = \gamma d_o \{\, 0 \quad 2 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 2 \,\}$$

thì từ (e) và (f) ta tìm được cao độ của các nút bên trong:

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \frac{\gamma\, d_o}{152} \begin{bmatrix} 17 & 1 \\ 1 & 9 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 7 \\ 15 \end{bmatrix} = \frac{\gamma\, d_o}{76} \begin{bmatrix} 67 \\ 71 \end{bmatrix}.$$

b) Nếu chọn trị số của các phần tử của $\boldsymbol{H_2}$ *khác đi như sau:*

$$\boldsymbol{H_2} = \begin{bmatrix} H_{1,5} \\ H_{1,6} \\ H_{2,5} \\ H_{2,6} \\ H_{2,7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \\ 5 \\ 4 \end{bmatrix} \qquad \text{từ (b) ta tìm được:} \qquad \boldsymbol{H_1} = \begin{bmatrix} H_{1,2} \\ H_{1,3} \\ H_{1,4} \\ H_{2,8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix}.$$

Các phương trình (c) và (d) của hệ có dạng:

$$3\, z_1 + z_2 = P_1\, d_o + z_4 + 2\, z_5 + z_6\ ; \qquad \text{(e)}$$

$$z_1 + 13\, z_2 = P_2\, d_o + 3\, z_5 + 5\, z_6 + 4\, z_7 + 2\, z_8\ . \qquad \text{(f)}$$

Nếu $\{\, P_1 \quad P_2 \,\} = \boldsymbol{0}$ và cho biết cao độ các nút trên biên z_j:

$$\{\, z_3 \quad z_4 \quad z_5 \quad z_6 \quad z_7 \quad z_8 \,\} = \gamma d_o \{\, 0 \quad 2 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 2 \,\}$$

thì từ (e) và (f) ta tìm được cao độ của các nút bên trong:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \frac{\gamma d_o}{38}\begin{bmatrix} 13 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} 4 \\ 4 \end{bmatrix} = \frac{\gamma d_o}{76}\begin{bmatrix} 96 \\ 16 \end{bmatrix}.$$

Như vậy, trong hai trường hợp a) và b) ta có cùng một mặt bằng của hệ lưới, cùng cao độ các nút biên, cùng có hệ tải trọng nút bằng không nhưng với các thành phần lực $\boldsymbol{H_2}$ khác nhau, hình dạng của hệ (cao độ nút lưới) sai khác nhau đáng kể, mặc dù tổng của các phần tử trong véctơ $\boldsymbol{H_2}$ là không đổi.

Cũng cần lưu ý là việc lựa chọn $\boldsymbol{H_2}$ phải đạt được yêu cầu tiên quyết là mọi phần tử của $\boldsymbol{H}$ luôn dương, trong lưới dây luôn chỉ tồn tại lực kéo.

d) Trường hợp hệ lưới dây có mặt bằng trực giao chịu lực thẳng đứng

Ta gọi hệ lưới dây có mặt bằng trực giao là hệ lưới dây không gian gồm các đoạn thanh chỉ chịu lực kéo, hình chiếu trên mặt bằng (trên mặt phẳng xoy) của chúng là hai họ đường thẳng vuông góc với nhau. Để cho gọn, hệ này còn được gọi là "*hệ lưới dây trực giao*". Hình dạng của hệ lưới dây này được xác định khá đơn giản, ngay cả khi hệ có nhiều loại biên khác nhau. Sau đây sẽ giới thiệu hệ lưới dây có mặt bằng trực giao, chịu hệ lực nút thẳng đứng, trong đó các thông số của véctơ $\boldsymbol{H}$ (giá trị các phần tử của $\boldsymbol{H}$) được cho trước. Nếu thay đổi các thông số của véctơ $\boldsymbol{H}$ cũng như các cao độ của các điểm trên biên lưới thì có thể tạo ra hình dạng mong muốn cho lưới dây.

Giả thiết là hình chiếu trên mặt bằng của các biên là một hình chữ nhật bao quanh hệ lưới, hình chiếu của các thanh trên mặt bằng song song với hai trục Ox và Oy, cách đều nhau với những khoảng a và b theo hai phương x, y như trên hình 3.29a. Ta gọi hệ này là "*hệ lưới dây trực giao có biên chuẩn*"

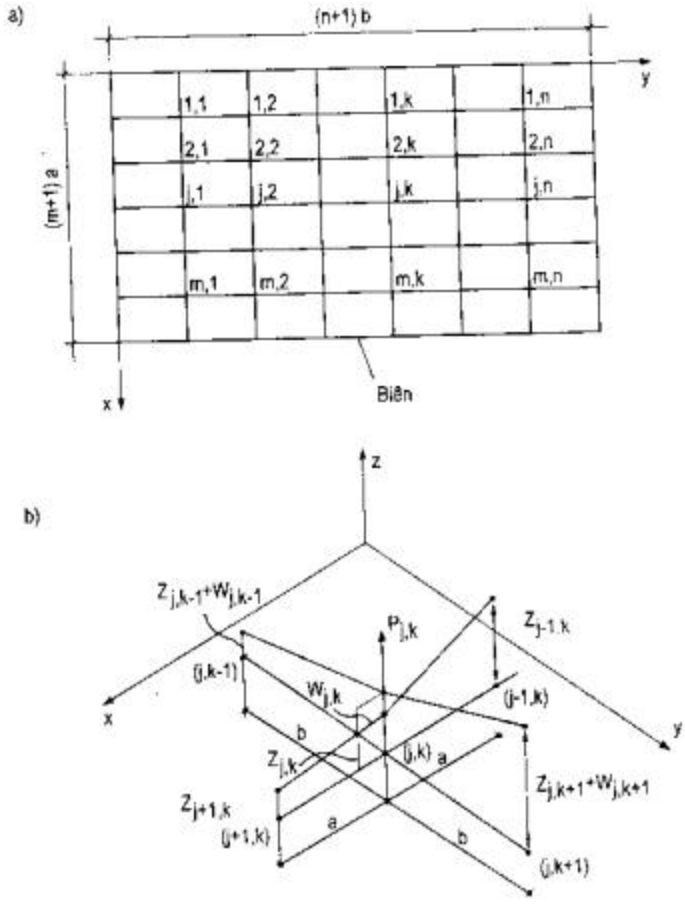
Cần chú ý là các giả thiết này tuy không có ý nghĩa về mặt lý thuyết song về thực tế thì cũng giúp ta giải bài toán được đơn giản hơn. Do đó, các mối quan hệ sẽ thiết lập chỉ tạo điều kiện dễ dàng hơn trong sử dụng thuật toán và lập chương trình tính mà không thay đổi về bản chất.

Khác với trước, ở đây (hình 3.29a) ta ký hiệu mỗi nút lưới bằng hai chỉ số j, k trong đó j là số thứ tự theo phương x của các nút, còn k là số thứ tự theo phương y.

Theo (3.39), ta có thể viết phương trình cân bằng cho các nút lưới khi hệ chịu các lực thẳng đứng:

- theo phương x: $\quad -H_{j-1,k\,;\,j,k} + H_{j,k\,;\,j+1,k} = 0\,;$
- theo phương y: $\quad -H_{j,k-1\,;\,j,k} + H_{j,k\,;\,j,k+1} = 0.$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 3. 29. Hệ lưới dây trực giao có biên chuẩn

Suy ra:

$$H_{j-1,k\,;\,j,k} = H_{j,k\,;\,j+1,k} = H_{xk}$$

với $(j = 1, 2, \ldots, m+1;\ \ k = 1, 2, \ldots, n);$

$$H_{j,k-1\,;\,j,k} = H_{j,k\,;\,j,k+1} = H_{yj}$$

với $(k = 1, 2, \ldots, n+1;\ \ j = 1, 2, \ldots, m).$ (3.43)

trong đó:

H_{xk} – thành phần lực căng theo phương x của dây thứ k;

H_{yj} – thành phần lực căng theo phương y của dây thứ j;

Như vậy, ta thấy dọc theo chiều dài từng dây thành phần ngang của nội lực trong dây là không đổi.

Giả sử là nút j,k của lưới khi thuộc dây theo phương x có cao độ là $z_{j,k}$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

và khi thuộc dây theo phương y có cao độ là $z_{j,k} + w_{j,k}$ với $w_{j,k}$ là đại lượng đo chiều dài có thể dương, có thể âm và có thể bằng không, ta gọi là *khoảng tách dây* (hình 3.29b). Đưa các giá trị theo (3.43) vào phương trình cân bằng hình chiếu theo phương z (3.41) ta có (xem hình 3.29b):

$$\frac{z_{j-1,k} - z_{j,k}}{a} H_{xk} + \frac{z_{j+1,k} - z_{j,k}}{a} H_{xk} + \frac{(z_{j,k-1} + w_{j,k-1}) - (z_{j,k} + w_{j,k})}{b} H_{yj} +$$

$$+ \frac{(z_{j,k+1} + w_{j,k+1}) - (z_{j,k} + w_{j,k})}{b} H_{yj} + p_{j,k} = 0,$$

với $\quad j = 1, 2, \ldots, m \; ; \quad k = 1, 2, \ldots, n.$

Hay có thể viết thành các phương trình lập cho nút tổng quát j,k và các nút bên cạnh biên $j,1$; j,n; $1,k$ và m,k. Trong vế phải của phương trình lập cho nút tổng quát j,k bao gồm các đại lượng $P_{j,k}$ và $w_{j,k}$ đã biết. Trong vế phải của các phương trình lập cho nút bên cạnh biên, các cao độ nút biên đã biết nên ta có thể giả thiết $w_{j,k}$ của tất cả các nút biên là bằng không.

Kết quả:

✦ *Tại nút tổng quát j,k:*

$$\frac{H_{xk}}{a}\left[-z_{j-1,k} + 2\,z_{j,k} - z_{j+1,k}\right] + \frac{H_{yj}}{b}\left[-z_{j,k-1} + 2z_{j,k} - z_{j,k+1}\right] =$$

$$= p_{j,k} - \frac{H_{yj}}{b}\left[-w_{j,k-1} + 2w_{j,k} - w_{j,k+1}\right]. \qquad (3.44)$$

✦ *Tại nút j,1:* Từ (3.44), thay $k = 1$.

$$\frac{H_{x1}}{a}\left[-z_{j-1,1} + 2\,z_{j,1} - z_{j+1,1}\right] + \frac{H_{yj}}{b}\left[2z_{j,1} - z_{j,2}\right] =$$

$$= p_{j,1} - \frac{H_{yj}}{b}\left[2\,w_{j,1} - w_{j,2}\right] + \frac{H_{yj}}{b} z_{j,0}.$$

✦ *Tại nút j,n:* Từ (3.44), thay $k = n$.

$$\frac{H_{xn}}{a}\left[-z_{j-1,n} + 2z_{j,n} - z_{j+1,n}\right] + \frac{H_{yj}}{b}\left[-z_{j,n-1} + 2z_{j,n}\right] =$$

$$= p_{j,n} - \frac{H_{yj}}{b}\left[-w_{j,n-1} + 2w_{j,n}\right] + \frac{H_{yj}}{b} z_{j,n+1}.$$

✦ *Tại nút 1,k:* Từ (3.44), thay $j = 1$.

$$\frac{H_{xk}}{a}\left[2z_{1,k} - z_{2,k}\right] + \frac{H_{y1}}{b}\left[-z_{1,k-1} + 2z_{1,k} - z_{1,k+1}\right] =$$

$$= p_{1,k} - \frac{H_{y1}}{b}\left[-w_{1,k-1} + 2w_{1,k} - w_{1,k+1}\right] + \frac{H_{xk}}{a} z_{0,k}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

✦ *Tại nút m,k:* Từ (3.44), thay $j = m$.

$$\frac{H_{xk}}{a}\left[-z_{m-1,k} + 2z_{m,k}\right] + \frac{H_{ym}}{b}\left[-z_{m,k-1} + 2z_{m,k} - z_{m,k+1}\right] =$$

$$= p_{m,k} - \frac{H_{ym}}{b}\left[-w_{m,k-1} + 2w_{m,k} - w_{m,k+1}\right] + \frac{H_{xk}}{a} z_{m+1,k}.$$

Như vậy, ta có $m \times n$ phương trình và $m \times n$ ẩn số là các toạ độ nút $z_{j,k}$ với ($j = 1, 2, ..., m$; và $k = 1, 2, ..., n$).

Để cho gọn ta viết lại các phương trình trên dưới dạng ma trận:

$$\frac{1}{a}\boldsymbol{C_m Z H_x} + \frac{1}{b}\boldsymbol{H_y Z C_n} = \boldsymbol{P} - \frac{1}{b}\boldsymbol{H_y W C_n} + \frac{1}{a}\boldsymbol{Z_y H_x} + \frac{1}{b}\boldsymbol{H_y Z_x}. \quad (3.45)$$

Trong phương trình trên:

$\boldsymbol{C_m}$ và $\boldsymbol{C_n}$ – các ma trận vuông chỉ khác nhau về kích thước: $\boldsymbol{C_m}$ có kích thước [m×m] ; $\boldsymbol{C_n}$ có kích thước [n×n] và có cấu trúc chung như sau:

$$\boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 2 & -1 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 2 & \dots & 0 \\ .. & .. & .. & \dots & .. \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2 \end{bmatrix};$$

$\boldsymbol{H_x}$ và $\boldsymbol{H_y}$ – các ma trận chéo cấp n và cấp m, được ký hiệu như sau:

$$\boldsymbol{H_x} = \begin{bmatrix} H_{x1} & H_{x2} \dots H_{xk} \dots H_{xn} \end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{H_y} = \begin{bmatrix} H_{y1} & H_{y2} \dots H_{yk} \dots H_{ym} \end{bmatrix};$$

$\boldsymbol{Z}$ – ma trận cao độ thẳng đứng tại các nút trong của lưới chuẩn, kích thước [m×n]:

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \dots & z_{1,n} \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \dots & z_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{m,1} & z_{m,2} & \dots & z_{m,n} \end{bmatrix};$$

$\boldsymbol{Z_x}$, $\boldsymbol{Z_y}$ – các ma trận cao độ thẳng đứng tại các nút trên biên chuẩn lần lượt song song với trục x, và trục y. Để phù hợp về kích thước của các ma trận khác trong (3.45), $\boldsymbol{Z_x}$, $\boldsymbol{Z_y}$ đều có kích thước [m×n] với cấu trúc như sau: Cột đầu và cột cuối của $\boldsymbol{Z_x}$ biểu thị cao độ thẳng đứng tại các nút trên biên đầu và biên cuối song song với trục x; các phần tử khác của $\boldsymbol{Z_x}$ bằng không. Hàng đầu và hàng cuối của $\boldsymbol{Z_y}$ biểu thị cao độ thẳng đứng tại các nút trên biên đầu và biên cuối song song với trục y;

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

các phần tử khác của $\mathbf{Z}_y$ bằng không.

$$\mathbf{Z}_x = \begin{bmatrix} z_{1,0} & 0 & \cdots & z_{1,n+1} \\ z_{2,0} & 0 & \cdots & z_{2,n+1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{m,0} & 0 & \cdots & z_{m,n+1} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Z}_y = \begin{bmatrix} z_{0,1} & z_{0,2} & \cdots & z_{0,n} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{m+1,1} & z_{m+1,2} & \cdots & z_{m+1,n} \end{bmatrix};$$

$\boldsymbol{W}$ – ma trận biểu thị độ tách dây thẳng đứng tại các nút trong của lưới chuẩn, kích thước [m×n]:

$$\boldsymbol{W} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \cdots & w_{1,n} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \cdots & w_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_{m,1} & w_{m,2} & \cdots & w_{m,n} \end{bmatrix};$$

$\boldsymbol{P}$ – ma trận biểu thị lực thẳng đứng đặt tại các nút trong của lưới chuẩn, kích thước [m×n]:

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{m,1} & p_{m,2} & \cdots & p_{m,n} \end{bmatrix}.$$

Trong phương trình ma trận (3.45) các ma trận $\boldsymbol{C}_m$; $\boldsymbol{C}_n$; $\boldsymbol{H}_x$; $\boldsymbol{H}_y$; $\boldsymbol{P}$; $\mathbf{Z}_x$; $\mathbf{Z}_y$ là các ma trận có giá trị cho trước, a và b là các đại lượng vô hướng đã biết còn $\mathbf{Z}$ là ma trận ẩn số.

Nhân cả hai vế của (3.45) với các ma trận sau: nhân trái với $\boldsymbol{H}_y^{-1}$ và nhân phải với $\boldsymbol{H}_x^{-1}$ ta có thể viết lại phương trình ở dạng gọn hơn như sau:

$$\boldsymbol{A}_x \mathbf{Z} + \mathbf{Z} \boldsymbol{A}_y = \boldsymbol{Q}, \tag{3.46}$$

trong đó: $\boldsymbol{A}_x = \frac{1}{a} \boldsymbol{H}_y^{-1} \boldsymbol{C}_m$; $\boldsymbol{A}_y = \frac{1}{b} \boldsymbol{C}_n \boldsymbol{H}_x^{-1}$;

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{H}_y^{-1} \boldsymbol{P} \boldsymbol{H}_x^{-1} - \frac{1}{b} \boldsymbol{W} \boldsymbol{C}_n \boldsymbol{H}_x^{-1} + \frac{1}{a} \boldsymbol{H}_y^{-1} \mathbf{Z}_y + \frac{1}{b} \mathbf{Z}_x \boldsymbol{H}_x^{-1},$$

hay có thể biểu thị ma trận $\boldsymbol{Q}$ như sau:

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{H}_y^{-1} \boldsymbol{P} \boldsymbol{H}_x^{-1} + \frac{1}{a} \boldsymbol{H}_y^{-1} \mathbf{Z}_y + \frac{1}{b} \mathbf{Z}_x \boldsymbol{H}_x^{-1} - \boldsymbol{W} \boldsymbol{A}_y. \tag{3.47}$$

Trong phương trình (3.46) ta thấy ngoài vectơ tải trọng nút $\boldsymbol{P}$ đã cho, ma trận ẩn số $\mathbf{Z}$ đặc trưng cho hình dạng của lưới dây còn chịu ảnh hưởng của các ma trận $\boldsymbol{H}_x$; $\boldsymbol{H}_y$; $\boldsymbol{W}$; $\mathbf{Z}_x$; $\mathbf{Z}_y$. Các ma trận $\boldsymbol{H}_x$ và $\boldsymbol{H}_y$ còn có mặt cả ở

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

vế trái các phương trình, điều này chứng tỏ là ma trận ẩn số $\boldsymbol{Z}$ biến đổi phi tuyến. Nếu trong (3.46) ta ấn định các giá trị của $\boldsymbol{H_x}$; $\boldsymbol{H_y}$ thì lúc này phương trình trở nên tuyến tính và có thể áp dụng nguyên lý cộng tác dụng. Việc giải hệ phương trình để tìm ma trận $\boldsymbol{Z}$ sẽ là tổng của các lời giải thành phần. Tức là ta có thể giải hệ (3.46) một cách độc lập ứng mỗi số hạng của véctơ $\boldsymbol{Q}$ ở vế phải, và kết quả cuối cùng là tổng của các kết quả thành phần.

Phân tích vế phải $\boldsymbol{Q}$, của các phương trình (3.46), xác định theo (3.47) thành ba thành phần: số hạng thứ nhất; số hạng thứ hai cùng thứ ba; số hạng thứ tư. Từ (3.46) ta lập được ba hệ phương trình với các ẩn $\boldsymbol{Z^{(1)}}$; $\boldsymbol{Z^{(2)}}$; $\boldsymbol{Z^{(3)}}$ tương ứng với ba thành phần nói trên của vế phải:

$$\begin{aligned} &\boldsymbol{A_x Z^{(1)} + Z^{(1)} A_y = H_y^{-1} P H_x^{-1}};\\ &\boldsymbol{A_x Z^{(2)} + Z^{(2)} A_y = \frac{1}{a} H_y^{-1} Z_y + \frac{1}{b} Z_x H_x^{-1}};\\ &\boldsymbol{A_x Z^{(3)} + Z^{(3)} A_y = - W A_y}. \end{aligned} \qquad (3.48)$$

Như vậy, nghiệm cần tìm $\boldsymbol{Z}$ sẽ là tổng của các nghiệm thành phần:

$$\boldsymbol{Z = Z^{(1)} + Z^{(2)} + Z^{(3)}}.$$

Các phương trình thứ nhất của (3.48) biểu thị quan hệ giữa hình dạng lưới và tải trọng nút, các phương trình thứ hai của (3.48) cho ta mối quan hệ giữa cao độ các nút lưới bên trong với cao độ các nút biên đã biết, còn các phương trình thứ ba của (3.48) thể hiện ảnh hưởng của độ tách đây.

Để giải các phương trình (3.46), thuận tiện hơn cả là nên ứng dụng các thuật toán như sau:

Giả sử các ma trận hệ số $\boldsymbol{A_x}$ và $\boldsymbol{A_y}$ có thể phân tích thành tích của ba ma trận:

$$\boldsymbol{A_x = U_x \Lambda_x U_x^{-1}}\ ; \qquad \boldsymbol{A_y = U_y \Lambda_y U_y^{-1}}\ , \qquad (3.49)$$

trong đó Λ_x và Λ_y là các ma trận chéo, hai ma trận còn lại là nghịch đảo của nhau.

Với phép biến đổi này phương trình (3.46) có dạng mới như sau

$$\boldsymbol{U_x \Lambda_x U_x^{-1} Z + Z U_y \Lambda_y U_y^{-1} = Q}.$$

Nhân trái các số hạng của phương trình trên với $\boldsymbol{U_x^{-1}}$ và nhân phải với $\boldsymbol{U_y}$ ta có:

$$\boldsymbol{\Lambda_x U_x^{-1} Z U_y + U_x^{-1} Z U_y \Lambda_y = U_x^{-1} Q U_y}.$$

Hay:
$$\boldsymbol{\Lambda_x D_z + D_z \Lambda_y = D_Q}, \qquad (3.50)$$

với :
$$\boldsymbol{D_z = U_x^{-1} Z U_y}; \qquad \boldsymbol{D_Q = U_x^{-1} Q U_y}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Nếu đã biết các phần tử của ma trận $\boldsymbol{D_Q}$ thì ta có thể tính trực tiếp được các phần tử của ma trận $\boldsymbol{D_z}$. Thật vậy nếu viết phương trình (3.50) ở dạng từng phương trình thành phần:

$$\Lambda_{x;j} D_{z;j,k} + D_{z;j,k} \Lambda_{y,k} = D_{Q;j,k}\,, \text{ với } (j = 1, 2, ..., m; \quad k = 1, 2, ..., n)$$

thì ta tìm được từng phần tử của ma trận ẩn số $\boldsymbol{D_z}$ như sau:

$$D_{z;j,k} = \frac{D_{Q;j,k}}{\Lambda_{x;j} + \Lambda_{y;k}}.$$

Như vậy, ma trận $\boldsymbol{D_z}$ đã được xác định. Từ $\boldsymbol{D_z}$ ta tìm được ma trận $\boldsymbol{Z}$ theo công thức:

$$\boldsymbol{Z = U_x D_z U_y^{-1}}.$$

Việc phân tích các ma trận $\boldsymbol{A_x}$ và $\boldsymbol{A_y}$ thành tích của ba ma trận như trên có thể thực hiện trên máy tính theo nhiều phương pháp đã biết, ở đây không đề cập đến vấn đề này.

Nếu các dây trên mặt bằng thuộc mỗi họ đường thẳng song song có thành phần hình chiếu trên mặt bằng của nội lực trong dây *như nhau*:

$$H_{x,k} = H_x \quad \text{với} \quad (k = 1, 2, ..., n);$$
$$H_{y,j} = H_y \quad \text{với} \quad (j = 1, 2, ..., m),$$

thì các ma trận trong hệ (3.46) có dạng:

$$\boldsymbol{A_x} = \frac{1}{aH_y}\boldsymbol{C_m}; \qquad \boldsymbol{A_y} = \frac{1}{bH_x}\boldsymbol{C_n};$$

$$\boldsymbol{Q} = \frac{1}{H_x H_y}\boldsymbol{P} - \frac{1}{bH_x}\boldsymbol{W C_n} + \frac{1}{aH_y}\boldsymbol{Z_y} + \frac{1}{bH_x}\boldsymbol{Z_x}.$$

Các phần tử của các ma trận thừa số trọng tích (3.49) được xác định trực tiếp như sau:

$$\Lambda_{x;j} = \frac{4}{aH_y}\sin^2\frac{j\pi}{2(m+1)}; \qquad U_{x;j,i} = \sqrt{\frac{2}{m+1}}\sin\frac{j\,i\,\pi}{m+1};$$
$$\text{với} \quad (j, i = 1, 2, ..., m);$$
$$\Lambda_{y;k} = \frac{4}{bH_x}\sin^2\frac{k\pi}{2(n+1)}; \qquad U_{y;k,h} = \sqrt{\frac{2}{n+1}}\sin\frac{kh\pi}{n+1};$$
$$\text{với} \quad (k, h = 1, 2, ..., n).$$

Tuy nhiên, trong thực tế không phải lúc nào ta cũng gặp hệ lưới dây với mặt bằng trực giao điển hình có biên chuẩn như trên. Với các công trình có nhiều dạng biên, ta có hai cách giải quyết: hoặc lợi dụng các kết quả của

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

(3.46) và điều chỉnh các thông số của vectơ vế phải Q để được kết quả mong muốn, hoặc phải thực hiện khối lượng tính toán lớn hơn để trực tiếp giải hệ phương trình cân bằng ở dạng ma trận tổng quát như sau:

$$A\,Z = q\,, \tag{3.51}$$

trong đó:

A – ma trận vuông cấp [m.n × m.n] có dạng vệt đối xứng, bề rộng vệt là $2m+1$ nếu $m > n$ hoặc $2n+1$ nếu $n > m$;

Z – ma trận ẩn số cấp [m.n × 1] ;

q – ma trận vế phải bao gồm hệ lực nút thẳng đứng và các cao độ biên đã biết, cấp [m.n × 1].

Các phương trình (3.46) và (3.51) đều là các hệ phương trình đại số tuyến tính và ta có thể giải theo các thuật toán quen thuộc. Ưu điểm và phạm vi áp dụng của hai hệ phương trình này sẽ được đề cập ở phần sau.

3.4.3. Biên của hệ lưới dây có mặt bằng trực giao

Như đã biết, hình dạng của hệ lưới dây trực giao có biên chuẩn (biểu thị qua cao độ các nút) được xác định bằng phương trình (3.46). Hình chiếu bằng của nội lực trong các dây có giá trị không đổi và cho trước, cao độ các nút biên đã biết, về thực chất là bài toán tuyến tính. Để giải hệ phương trình này ta có thể áp dụng nguyên lý cộng tác dụng.

Trong thực tế thiết kế công trình ta thường gặp các hệ lưới được liên kết vào các biên cứng có hình dạng bất kỳ cũng như có thể liên kết vào các biên cáp mềm. Để dễ dàng trong trình bày cũng như trong tính toán ta xuất phát từ hệ lưới dây trực giao có biên cứng, mặt bằng chữ nhật (biên chuẩn) để xác định hình dạng của các hệ có biên bất kỳ.

Cần chú ý là khi xác định hình dạng ban đầu của lưới dây, hệ lực nút thẳng đứng thường chỉ là trọng lượng bản thân nên khá nhỏ. Độ cứng của lưới dây phụ thuộc chủ yếu vào thành phần hình chiếu bằng của các nội lực trong dây (các giá trị H), mà về nguyên tắc ta có thể chọn lựa tự do. Tuy nhiên, theo quan điểm đảm bảo cho công trình có đủ khả năng chịu lực ở giai đoạn sau, độ lớn của các lực H phải được chọn một cách phù hợp, thường theo kinh nghiệm tính toán. Nếu chọn các giá trị của H quá nhỏ thì sẽ làm cho hệ lưới quá mềm, dễ mất ổn định, dẫn tới công trình không sử dụng được. Nếu chọn các giá trị H quá lớn thì không kinh tế vì sẽ phải chi phí vật liệu nhiều hơn hoặc sử dụng vật liệu có cường độ chịu lực cao hơn để kết cấu có đủ khả năng chịu lực. Như trong phần trước đã trình bày, việc lựa chọn trị số của lực căng ban đầu phải đảm bảo sao cho hệ ổn định với các tải trọng ngoài trong quá trình sử dụng (hay nói khác đi là chịu được mọi tổ hợp bất lợi của tải trọng ngoài mà không phát sinh lực nén trong các dây và không gây ra tổng ứng suất vượt quá cường độ tính toán).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Hình dạng của hệ lưới dây trực giao có biên chuẩn thường phụ thuộc các thông số sau:

• Cao độ của các nút biên $(z_x ; z_y)$.

• Chênh lệch độ cao (độ tách dây $w_{j,k}$) tại nút lưới của hai họ dây song song với phương x và y.

• Một số điểm nút bên trong của lưới có cao độ $z_{j,k}$ cho trước (trường hợp có cột chống).

• Giá trị thành phần hình chiếu trên mặt bằng của nội lực trong các dây $(H_x; H_y)$.

a) Hệ lưới dây trực giao với biên cứng có dạng bất kỳ

Trên đây ta đã xét trường hợp hệ lưới dây trực giao với biên cứng có dạng hình chữ nhật trên mặt bằng (biên chuẩn), tuy nhiên trong thực tế các kết cấu thường có nhiều hình dạng rất khác so với biên chuẩn. Trong mục này trình bày một phương pháp (theo [35]) trong đó lợi dụng kết quả của hệ có biên chuẩn để xác định hình dạng ban đầu của hệ lưới trực giao với biên cứng bất kỳ (biên thực).

Ta chọn một hệ lưới có biên chuẩn bao quanh hệ biên thực và có cao độ xấp xỉ để xuất phát. Một vấn đề cần giải quyết là các điểm trên biên thực thuộc hệ biên chuẩn luôn có cao độ khác với cao độ đã cho trước. Thông thường, một phần các dây thuộc lưới sẽ gặp biên ở cao độ cao hơn cao độ biên thực đã cho, phần khác lại cắt biên tại vị trí thấp hơn cao độ đã cho. Vì hình dạng lưới được xác định với các cao độ đã cho của biên chuẩn khó có thể chính xác đi qua các điểm có cao độ cho trước của biên thực nên ta phải tìm cách điều chỉnh các số liệu đầu vào của bài toán nhằm điều chỉnh các dây của hệ lưới chính xác đi qua biên thực đã cho.

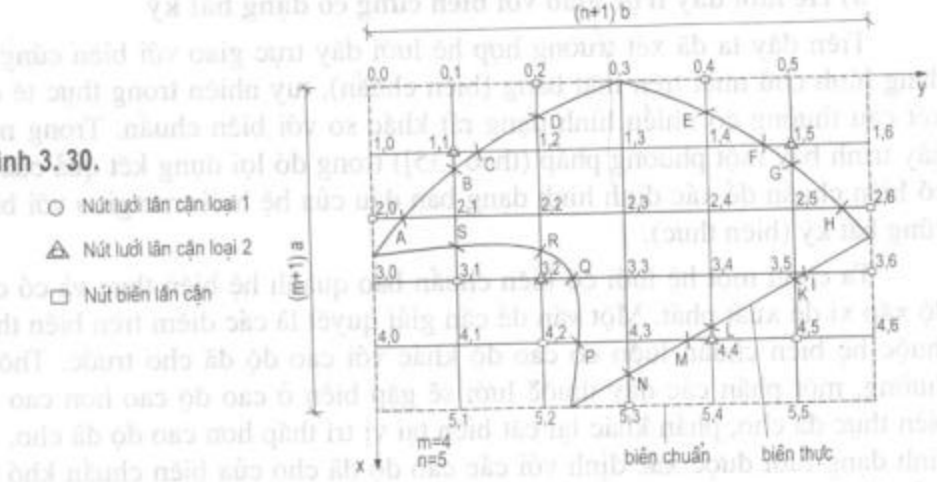
Trên hình 3.30 là hệ lưới có 17 điểm trên biên thực $(A, B, C, ..., S)$ với cao độ đã biết mà lưới dây cần được liên kết vào.

Lưới dây có liên quan đến 18 điểm trên biên chuẩn, việc điều chỉnh cao độ của chúng sẽ làm thay đổi cao độ các nút lưới. Đó là các điểm: 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 1,6; 2,6; 3,6; 4,6; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 5,1; 5,2; 5,3; 5,4; 5,5 trên hình 3.30. Tuy nhiên trong đó chỉ có 14 điểm mà sự thay đổi cao độ của chúng sẽ ảnh hưởng một cách độc lập tuyến tính đến cao độ của nút bên trong của lưới. Các điểm sát góc biên chuẩn (ví dụ các điểm 0,1 và 1,0) khi thay đổi cao độ chỉ làm cho ma trận vế phải $\boldsymbol{Q}$ của phương trình (3.46) sai khác nhau một hằng số.

Tất nhiên, không chỉ cao độ các điểm trên biên chuẩn ảnh hưởng đến cao độ nút của hệ biên thực, mà các đại lượng khác như lực nút P hoặc trị số của lực tách dây W cũng có ảnh hưởng tương tự nên ta lợi dụng điều này để

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

đưa vào hệ các tác động giả tưởng $p_{j,k}$ hay $w_{j,k}$ tại các nút lân cận của hệ biên thực để điều chỉnh cao độ. Ta gọi cao độ nút trên biên chuẩn, tải trọng nút và độ tách dây trong trường hợp này là các *tác nhân ảo*. Dễ dàng nhận thấy là các tác nhân ảo ở càng xa các điểm trên biên thực thì ảnh hưởng của chúng càng nhỏ, do đó cần chọn các điểm đặt tác nhân ngay cạnh nút biên thực cần điều chỉnh. Như vậy có thể sẽ xảy ra trường hợp một điểm nút trên lưới chuẩn giữ vai trò điểm lân cận của biên thực một lần gọi là nút lưới lân cận cấp 1 (ví dụ nút 3,1 lân cận điểm *S* trên biên thực); hoặc hai lần gọi là nút lưới lân cận cấp 2 (ví dụ nút 1,1 lân cận điểm *B, C* trên biên thực); thậm chí ba lần.



Hình 3. 30.

Trong trường hợp này, ta sử dụng các tác nhân ảo theo các quy tắc sau:

- Nếu điểm lân cận là điểm trên biên chuẩn, tác nhân ảo đơn vị là chuyển vị đơn vị theo phương đứng của điểm biên.
- Nếu điểm lân cận là nút lưới, tác nhân ảo đơn vị là lực nút đơn vị theo phương thẳng đứng.
- Nếu điểm nút lưới giữ vai trò nút lân cận cấp 2 thì tác nhân ảo đơn vị sẽ là độ tách dây đơn vị.
- Nếu nút lưới giữ vai trò nút lân cận cấp 3 thì ta thay thế nó bằng một điểm lân cận khác, mới, giữ vai trò cấp 1.

Tóm lại, trình tự xác định hình dạng hệ lưới có biên thực thông qua hệ có biên chuẩn như sau:

- Đầu tiên, xác định số điểm giao ν giữa biên thực và hệ lưới có biên chuẩn Ví dụ với hệ lưới thực trên hình 3.30, $\nu = 17$ tương ứng tại các điểm *A, B, C,... , S*.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

✦ Bước thứ hai, xác định các điểm lân cận biên thực gần nhất (có thể là các điểm trên biên chuẩn, có thể là nút lưới). Gọi số lượng điểm lân cận cấp 1 là ν_1, số điểm lân cận cấp hai là ν_2 và số điểm lân cận trên biên chuẩn là ν_o, ta có:

$$\nu = \nu_1 + 2\nu_2 + \nu_o.$$

Ví dụ với hệ lưới thực trên hình 3.30, ta có: $\nu_1 = 3$; $\nu_2 = 4$; $\nu_o = 6$.

Ta sử dụng các tác nhân ảo là lực nút ($\boldsymbol{P}$) đối với các điểm lân cận cấp 1; sử dụng thêm các độ tách dây ($\boldsymbol{W}$) với các điểm lân cận cấp 2. Với các điểm lân cận trên biên chuẩn tác nhân ảo sẽ là sự thay đổi cao độ nút biên ($\boldsymbol{Z_x}$, $\boldsymbol{Z_y}$).

✦ Bước thứ 3 : giải hệ phương trình (3.46) với từng tác nhân ảo đơn vị, như vậy ta cần giải ν hệ phương trình. Kết quả cho ta sự thay đổi cao độ của các điểm trên biên thực thứ σ ứng với tác nhân ảo đơn vị thứ τ : $z_\sigma^{(\tau)}$ với ($\sigma, \tau = 1, 2, \ldots, \nu$) và các cao độ nút bên trong của hệ lưới.

Để sử dụng phương trình (3.46) ta cần đưa các tác nhân ảo đơn vị vào đúng vị trí các nút cần thực hiện. Muốn vậy, cần thực hiện các phép nhân ma trận như sau:

- Nếu tác nhân ảo là lực nút thẳng đứng tại nút j, k thì trong phương trình (3.46), tác nhân ảo đơn vị sẽ là:

$$\boldsymbol{P} = s_j\, s_k^T, \qquad (3.52)$$

trong đó:

s_j – ma trận cột có m hàng có phần tử bằng 1 tương ứng với nút lưới thứ j theo phương x, còn các phần tử khác đều bằng 0.

s_k – ma trận cột có n hàng có phần tử bằng 1 tương ứng với nút lưới thứ k theo phương y, còn các phần tử khác đều bằng 0.

- Nếu tác nhân ảo là độ tách dây tại nút j, k thì tác nhân ảo đơn vị sẽ là:

$$\boldsymbol{W} = s_j\, s_k^T. \qquad (3.53)$$

- Nếu tác nhân ảo là sự thay đổi cao độ của nút trên biên chuẩn thì để phù hợp với các ma trận $\boldsymbol{Z_x}$ và $\boldsymbol{Z_y}$ trong (3.46) tác nhân ảo đơn vị được xác định như sau:

$\boldsymbol{Z_x} = s_j\, s_{1x}^T$ khi nút thứ j nằm trên biên chuẩn có tọa độ $y=0$;

$\boldsymbol{Z_x} = s_j\, s_{nx}^T$ khi nút thứ j nằm trên biên chuẩn có tọa độ $y=n+1$;

$\boldsymbol{Z_y} = s_{1y}\, s_k^T$ khi nút thứ k nằm trên biên chuẩn có tọa độ $x=0$; (3.54)

$\boldsymbol{Z_y} = s_{my}\, s_k^T$ khi nút thứ k nằm trên biên chuẩn có tọa độ $x=m+1$.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong các công thức (3.54), s_{1x} ; s_{nx} ; s_{1y} ; s_{my} là các ma trận cột có cấu trúc như sau:

$s_{1x} = \{ 1 \ \ 0 \ \ 0 \ldots 0 \ \ 0 \}$, kích thước [n×1] ;

$s_{nx} = \{ 0 \ \ 0 \ \ 0 \ldots 0 \ \ 1 \}$, kích thước [n×1] ;

$s_{1y} = \{ 1 \ \ 0 \ \ 0 \ldots 0 \ \ 0 \}$, kích thước [m×1] ;

$s_{my} = \{ 0 \ \ 0 \ \ 0 \ldots 0 \ \ 1 \}$, kích thước [m×1] .

✦ Bước thứ tư: xác định giá trị của tác nhân ảo. Thực chất là xác định các thừa số X_τ sao cho dưới tác dụng của tải trọng thực đã biết và các tác nhân ảo thì tại các giao điểm của hệ lưới có biên chuẩn với biên thực có cao độ đúng bằng cao độ biên thực cho trước z_σ, tức là giải hệ phương trình:

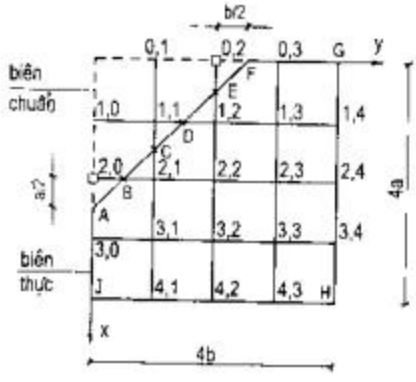
$$\sum_{\tau=1}^{\nu} X_\tau z_\sigma^{(\tau)} + z_\sigma^{(0)} = z_\sigma \quad \text{với} \quad (\sigma = 1, 2, \ldots, \nu). \tag{3.55}$$

Sau khi tìm được các giá trị X_τ ta sẽ xác định được hình dạng ban đầu của hệ lưới có biên thực.

Để minh hoạ ta xét ví dụ đơn giản [35] như sau:

Trên hình vẽ 3.31 là mặt bằng hình năm cạnh của một lưới dây trực giao *A-F-G-H-J-A* được căng trên bốn cạnh biên có cao độ nằm trên mặt phẳng ($z = 0$), cạnh thứ 5 là cạnh dốc: đầu A xuất phát từ mặt phẳng $z = 0$ đầu F ở cao độ z_o như trên hình 3.32.

Tạo ra một biên chuẩn là hình chữ nhật như trên hình 3.31. Các dây được căng trên các biên này như một lưới dây trực giao có biên chuẩn.



Hình 3.31

Ta sử dụng phương pháp đã nêu để xác định trạng thái ban đầu của hệ (tức là xác định các cao độ nút của hệ lưới căng trên biên thực hình năm cạnh).

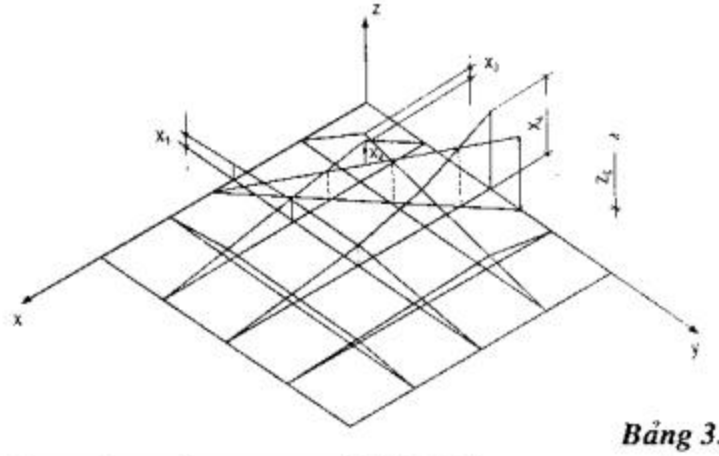
Tại các nút B, C, D, E của biên thực đã cho lệch so với biên chuẩn có cao độ đã biết. Trong trường hợp này, từ trên hình 3.32 ta xác định ngay được các cao độ:

$$z_B = 0{,}2\, z_o; \quad z_C = 0{,}4\, z_o; \quad z_D = 0{,}6\, z_o; \quad z_E = 0{,}8\, z_o.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Theo nguyên tắc đã nêu ta chọn các điểm lân cận của lưới dây có biên thực ở trên lưới chuẩn cũng như trên biên chuẩn cụ thể như ghi trên bảng 3.5.

Hình 3.32



Bảng 3.5

σ	Số hiệu của điểm lân cận	Tác nhân ảo		τ
		Tên tác nhân ảo	Thừa số	
B	*2, 0*	*Chuyển vị gối*	X_1	*1*
C	*1, 1*	*Lực nút thẳng đứng*	X_2	*2*
D	*1, 1*	*Lực tách dây*	X_3	*3*
E	*0, 2*	*Chuyển vị gối*	X_4	*4*

Như vậy điểm *1, 1* giữ vai trò điểm lân cận biên 2 lần. Ta chọn các tác nhân ảo đơn vị thích hợp như đã ghi trên bảng 3.5 :

Để cho đơn giản, ta giả thiết: $P = 0; a = b = 1; H_x = H_y = 1$ và $z_o = 1$.

Xác định các cao độ z của lưới dây ứng với các tác nhân ảo đơn vị theo (3.46) trong đó ma trận $\boldsymbol{Q}$ được xác định theo (3.47). Trong trường hợp này với các số liệu đã giả thiết, công thức xác định ma trận $\boldsymbol{Q}$ có dạng:

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{Z_y} + \boldsymbol{Z_x} - \boldsymbol{W}\,\boldsymbol{C_n}\,. \qquad \text{(a)}$$

- Với τ = 1: Tác nhân ảo đơn vị là chuyển vị tại nút *2,0* trên biên chuẩn có tọa độ *y=0*, nên theo (a) và (3.54) ta có:

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{Z_x} = s_j\, s_{1x}^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Kết quả giải hệ phương trình (3.46) tương ứng với ma trận $\boldsymbol{Q}$ vừa tìm được:

$$\boldsymbol{Z}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0{,}098214 & 0{,}0625 & 0{,}026786 \\ 0{,}330357 & 0{,}125 & 0{,}044643 \\ 0{,}098214 & 0{,}0625 & 0{,}026786 \end{bmatrix}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

• Với $\tau = 2$: Tác nhân ảo đơn vị là lực tại nút *1,1* trên lưới chuẩn, nên theo (a) và (3.52) ta có:

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{P} = s_j\, s_k^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Kết quả giải hệ phương trình (3.46) tương ứng với ma trận $\boldsymbol{Q}$ vừa tìm được:

$$\boldsymbol{Z}^{(2)} = \begin{bmatrix} 0{,}299107 & 0{,}098214 & 0{,}03125 \\ 0{,}098214 & 0{,}0625 & 0{,}026786 \\ 0{,}03125 & 0{,}026786 & 0{,}013393 \end{bmatrix}.$$

• Với $\tau = 3$: Tác nhân ảo đơn vị là độ tách dây tại nút *1,1* nên theo (a) và (3.53) ta có:

$$\boldsymbol{Q} = -\boldsymbol{W}\,\boldsymbol{C}_n = -\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad \text{(a)}$$

Kết quả giải hệ phương trình (3.46) tương ứng với ma trận $\boldsymbol{Q}$ vừa tìm được:

$$\boldsymbol{Z}^{(3)} = \begin{bmatrix} -0{,}5 & 0{,}133929 & 0{,}035714 \\ -0{,}133929 & 0 & 0{,}008929 \\ -0{,}035714 & -0{,}008929 & 0 \end{bmatrix}.$$

• Với $\tau = 4$: Tác nhân ảo đơn vị là chuyển vị tại nút *0,2* trên biên chuẩn có tọa độ $x=0$, nên theo (a) và (3.54) ta có:

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{Z}_y = s_{1y}\, s_k^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Kết quả giải hệ phương trình (3.46) tương ứng với ma trận Q vừa tìm được:

$$\boldsymbol{Z}^{(4)} = \begin{bmatrix} 0{,}098214 & 0{,}330357 & 0{,}098214 \\ 0{,}0625 & 0{,}125 & 0{,}0625 \\ 0{,}026786 & 0{,}044643 & 0{,}026786 \end{bmatrix}.$$

Khi chịu các tải trọng cơ bản, các điểm trên biên thực không có chuyển vị, do đó $z_\sigma^{(0)} = 0$ với $(\sigma = A, B, C, D)$. Tác nhân ảo thứ τ sẽ làm thay đổi cao độ nút lưới, đồng thời chú ý là sự tác động của mỗi tác nhân ảo còn làm thay đổi cao độ dây tại biên thực đã cho trước. Từ phép nội suy tuyến tính ta xác định được cao độ $z_\sigma^{(\tau)}$ thuộc về điểm trên biên thực thứ σ.

Ví dụ, cao độ của điểm $z_B^{(1)}$ sẽ bị nâng lên. Vì tác nhân ảo thứ nhất sẽ làm dịch chuyển lưới dây theo phương thẳng đứng (theo phương z) tại điểm *2,0* một đơn vị.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$z_B^{(1)} = \frac{1,0 + 0,330357}{2} = 0,665178;$$

$$z_C^{(1)} = \frac{0,098214 + 0,330357}{2} = 0,214286.$$

Để tìm $z_C^{(3)}, z_D^{(3)}$, ta sử dụng độ tách dây đơn vị tại phía trên điểm *1,1*, ở đây cần điều chỉnh sao cho: các phần tử của ma trận $z^{(3)}$ chính là cao độ các điểm nút lưới dây theo phương x còn các cao độ tại chính nút đó của họ dây theo phương y sẽ bị lệch đi theo các số liệu của ma trận W.

$$z_C^{(3)} = \frac{-0,5 - 0,133929}{2} = -0,3169645;$$

$$z_D^{(3)} = \frac{-0,5 + 1,0 + 0,133929}{2} = 0,316964;$$

và

$$z_C^{(2)} = \frac{0,299107 + 0,098214}{2} = 0,198660;$$

$$z_D^{(2)} = \frac{0,299107 + 0,330357}{2} = 0,198660 \text{ v.v...}$$

Như vậy với các giá trị đã biết $z_\sigma^{(\tau)}$ ta đã có thể lập được phương trình (3.55) biểu thị cao độ của các nút lưới với các cao độ biên thực đã cho, trong đó các thừa số của tác nhân ảo X_τ là các ẩn số:

$$\sum_{\tau=1}^{\nu} X_\tau z_\sigma^{(\tau)} + z_\sigma^{(0)} = z_\sigma \quad \text{với} \quad (\sigma = B, C, D, E).$$

Kết quả:

$$\begin{bmatrix} 0,665178 & 0,049107 & -0,066964 & 0,031250 \\ 0,214286 & 0,198660 & -0,316964 & 0,080357 \\ 0,080357 & 0,198660 & 0,316964 & 0,214286 \\ 0,031250 & 0,0498107 & 0,069964 & 0,0665178 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,4 \\ 0,6 \\ 0,8 \end{bmatrix}.$$

Sau khi giải hệ phương trình trên ta có:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1431385 \\ 1,6216219 \\ 0,1209302 \\ 1,0640688 \end{bmatrix}.$$

Với các giá trị của tác nhân ảo vừa tìm được ta sẽ xác định được cao độ z của các nút lưới dây chịu các tác nhân ảo tác dụng đồng thời theo công thức:

$$Z = X_1 Z^{(1)} + X_2 Z^{(2)} + X_3 Z^{(3)} + X_4 Z^{(4)}.$$

Kết quả:

$$Z = \begin{bmatrix} 0{,}534138 & 0{,}535931 & 0{,}163335 \\ 0{,}256861 & 0{,}252252 & 0{,}117411 \\ 0{,}088917 & 0{,}098806 & 0{,}054055 \end{bmatrix}; \quad W = \begin{bmatrix} 0{,}120930 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Dễ dàng kiểm tra thấy lưới dây cho trên hình 3.31 tại các điểm *B,C,D,E* cắt đúng qua vị trí cao độ đã cho.

$$z_B = (0{,}143138 + 0{,}256861)/2 = 0{,}2$$

$$z_C = (0{,}256861 + 0{,}543138)/2 = 0{,}4$$

$$z_D = (0{,}543138 + 0{,}120930 + 0{,}535931)/2 = 0{,}6$$

$$z_E = (0{,}535931 + 1{,}064069)/2 = 0{,}8$$

Trong ví dụ trên ta có thể viết phương trình cân bằng (3.44) với các điểm *1,2; 1,3; 2,1; 3,3* và giải ra được các cao độ nút lưới. Ví dụ phương trình cân bằng của điểm *1,2* :

$$\frac{H_x}{a}(z_{2,2} - z_{1,2}) - \frac{2H_x}{a}(z_E - z_{1,2}) + \frac{H_y}{b}(z_{1,3} - z_{1,2}) - \frac{2H_y}{b}(z_D - z_{1,2}) = 0,$$

hay:

$$\frac{2H_x}{a}z_E - \frac{3H_x}{a}z_{1,2} + \frac{H_x}{a}z_{2,2} + \frac{2H_y}{b}z_D - \frac{3H_y}{b}z_{1,2} + \frac{H_y}{b}z_{1,3} = 0.$$

Dễ dàng kiểm tra thấy phương trình này thoả mãn với các số liệu trên: $(H_x = H_y = 1); (a = b = 1);$

$$2.0{,}8 - 6.0{,}535931 + 0{,}252252 + 2.0{,}6 + 0{,}163335 = 0{,}000001$$

b) Hệ lưới dây trực giao có biên cáp

Trong thực tế, hệ lưới dây (kết cấu màng mỏng) không chỉ liên kết vào các biên cứng mà phổ biến hơn còn được liên kết vào các biên cáp mềm. Điều khác nhau cơ bản giữa hai loại biên này là:

- Với biên cứng: ở trạng thái ban đầu, toạ độ các điểm nút biên là cố định, đã biết.
- Với biên cáp mềm: vị trí các nút biên trong không gian là chưa xác định, vị trí của chúng được quyết định bởi hệ lưới dây và lực căng trong các dây liên kết với biên.

Nếu cáp biên là mềm tuyệt đối và không trọng lượng thì trong không gian biên cáp có dạng một đường gãy khúc (pôligôn) với các điểm gãy là giao điểm của các đoạn dây. Tại các điểm đó, ngoài các lực dây tác động

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

còn có ngoại lực (ta gọi là lực nút); nếu lực nút thẳng đứng thì ta có thể áp dụng kết quả đã nghiên cứu trong trường hợp trên.

Xét một điểm gãy bất kỳ thứ j trên biên cáp với $j = 1, 2, ..., r$. Tương tự như khi thiết lập điều kiện (3.30), từ điều kiện cân bằng của điểm gãy thứ j ta có:

$$\boldsymbol{e}_{j,j-1} S_{j,j-1} + \boldsymbol{e}_{j,j+1} S_{j,j+1} + \boldsymbol{K}_j = \boldsymbol{0}\,, \qquad (3.56)$$

trong đó $\boldsymbol{K}_j$ là vectơ hợp lực của lực dây và lực nút tại nút j của cáp biên.

Như đã biết, cao độ nút biên (tức là cao độ của các điểm gãy trên cáp biên) quyết định cao độ của các nút lưới dây, mà bản thân vị trí của các nút biên lại phụ thuộc nội lực trong dây. Đây là bài toán phi tuyến, cách giải tương đối phức tạp. Tuy nhiên, với trường hợp hệ lưới dây có mặt bằng trực giao thì vấn đề này được giải quyết dễ dàng vì thành phần nội lực trên mặt bằng không thay đổi trong từng dây nên hình dạng trên mặt bằng và cao độ của biên cáp được xác định một cách độc lập. Sau khi xác định được hình dạng trên mặt bằng của biên cáp và các nội lực trong các đoạn cáp ta có thể coi cáp biên như một bộ phận của lưới dây (các nút trên cáp là các nút bên trong của hệ) và xác định cao độ của chúng từ hệ phương trình (3.45).

1) Xác định hình dạng cáp biên trên mặt bằng

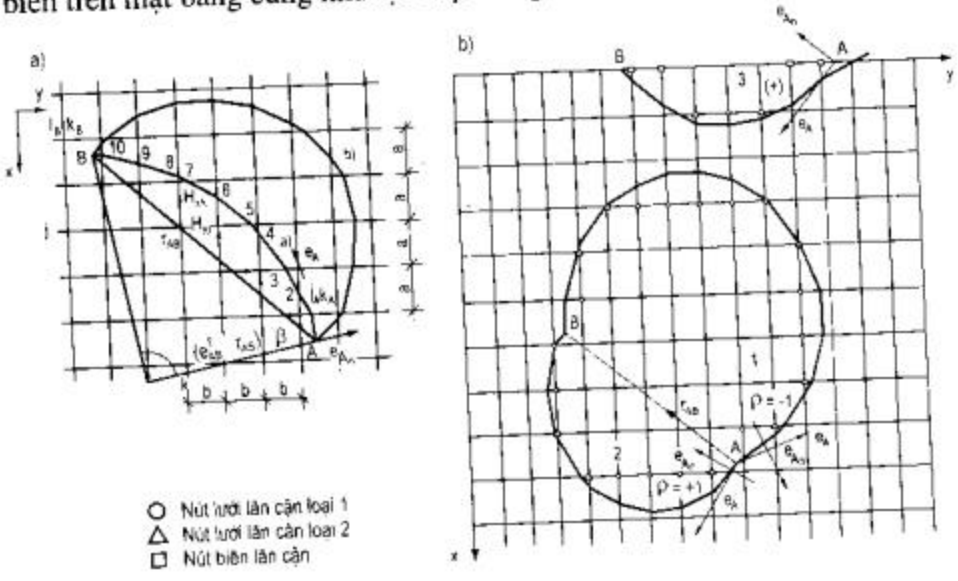
❖ *Trường hợp cáp biên có hai đầu cố định*

Trong mục này trình bày cách xác định hình dạng trên mặt bằng của một dây cáp mềm được cố định ở hai đầu, sử dụng làm biên của một lưới dây có mặt bằng trực giao chịu tải trọng thẳng đứng [35]. Gọi A và B là hai đầu cố định của cáp biên, giữa hai điểm A và B có r điểm gãy. Ta quy ước là trên mặt bằng, cả hai điểm A và B đều không rơi vào hình chiếu của bất kỳ dây nào thuộc lưới dây (hình 3.33a). Trong trường hợp A hoặc B trùng với hình chiếu của một dây nào đó ta vẫn có thể đảm bảo điều kiện này bằng cách thay đổi toạ độ trên mặt bằng của các điểm này với một lượng vô cùng bé nào đó. Với cùng một hệ lưới dây, giữa hai điểm A và B có thể hình thành vô số các *đa giác cáp* (pôligôn) với số điểm gãy khác nhau. Điều này phụ thuộc độ lớn của góc xuất phát $\beta (0 < \beta < 2\pi)$ trên mặt bằng (góc hợp giữa cạnh đầu của đa giác cáp với đoạn thẳng AB) và số điểm gãy r.

Từ phương trình cân bằng hình chiếu ta thấy độ lớn cũng như phương của lực căng phát sinh trong các đoạn cáp biên chỉ phụ thuộc số đoạn dây bị cắt bởi đoạn thẳng AB trên mặt bằng mà không phụ thuộc số điểm gãy thực tế của cáp. Thật vậy khi đa giác cáp cắt qua nhiều đoạn dây hơn (số điểm gãy lớn hơn) thì cáp luôn cắt qua một dây nào đó hai lần, nội lực tại hai nhát cắt đó luôn có trị số bằng nhau, cùng phương nhưng ngược chiều. Nếu giá trị của góc xuất phát β cho trước thì các giá trị của thành phần nằm ngang của

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

lực căng phát sinh trong các đoạn của đa giác cấp là xác định và duy nhất [35], để cho gọn ta gọi các thành phần này là *lực cáp*. Từ điều kiện bằng không của tổng mômen đối với điểm B của các *lực dây* mà đoạn thẳng AB cắt qua và lực cấp của đoạn cấp đầu tiên (xuất phát từ A) ta tìm được ngay lực cấp trong đoạn đầu tiên, tiếp đó xác định được toạ độ x,y của điểm gãy thứ nhất của đa giác cấp theo các điều kiện hình học. Sau khi có *lực cáp* trong đoạn đầu tiên và toạ độ của điểm gãy thứ nhất ta dễ dàng xác định được *lực cáp* trong đoạn thứ hai và toạ độ x,y của điểm gãy thứ hai từ điều kiện cân bằng lực tại nút thứ nhất. Thực hiện tuần tự như vậy với các điểm tiếp theo cho đến điểm cuối ta sẽ xác định được hình dạng của đa giác cấp biên trên mặt bằng cũng như *lực cáp* trong các đoạn.



Hình 3. 33

❖ *Trường hợp nhiều cáp biên và cáp biên kín*

Từ cách xác định hình dạng trong không gian của biên cấp có hai điểm cố định ta có thể áp dụng cho trường hợp hệ có nhiều biên cấp rời rạc hoặc nối đuổi nhau liên tiếp. Trường hợp hệ có nhiều biên cấp liên tiếp ta có thể coi điểm B của một cấp biên nào đó chính là điểm A của biên cấp tiếp theo. Cũng thường xảy ra trường hợp các điểm này trùng với hình chiếu trên mặt bằng của một đoạn dây nào đó (hình 3.33b), lúc đó ta coi như hai điểm riêng biệt có toạ độ chênh lệch một lượng nhỏ đủ mức máy tính chấp nhận.

Với trường hợp hệ có biên cấp là một đa giác kín ta có thể coi một điểm bất kỳ nào đó là điểm xuất phát (A) của biên và điểm này cũng chính là điểm cuối cùng của biên (B). Quy định một chiều nào đó đi từ A đến B là dương và thực hiện như trường hợp biên cấp cố định tại hai đầu (hình 3.33b).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

2) Xác định cao độ các nút trên cấp biên

Sau khi đã xác định được hình dạng trên mặt bằng của biên cấp ta có thể xác định cao độ của các nút biên cấp z^c theo các phương trình cân bằng nút. Tương tự như khi thiết lập (3.44), từ điều kiện (3.56) ta có phương trình cân bằng hình chiếu lên phương thẳng đứng, viết cho điểm gãy thứ j như sau:

$$\boldsymbol{e}_z^T \boldsymbol{e}_{j,j-1} S_{j,j-1} + \boldsymbol{e}_z^T \boldsymbol{e}_{j,j+1} S_{j,j+1} + \boldsymbol{e}_z^T \boldsymbol{K}_j = \boldsymbol{0}.$$

Nhưng:

$$\boldsymbol{e}_z^T \boldsymbol{e}_{j,j-1} = \frac{z^c_{j-1} - z^c_j}{l_{j,j-1}}; \qquad S_{j,j-1} = \frac{l_{j,j-1}}{d_{j,j-1}} H_{j,j-1}; \qquad \boldsymbol{e}_z^T \boldsymbol{K}_j = \boldsymbol{P}_j.$$

Suy ra:

$$-\frac{H_{j,j-1}}{d_{j,j-1}} z^c_{j-1} + \left[\frac{H_{j,j-1}}{d_{j,j-1}} + \frac{H_{j,j+1}}{d_{j,j+1}}\right] z^c_j - \frac{H_{j,j+1}}{d_{j,j+1}} z^c_{j+1} = P_j; \qquad (3.57)$$

với $(j = 1, 2, \ldots, r)$.

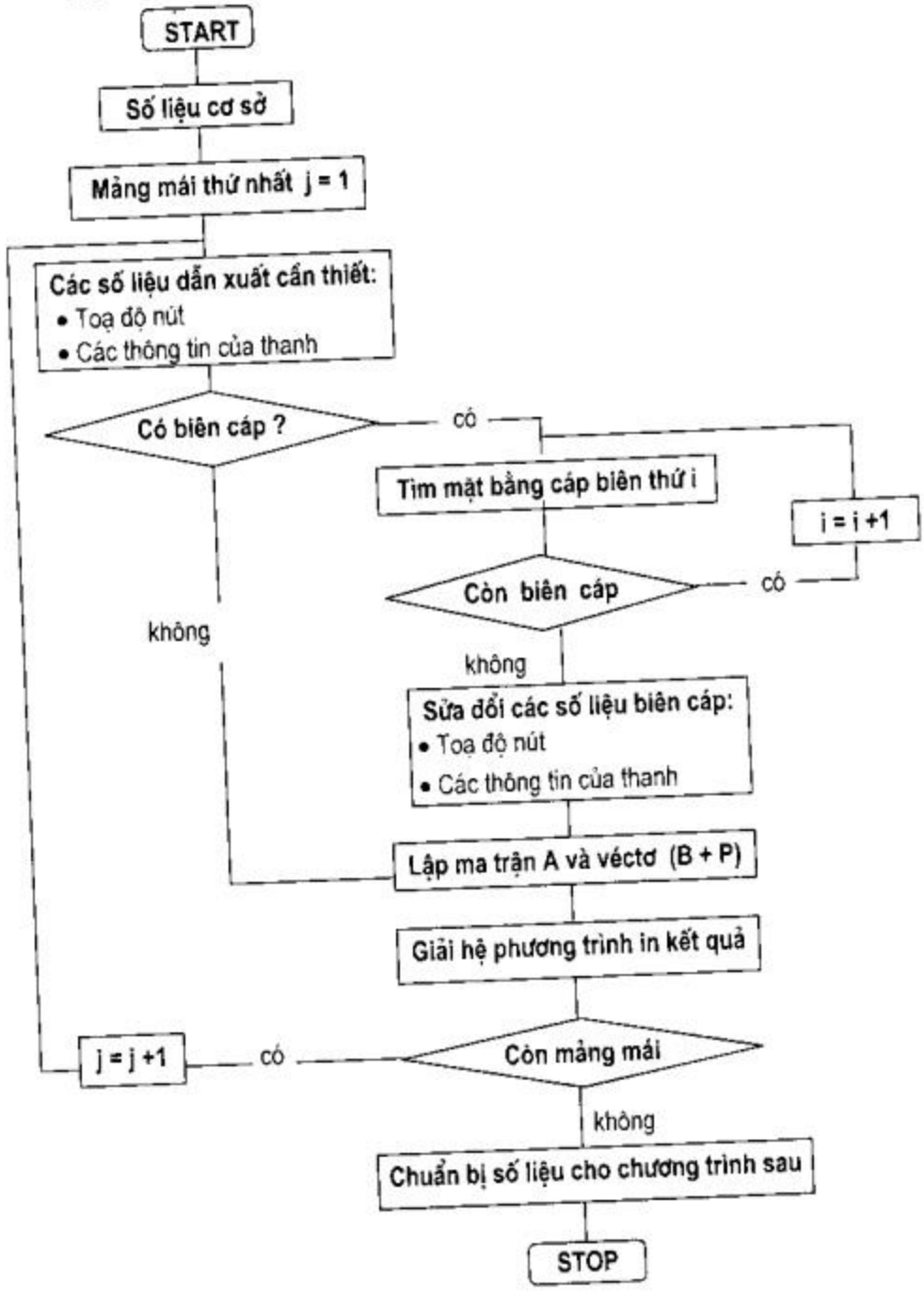
Tại nút đầu và nút cuối, cao độ của điểm A và B đã biết, như vậy ta có một hệ r phương trình đại số tuyến tính với r ẩn số là các cao độ trên biên cấp. Kết quả cao độ nút tìm được khi giải hệ phương trình trên thường không khớp với cao độ nút lưới lân cận chúng. Giả sử có sự chênh lệch là δ, ta cho tác động tại các nút lân cận một tác nhân ảo là hệ lực ảo X để sao cho độ chênh lệch $\delta = 0$. Bài toán lại dẫn đến việc giải hệ phương trình đại số tuyến tính với ẩn số là các giá trị lực X tương tự như cách xác định cao độ của hệ có biên cứng thực dựa vào biên chuẩn đã thực hiện ở phần trên. Thuật toán này đã được trình bày trong tài liệu [35].

Việc xác định cao độ biên cấp theo thuật toán nêu trên được thực hiện bằng cách chia bài toán thành các bước nhỏ phù hợp với khả năng tính toán của máy tính có tốc độ thấp và kích thước bộ nhớ nhỏ. Ngày nay, với tốc độ xử lý nhanh và dung lượng bộ nhớ lớn của máy tính đã tạo điều kiện thuận lợi cho việc thực hiện một thuật toán tổng hợp để giải bài toán này đồng thời tự động chuẩn bị số liệu cho bước tính tiếp theo, do tác giả đề nghị [29].

Sau khi xác định hình dạng trên mặt bằng của cấp biên và lực cấp trong từng đoạn, ta coi các điểm của poligon cấp như những nút bên trong của hệ lưới. Lúc này, hệ lưới không còn trực giao nữa, thậm chí số nút cũng chỉ biết sau khi có mặt bằng của cấp và loại bỏ các nút thừa. Lập và giải các phương trình cân bằng (3.45) cho các nút của hệ ta sẽ tìm được cao độ của toàn bộ các nút bên trong của hệ cũng như các điểm gãy của cấp biên.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Sơ đồ khối chương trình xác định trạng thái ban đầu "*TTBĐ*"



Hình 3. 34

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Thuật toán xác định trạng thái ban đầu cuả hệ lưới dây có điều kiện biên bất kỳ bằng cách thiết lập và giải hệ phương trình (3.45) cũng như xử lý kết quả cho giai đoạn tính toán sự thay đổi trạng thái của hệ sau này đã được tác giả giới thiệu trong [29]. Trên cơ sở thuật toán kiến nghị, tác giả cũng lập chương trình tính toán bằng ngôn ngữ PASCAL mang tên "TTBĐ", thực hiện trên các máy PC thông dụng.

Sơ đồ khối của chương trình được trình bày trên hình 3.34.

Ngoài các số liệu cơ sở cho trước như cao độ nút biên, hệ lực tác động tại nút, để thuận tiện cho việc soạn thảo chương trình và ghép nối với chương trình tiếp theo ở mục 3.5 ta sử dụng khái niệm ma trận thông tin của các thanh, mỗi phần tử j,k của ma trận này mang các thông tin về một thanh j,k trong hệ lưới như:

- Hình chiếu trên mặt bằng của lực căng trước trong thanh $H_{j,k}$.
- Chiều dài trên mặt bằng $d_{j,k}$.
- Số thứ tự nút đầu (j) và số thứ tự nút cuối (k).

3.5. Tính toán trạng thái kết cấu màng mỏng chịu các tác động bên ngoài

Khác với các kết cấu được tính theo giả thiết biến dạng nhỏ, khi tính kết cấu màng mỏng ta không thể áp dụng nguyên lý cộng tác dụng. Dưới tác động của các nguyên nhân bên ngoài, hệ sẽ thay đổi hình dạng và nội lực để cân bằng và tương thích với các nguyên nhân đã cho, tức là hệ chuyển sang một trạng thái xác định mới. Mục tiêu cần thực hiện là xác định được các thông số về hình dạng và nội lực trong kết cấu ở trạng thái mới này, được gọi là "*tính toán trạng thái thay đổi*" của kết cấu.

Tương tự như trong mục trước, việc tính toán trạng thái thay đổi của kết cấu màng mỏng cũng có thể thực hiện theo một trong hai mô hình tính sau:

* Xem màng mỏng là liên tục (sử dụng lý thuyết màng mỏng phi mômen chịu biến dạng lớn).

* Xem màng mỏng là hệ lưới dây rời rạc liên kết khớp lý tưởng tại các nút.

Cả hai mô hình đều cần được tính theo lý thuyết biến dạng lớn tức là cần được giải theo bài toán phi tuyến hình học. Về thực chất, màng mỏng theo hai phương ngang sợi và dọc sợi có cường độ khác nhau, môđun đàn hồi cũng khác nhau cho nên để bảo đảm chính xác ta cần áp dụng lý thuyết vỏ trực hướng khi tính kết cấu màng mỏng, do đó thường rất phức tạp. Tính trực hướng của màng.mỏng được thể hiện rõ ràng và đơn giản hơn với mô hình hệ lưới dây.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Do sự gần gũi hơn của mô hình lưới dây đối với kết cấu màng mỏng cho nên dưới đây chỉ trình bày cách tính toán trạng thái thay đổi của kết cấu theo mô hình hệ lưới dây trên cơ sở tài liệu [35].

3.5.1. Các giả thiết

Ta chấp nhận các giả thiết về vật liệu tương tự như đã nêu trong phần tính toán trạng thái ban đầu (mục 3.4). Trạng thái cân bằng tương thích ban đầu đã được xác định ở mục 3.4 được xem là trạng thái xuất phát để tính toán. Ở trạng thái ban đầu với hệ lực nút và lực căng trước trong dây, hệ đã thực sự trở thành kết cấu có khả năng chịu lực. Trong giai đoạn này hệ lưới dây được tính toán với mọi tải trọng nút (kể cả mômen tập trung tại nút); với các hình dạng biên cũng như hình dạng của lưới dây bất kỳ trên mặt bằng.

3.5.2. Tính toán trạng thái thay đổi của hệ lưới dây có biên cứng

a) Hệ phương trình cân bằng

Ta lập các phương trình cân bằng cho hệ lưới dây ở một trạng thái bất kỳ được chọn làm trạng thái xuất phát với giả thiết hệ có m dây, n nút bên trong. Theo (3.30), các phương trình cân bằng của hệ lưới được viết dưới dạng ma trận như sau:

$$\boldsymbol{G^T S + P = 0}\,, \tag{3.58}$$

trong đó:

$\boldsymbol{G^T}$ – ma trận đặc trưng hình học cuả hệ lưới dây, phụ thuộc tọa độ các nút lưới x_i, y_i, z_i; được mô tả dưới dạng ma trận chia khối với kích thước [3n×m] và có cấu trúc như sau:

$$\boldsymbol{G^T} = [\boldsymbol{e}_{j,k}] \quad \text{với} \quad j = 1, 2, ..., n; \quad k = 1, 2, ..., m. \tag{3.59}$$

$$\boldsymbol{e}_{j,k} = \frac{V_{j,k}}{l_{j,k}}\boldsymbol{r}_{j,k} = \frac{V_{j,k}}{l_{j,k}}(\boldsymbol{r}_k - \boldsymbol{r}_j) \quad \text{với} \quad \boldsymbol{r}_j = \{x_j \;\; y_j \;\; z_j\}.$$

$V_{i,k}$ có giá trị bằng 1 hoặc 0 tuỳ thuộc vào sự tồn tại của thanh nối giữa hai nút j,σ hay không.

$\boldsymbol{S}$ – véctơ nội lực trong các dây của hệ lưới, [m×1].

$\boldsymbol{P}$ – véctơ tải trọng tại các nút lưới, kích thước [3n×1].

Ta khảo sát trạng thái làm việc của hệ khi tải trọng nút tăng lên một lượng vô cùng bé. Giả thiết là khi tải trọng biến đổi, nội lực cũng như toạ độ của các điểm nút cũng thay đổi những lượng vô cùng bé và phương trình vi phân cân bằng của trạng thái thay đổi như sau:

$$\boldsymbol{(G^T + dG^T)\,(S + dS) + P + dP = 0.}$$

Ma trận đặc trưng hình học phụ thuộc tọa độ được biểu thị qua vectơ $\boldsymbol{r}$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

nên $G^T = G^T(r)$ cũng thay đổi những lượng vô cùng bé ở lân cận trạng thái đã cho:

$$G^T + dG^T = G^T + \frac{\partial G^T}{\partial r} dr .$$

Như vậy, phương trình vi phân cân bằng của hệ khi tải trọng thay đổi có dạng:

$$G^T S + G^T dS + \left(\frac{\partial G^T}{\partial r} dr \right) S + \left(\frac{\partial G^T}{\partial r} dr \right) dS + P + dP = 0.$$

Nếu bỏ qua các vô cùng bé bậc hai và chú ý đến phương trình (3.58) ta nhận được phương trình cân bằng của hệ ở trạng thái đã thay đổi:

$$G^T dS + \left(\frac{\partial G^T}{\partial r} dr \right) S + dP = 0.$$

Nếu chú ý là vectơ nội lực ở trạng thái ban đầu đã biết và không đổi thì ta có:

$$\left(\frac{\partial G^T}{\partial r} dr \right) S = \frac{\partial G^T S}{\partial r} dr = D\, dr \quad \text{với} \quad D = \frac{\partial G^T S}{\partial r} .$$

Như vậy cuối cùng ta có phương trình vi phân cân bằng của trạng thái thay đổi do tải trọng thay đổi gây ra như sau:

$$D\, dr + G^T dS + dP = 0. \qquad (3.60)$$

Trong công thức này D là ma trận có các phần tử là hàm của nội lực trong dây ở trạng thái ban đầu và các đặc trưng hình học đã thay đổi của hệ, $D = D(r,S)$, được gọi là *ma trận độ cứng bổ sung trạng thái ban đầu của hệ lưới dây*. Ma trận D là ma trận vuông, kích thước [3n×3n] hay nói khác đi, D là một ma trận chia khối bao gồm [n×n] khối, mỗi khối có kích thước [3×3]:

$$D = [D_{j,k}] ; \quad \text{với } (j, k = 1, 2, ..., n.) \qquad (3.61)$$

Các khối $D_{j,k}$ của ma trận là đạo hàm riêng theo r của các phần tử của vectơ khối $G^T S$:

$$\sum_{\sigma=1}^{n_o} V_{j,\sigma}\, e_{j,\sigma} S_{j,\sigma} \quad \text{với} \quad (j = 1, 2, ..., n)$$

Trong công thức trên, giống như trước đã ký hiệu: n_o là số nút tổng cộng của hệ; n là số nút bên trong; $V_{i,k}$ có giá trị bằng 1 hoặc 0 tuỳ thuộc vào sự tồn tại của thanh nối giữa hai nút j,σ hay không.

Sau khi lấy đạo hàm riêng các khối của G^T theo r ta có:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{r}_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} \quad \frac{\partial}{\partial y_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} \quad \frac{\partial}{\partial z_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} \right\},$$

trong đó: $\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = \dfrac{\boldsymbol{r}_{j,\sigma}}{\left(\boldsymbol{r}_{j,\sigma}^T \boldsymbol{r}_{j,\sigma}\right)^{1/2}} = \dfrac{\boldsymbol{r}_{j,\sigma}}{l_{j,\sigma}}$; với: $\boldsymbol{r}_{j,\sigma} = \boldsymbol{r}_\sigma - \boldsymbol{r}_j = \begin{bmatrix} x_\sigma - x_j \\ y_\sigma - y_j \\ z_\sigma - z_j \end{bmatrix}$.

Chi tiết hơn ta có:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = \frac{\partial}{\partial x_j}\frac{\boldsymbol{r}_{j,\sigma}}{l_{j,\sigma}} = \frac{1}{l_{j,\sigma}^2}\left\{\left(\frac{\partial}{\partial x_j}\boldsymbol{r}_{j,\sigma}\right) l_{j,\sigma} - \boldsymbol{r}_{j,\sigma}\left(\frac{\partial}{\partial x_j} l_{j,\sigma}\right)\right\}.$$

Nhưng: $\dfrac{\partial}{\partial x_j}\boldsymbol{r}_{j,\sigma} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = -\boldsymbol{e}_x$;

$$\frac{\partial}{\partial x_j} l_{j,\sigma} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\boldsymbol{r}_{j,\sigma}^T \cdot \boldsymbol{r}_{j,\sigma}\right)^{1/2} = \frac{1}{2 l_{j,\sigma}}\left\{\left(\frac{\partial}{\partial x_j}\boldsymbol{r}_{j,\sigma}^T\right)\boldsymbol{r}_{j,\sigma} + \boldsymbol{r}_{j,\sigma}^T\left(\frac{\partial}{\partial x_j}\boldsymbol{r}_{j,\sigma}\right)\right\} = -\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^T \cdot \boldsymbol{e}_x$$

nên ta có :

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = \frac{-\boldsymbol{e}_x l_{j,\sigma} + \boldsymbol{r}_{j,\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^T \boldsymbol{e}_x}{l_{j,\sigma}^2} = \frac{1}{l_{j,\sigma}}\left(\boldsymbol{e}_{j,\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^T - \boldsymbol{E}\right)\boldsymbol{e}_x.$$

với $\boldsymbol{E}$ là ma trận đơn vị có kích thước [3×3].

Tương tự, ta có các đạo hàm khác:

$$\frac{\partial}{\partial y_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = \frac{1}{l_{j,\sigma}}\left(\boldsymbol{e}_{j,\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^T - \boldsymbol{E}\right)\boldsymbol{e}_y;$$

$$\frac{\partial}{\partial z_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = \frac{1}{l_{j,\sigma}}\left(\boldsymbol{e}_{j,\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^T - \boldsymbol{E}\right)\boldsymbol{e}_z.$$

Ta có thể viết:

$$\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{r}_j}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = \frac{1}{l_{j,\sigma}}\left(\boldsymbol{e}_{j,\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^T - \boldsymbol{E}\right);$$ với lưu ý: $\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = -\boldsymbol{e}_{\sigma,j}$;

$$\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{r}_\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma} = -\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{r}_\sigma}\boldsymbol{e}_{\sigma,j} = -\frac{1}{l_{j,\sigma}}\left(\boldsymbol{e}_{j,\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^T - \boldsymbol{E}\right).$$

Như vậy, các phần tử khối của ma trận $\boldsymbol{D}$ được xác định như sau:

- Các phần tử trên đường chéo chính:

$$\boldsymbol{D}_{jj} = \sum_{\sigma=1}^{n_0}\left(\boldsymbol{e}_{j,\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^T - \boldsymbol{E}\right)\frac{\boldsymbol{S}_{j,\sigma}}{l_{j,\sigma}} V_{j,\sigma} \quad \text{với} \quad (j = k = 1, 2, \ldots, n). \quad (3.62)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

• Các phần tử khác:

$$\boldsymbol{D}_{j,k} = \boldsymbol{D}_{k,j} = \left(\boldsymbol{E} - \boldsymbol{e}_{j,k}\boldsymbol{e}_{j,k}^{T}\right)\frac{S_{j,k}}{l_{j,k}}V_{j,k} \quad \text{với} \quad (j, k = 1, 2, \ldots, n). \quad (3.63)$$

b) Các phương trình tương thích của hệ

Giả sử các phần tử dây trong hệ làm việc trong giới hạn đàn hồi và tuân theo định luật Hooke. Khi trị số nội lực biến đổi một lượng vô cùng bé thì chiều dài đoạn dây j, k sẽ thay đổi một lượng:

$$\frac{l_{j,k}}{EF_{j,k}}dS_{j,k} = A_{j,k}dS_{j,k}$$

trong đó:

$l_{j,k}$ – chiều dài của đoạn dây ở trạng thái không tải;

$F_{j,k}$ – diện tích tiết diện của đoạn dây;

E – môđun đàn hồi của vật liệu (ở đây giả thiết là đàn hồi tuyến tính, trị số xấp xỉ các đặc trưng của màng mỏng theo phương tương ứng).

Ký hiệu: $l_{j,k} / EF_{j,k} = A_{j,k}$ là đặc trưng đàn hồi của đoạn dây j, k (hay còn gọi là đặc trưng độ mềm của dây).

Ngoài sự biến thiên của tải trọng, giả sử hệ còn chịu các nguyên nhân khác cho trước, ví dụ như sự biến thiên của nhiệt độ $dt_{j,k}$.

Trong quá trình thay đổi trạng thái, các véctơ vị trí của điểm đầu và điểm cuối thanh j, k cũng thay đổi các lượng vô cùng bé dr_j và dr_k. Khi thay đổi trạng thái vô cùng bé, độ dài đoạn dây sẽ thay đổi và được xác định một cách gần đúng như sau:

$$\boldsymbol{e}_{j,k}^{T}(\boldsymbol{dr}_k - \boldsymbol{dr}_j) = \boldsymbol{e}_{j,k}^{T}\boldsymbol{dr}_{j,k}.$$

Trị số này đúng bằng tổng các biến dạng đàn hồi của đoạn dây do sự thay đổi nội lực và biến dạng do các nguyên nhân khác có trị số đã biết gây ra. Sự tương thích giữa chuyển vị tại các điểm đầu và cuối của đoạn dây và biến dạng của chúng được thể hiện theo phương trình sau:

$$\boldsymbol{e}_{j,k}^{T}(\boldsymbol{dr}_k - \boldsymbol{dr}_j) = A_{j,k}dS_{j,k} + dt_{j,k}.$$

Nhưng ta có: $\boldsymbol{e}_{j,k} = -\boldsymbol{e}_{k,j}$ nên:

$$\boldsymbol{e}_{j,k}^{T}\boldsymbol{dr}_j + \boldsymbol{e}_{k,j}^{T}\boldsymbol{dr}_k + A_{j,k}dS_{j,k} + dt_{j,k} = 0,$$

hay:

$$\begin{bmatrix}\boldsymbol{e}_{j,k}^{T} & \boldsymbol{e}_{k,j}^{T}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\boldsymbol{dr}_j \\ \boldsymbol{dr}_k\end{bmatrix} + A_{j,k}dS_{j,k} + dt_{j,k} = 0. \quad (3.64)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong hệ lưới, mỗi đoạn dây có một phương trình tương thích, sau khi gộp lại ta được hệ phương trình tương thích cho toàn hệ ở trạng thái thay đổi

$$G.\, dr + A\, dS + dT = 0, \qquad (3.65)$$

trong đó:

G – ma trận đặc trưng hình học, kích thước [m × 3n], chính là ma trận chuyển vị trí của ma trận G^T đã biết ở hệ phương trình cân bằng;

A – ma trận độ mềm, đó là ma trận chéo chỉ gồm các phần tử trên đường chéo chính, kích thước [m × m];

dS – vectơ biểu thị sự thay đổi giá trị nội lực trong các thanh, kích thước [m × 1];

dT – vectơ biểu thị sự thay đổi chiều dài các thanh, chẳng hạn do biến thiên nhiệt độ tại các thanh, kích thước [m × 1];

dr – vectơ biểu thị sự thay đổi vị trí của các nút, kích thước [3n × 1].

c) Hệ phương trình thay đổi trạng thái của hệ lưới dây

Ta có thể hợp nhất hệ phương trình cân bằng (3.60) và hệ phương trình tương thích (3.65) của hệ lưới dây ở trạng thái thay đổi và viết dưới dạng:

$$\begin{bmatrix} D & G^T \\ G & A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dr \\ ds \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dP \\ dT \end{bmatrix} = 0 . \qquad (3.66)$$

Ta gọi hệ phương trình (3.66) là *phương trình vi phân thay đổi trạng thái của hệ lưới.*

Các vectơ $\{\ r\ \ S\ \}$ và $\{\ dr\ \ dS\ \}$ là *vectơ trạng thái* và *vectơ vi phân thay đổi trạng thái.*

Các véc tơ $\{\ P\ \ t\ \}$ và $\{\ dP\ \ dt\ \}$ là vectơ nguyên nhân và vectơ vi phân của các nguyên nhân.

Nếu định thức của A khác không ($|A| \neq 0$) thì các vectơ vi phân thay đổi trạng thái được viết rõ ràng hơn như sau:

$$\begin{bmatrix} dr \\ dS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -K^{-1} & K^{-1}G^T A^{-1} \\ A^{-1}GK^{-1} & -A^{-1} - A^{-1}GK^{-1}G^T A^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dP \\ dT \end{bmatrix}. \qquad (3.67)$$

Trong đó $K = D - G^T A^{-1} G$ được gọi là *ma trận độ cứng của hệ lưới dây* và có dạng chia khối:

$$K = [K_{j,k}]\ ; \quad \text{với } (j, k = 1, 2, ..., m) \qquad (3.68)$$

Các khối của ma trận độ cứng $[K]$ có thể lập trực tiếp như sau:

• Các phần tử trên đường chéo chính, $j = k$:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$K_{j,j} = -\sum_{\sigma=1}^{\upsilon_0}\left[\boldsymbol{E} + \left(\frac{EF_{j,\sigma}}{S_{j,\sigma}} - 1\right)\boldsymbol{e}_{j,\sigma}\boldsymbol{e}_{j,\sigma}^{T}\right]\frac{S_{j,\sigma}}{l_{j,\sigma}}V_{j,\sigma}\,. \qquad (3.69)$$

• Các phần tử khác:

$$K_{j,k} = \left[\boldsymbol{E} - \left(\frac{EF_{j,k}}{S_{j,k}} + 1\right)\boldsymbol{e}_{j,k}\boldsymbol{e}_{j,k}^{T}\right]\frac{S_{j,k}}{l_{j,k}}V_{j,k}\,. \qquad (3.70)$$

Nếu $|\boldsymbol{A}| = 0$ (hệ gồm các thanh tuyệt đối cứng) nhưng $|\boldsymbol{D}| \neq 0$, ta có:

$$\begin{bmatrix} d\boldsymbol{r} \\ d\boldsymbol{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{G}^{T}\left(\boldsymbol{G}\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{G}^{T}\right)^{-1}\boldsymbol{G}\boldsymbol{D}^{-1} - \boldsymbol{D}^{-1} & -\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{G}^{T}\left(\boldsymbol{G}\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{G}^{T}\right)^{-1} \\ -\left(\boldsymbol{G}\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{G}^{T}\right)^{-1}\boldsymbol{G}\boldsymbol{D}^{-1} & \left(\boldsymbol{G}\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{G}^{T}\right)^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d\boldsymbol{P} \\ d\boldsymbol{T} \end{bmatrix} \qquad (3.71)$$

d) Tính toán trạng thái thay đổi của hệ lưới dây bằng phương pháp số

Hệ phương trình vi phân thay đổi trạng thái của hệ lưới có biên cứng ở lân cận trạng thái đã biết (3.66) là hệ phương trình chính xác. Về hình thức, hệ phương trình (3.66) có dạng tuyến tính, nhưng về thực chất thì đó là hệ phương trình phi tuyến vì các khối của ma trận hệ số $\boldsymbol{D}$ và $\boldsymbol{G}$ đều là hàm của các biến số $\boldsymbol{r}$ và $\boldsymbol{S}$

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{D}(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{S}) \quad \text{và} \quad \boldsymbol{G} = \boldsymbol{G}(\boldsymbol{r}).$$

Trong tài liệu này chúng tôi không đề cập tới việc tìm lời giải giải tích cho bài toán mà chỉ đi sâu trình bày lời giải bằng phương pháp số để có thể lập trình và giải bài toán trên máy tính. Phương pháp kiến nghị có thể xem là phương pháp chính xác hay phương pháp đúng dần. Thật vậy, sau mỗi bước lặp đúng dần ta có thể xác định được trạng thái cân bằng và tương thích với tải trọng tác dụng, tiệm cận dần tới kết quả chính xác. Quá trình lặp được kết thúc khi đạt tới sai số nhỏ bất kỳ cho trước.

Về thực chất, việc giải hệ phương trình (3.66) theo phương pháp đúng dần là thay thế các vi phân biến đổi trạng thái bằng các biến đổi nhỏ hữu hạn. Các số liệu đã biết là các đặc trưng của trạng thái ban đầu: các vectơ $\boldsymbol{r}_{(o)}$, $\boldsymbol{S}_{(o)}$, các ma trận $\boldsymbol{G}_{(o)}$, $\boldsymbol{D}_{(o)}$ và tiếp theo là các tải trọng tương thích $\boldsymbol{P}_{(o)}$, $\boldsymbol{t}_{(o)}$. Các bước tính toán tiếp theo cần được đặc biệt quan tâm vì độ chính xác của lời giải phụ thuộc các bước tính này.

Theo (3.58), vectơ tải trọng nút ở trạng thái ban đầu được xác định theo công thức sau:

$$\boldsymbol{P}_{(o)} = -\boldsymbol{G}_{(o)}^{T}\boldsymbol{S}_{(o)}. \qquad (3.72)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Gọi T là *vectơ biến dạng dọc trục* trong các thanh, được xác định theo công thức sau:

$$T_{(o)} = L_{(o)} - L - A\,S_{(0)}\,, \tag{3.73}$$

trong đó:

$L_{(o)}$ – vectơ biểu thị chiều dài các đoạn dây ở trạng thái ban đầu với các phần tử được xác định qua $r_{(o)}$;

L – vectơ biểu thị chiều dài các đoạn dây ở trạng thái không tải cũng như nhiệt độ ở trạng thái ban đầu (chiều dài xuất phát);

A – ma trận đàn hồi của dây được coi là không đổi.

Các nguyên nhân tương thích ở trạng thái ban đầu ($P_{(o)}$, $T_{(o)}$) đã biết sẽ là cơ sở để xác định các vectơ trạng thái r và S ở trạng thái cần tìm ứng với các véctơ nguyên nhân đã cho P và T.

Giả sử véctơ các nguyên nhân tác dụng thay đổi một lượng nhỏ hữu hạn, gọi là gia số tác nhân:

$$\Delta P = P - P_{(o)}; \qquad \Delta T = T - T_{(o)};$$

thì các vectơ trạng thái cũng thay đổi một lượng tương ứng:

$$\Delta r = r - r_{(o)}; \qquad \Delta S = S - S_{(o)}.$$

Từ (3.66) ta có thể viết phương trình thay đổi trạng thái một cách gần đúng như sau:

$$\begin{bmatrix} D_{(0)} & G_{(0)}^T \\ G_{(0)} & A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta r_{(1)} \\ \Delta S_{(1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta T \end{bmatrix} = 0\,, \tag{3.74}$$

trong đó $\Delta r_{(1)}$ và $\Delta S_{(1)}$ là gia số của toạ độ nút và nội lực ở bước gần đúng đầu tiên (bước thứ nhất) của Δr, ΔS.

Nếu $|A| \neq 0$ ta có thể viết lại hệ phương trình (3.74) như sau:

$$K_{(o)}\,\Delta r_{(1)} + \Delta P^* = 0, \tag{3.75}$$

với $$K_{(o)} = D_{(o)} - G_{(o)}^T A^{-1} G_{(o)}\,; \qquad \Delta P^* = \Delta P - G_{(o)}^T A^{-1} \Delta T, \tag{3.76}$$

ΔP^* được gọi là vectơ *tải trọng quy đổi*.

$$\Delta S_{(1)} = -A^{-1}\Delta T^*, \tag{3.77}$$

với $$\Delta T^* = G_{(o)}\,\Delta r_{(1)} + \Delta T, \tag{3.78}$$

ΔT^* được gọi là vectơ *biến dạng quy đổi*.

Bài toán được tiến hành theo trình tự như sau:

• Xác định vectơ tải trọng quy đổi ΔP^* theo (3.76).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

• Xác định vectơ $\Delta r_{(1)}$ sau khi giải hệ phương trình (3.75).

• Xác định vectơ biến dạng quy đổi ΔT^* theo (3.78).

• Cuối cùng, xác định vectơ gia số của nội lực $\Delta S_{(1)}$ theo (3.77).

Sau các bước tính trên, ta tìm được các đại lượng ở trạng thái mới:

◇ Các đặc trưng của trạng thái mới:

$$r_{(1)} = r_{(o)} + \Delta r_{(1)}; \qquad S_{(1)} = S_{(o)} + \Delta S_{(1)},$$

◇ Các ma trận hệ số của trạng thái mới: $D_{(1)}$ theo (3.61) và $G_{(1)}$ theo (3.59).

◇ Các véctơ tải trọng tương thích của trạng thái mới theo (3.72) và (3.73):

$$P_{(1)} = -\, G^T_{(1)}\, S_{(1)}. \qquad T_{(1)} = L_{(1)} - L - A\, S_{(1)},$$

Như vậy gia số của vectơ tải trọng và vectơ biến dạng trong các thanh của hệ sau bước lặp đầu tiên sẽ là:

$$\Delta P_{(1)} = P - P_{(1)}; \qquad \Delta T_{(1)} = T - T_{(1)}.$$

Vectơ chia khối $\{\ \Delta P_{(1)}\ \ \Delta T_{(1)}\ \}$ biểu thị sai số của kết quả tính trong bước tính thứ nhất, được dùng để kiểm tra xem có cần thực hiện tính toán bước tiếp theo hay không?

Gọi $\tilde{P}, \tilde{t}$ là các vectơ biểu thị tác nhân thực tế hoặc là tác nhân trung bình có thể tác dụng trên kết cấu (trong mọi trường hợp đều có giá trị > 0); $\varepsilon_P, \varepsilon_t$ là các sai số tỷ đối cho phép đối với các tác nhân nói trên. Có thể xảy ra các trường hợp sau:

1) Nếu chuẩn của các vectơ sai số thỏa mãn điều kiện:

$$\left\|\Delta P_{(1)}\right\| \le \varepsilon_P \left\|\tilde{P}\right\| \quad \text{và} \quad \left\|\Delta T_{(1)}\right\| \le \varepsilon_t \left\|\tilde{t}\right\| \qquad (3.79)$$

thì việc tính toán đã được hoàn thành với độ chính xác tương đối $\varepsilon_P, \varepsilon_t$.

2) Nếu điều kiện (3.75) không thoả mãn (hoặc một phần hoặc toàn bộ) nhưng trị số của các vectơ biểu thị tác nhân tìm được là rất nhỏ so với giá trị của tác nhân tác dụng thực tế hoặc tác nhân trung bình tác dụng trên kết cấu (giá trị của các tải trọng này khác không) thì ta cần xem trạng thái này là trạng thái xuất phát và tiến hành lại các bước tính nêu trên cho đến khi vectơ sai số $\{\ \Delta P_{(i)}\ \ \Delta T_{(i)}\ \}$ ở bước thứ i thoả mãn điều kiện (3.75).

3) Nếu cả hai trường hợp 1) và 2) đều không đạt thì có thể xảy ra hai khả năng:

• Nếu chọn được một hệ số thích hợp $\lambda\ (0 < \lambda < 1)$ để sao cho với các gia số tác nhân $\lambda\Delta P$, $\lambda\Delta T$ đã được giảm cấp ta đạt được độ chính xác tuỳ ý

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

theo trường hợp 1) hoặc 2) thì sau khi xác định được trạng thái mới ứng với các gia số tác nhân nói trên ta cần bổ sung phần tác nhân còn thiếu (có khi còn phải tiếp tục giảm cấp thêm một lần nữa).

• Trường hợp khi thừa số $\lambda \to 0$ mà cũng không đạt được sự hội tụ của phép lặp thì kết cấu đã đạt đến trạng thái giới hạn về ổn định. Để giải bài toán cho tình huống này cần vận dụng lý thuyết về "sự làm việc ở giai đoạn sau giới hạn ổn định của kết cấu". Trong phạm vi cuốn sách này, chúng tôi không đề cập tới vấn đề nêu trên.

3.5.3. Tính toán trạng thái thay đổi của hệ lưới dây có biên đàn hồi

Trong mục 3.4 đã trình bày phương pháp xác định hình dạng của hệ lưới dây có biên bất kỳ ở trạng thái ban đầu và ta có thể tìm được giá trị của các lực tác dụng tại nút cùng hệ nội lực thỏa mãn điều kiện cân bằng. Nếu hệ lưới dây được liên kết trực tiếp vào biên cứng hoặc thông qua các biên cáp hay các chi tiết mềm khác thì ta có thể tính toán sự thay đổi trạng thái của hệ lưới dây như đã trình bày ở 3.5.2. Trong thực tế, hệ lưới dây còn được liên kết trực tiếp hay thông qua các cáp mềm vào biên đàn hồi như các kết cấu khung, dàn, vòm ... Dưới tác động của tải trọng truyền từ lưới dây, biên đàn hồi làm việc như các kết cấu đàn hồi quen thuộc, chúng có chuyển vị nhỏ nên có thể áp dụng nguyên lý cộng tác dụng trong tính toán. Khi chịu các nguyên nhân bên ngoài, các phần tử của biên đàn hồi hay hệ kết cấu đàn hồi làm việc đồng thời với các phần tử của hệ lưới dây (kể cả biên cáp mềm) trong một hệ thống nhất, gọi là *hệ liên hợp*. Việc phân tích toàn bộ hệ liên hợp theo quan điểm có xét đến sự tương tác giữa hệ lưới dây và hệ biên đàn hồi là cần thiết, có như vậy mới thu được kết quả chính xác.

Ta sẽ tìm cách kết hợp hệ phương trình trạng thái tuyến tính của hệ thanh được dùng làm biên đàn hồi với hệ phương trình phi tuyến hình học của hệ lưới dây để phân tích sự làm việc của hệ liên hợp dưới tác động của các nguyên nhân bên ngoài. Trên cơ sở đó ta sẽ nghiên cứu cách giải bài toán này theo một phương pháp số được gọi là "phương pháp chính xác hạn chế".

Giả sử kết cấu thanh đàn hồi (t) và kết cấu lưới dây (d) được liên kết với nhau ở trạng thái ban đầu, tại thời điểm kết nối với nhau thì trạng thái ứng suất và các đặc trưng hình học của từng hệ riêng biệt là đã biết. Như vậy, các phần tử thanh và các phần tử dây ở trạng thái ban đầu có hình dạng cũng như nội lực đã được xác định.

a) Hệ phương trình trạng thái của hệ thanh đàn hồi.

Giả thiết là các thanh của hệ (t) có trục thẳng, tiết diện không đổi dọc theo chiều dài và có thể tiếp nhận được các ứng lực kéo, nén, uốn và xoắn

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

(trường hợp thanh cong thoải có thể khảo sát gần đúng bằng cách chia nhỏ thành nhiều đoạn thẳng liên kết với nhau bằng các nút cứng). Các phần tử thanh được liên kết cứng với nhau tại các nút.

Hệ phương trình cân bằng và hệ phương trình tương thích của hệ thanh được viết thành một hệ phương trình ma trận có dạng chia khối:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{G}_t^T \\ \mathbf{G}_t & \mathbf{A}_t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{U}_t \\ \mathbf{S}_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{q}_t \\ \mathbf{T}_t \end{bmatrix} = \mathbf{0} . \qquad (3.80)$$

trong đó, các ma trận và các đại lượng thuộc hệ thanh được mang chỉ số t.

Giả thiết trong hệ (t) có n nút (không kể các gối tựa), m thanh với giả thiết $n \le m$ (vì nếu ngược lại thì hệ thanh sẽ là hệ không xác định) và sau khi đánh số các nút của hệ thì các thanh được biểu thị bằng số hiệu của nút đầu và nút cuối. Ví dụ j,k $(j < k)$ là số hiệu thanh có một đầu là nút j, một đầu là nút k.

Các ma trận trong hệ phương trình (3.80) có ý nghĩa và cấu trúc cụ thể như sau:

❖ $\mathbf{G}_t$ – ma trận các đặc trưng hình học của hệ thanh (t). $\mathbf{G}_t$ có n hàng, mỗi hàng có m khối, mỗi khối có kích thước [6 × 6].

Ma trận chuyển vị trí $\mathbf{G}_t^T$ của $\mathbf{G}_t$ có cấu trúc:

$$\mathbf{G}_t^T = [\, \mathbf{G}_{t\nu;j,k}^T \,] \quad \text{với } \nu = 1, 2, \ldots, m.$$

✧ $\mathbf{G}_t^T$ là ma trận có kích thước [6 × 6], được xác định như sau:

$$\mathbf{G}_{t\nu;j,k}^T = \begin{cases} \Theta_{j,k}^T . \mathbf{B}_{j,k}^T & \text{nếu } \nu = j; \\ -\Theta_{j,k}^T & \text{nếu } \nu = k; \\ \mathbf{0} & \text{nếu } \nu \ne j;\ \nu \ne k. \end{cases} \qquad (3.81)$$

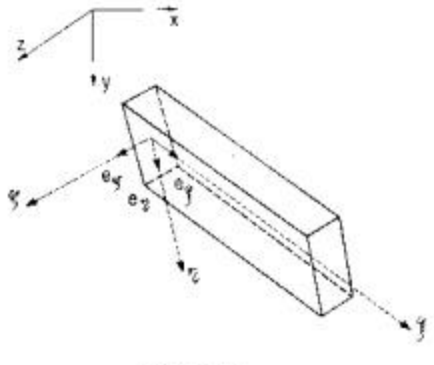
✧ $\Theta_{j,k}$ là ma trận chuyển toạ độ của thanh j,k từ hệ tọa độ địa phương ξ, η, ζ sang hệ tọa độ chung x, y, z, kích thước [6 × 6].

$$\Theta_{j,k}^T = \begin{bmatrix} \Theta_{0;j,k}^T & \\ & \Theta_{0;j,k}^T \end{bmatrix};$$

với:

$$\Theta_{0;j,k}^T = [\, \mathbf{e}_{\xi;j,k} \quad \mathbf{e}_{\eta;j,k} \quad \mathbf{e}_{\zeta;j,k} \,].$$

trong đó:



Hình 3.35

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$e_{\xi;j,k}$, $e_{\eta;j,k}$, $e_{\zeta;j,k}$ – các vectơ đơn vị của các trục toạ độ địa phương ξ, η, ζ của thanh j, k (xem hình 3.35).

◇ $B_{j,k}$ là ma trận dời lực, có kích thước [6 × 6]. Ma trận chuyển vị trí của $B_{j,k}$ có cấu trúc:

$$B^T_{j,k} = \begin{bmatrix} E & 0 \\ B^T_{0;j,k} & E \end{bmatrix}; \quad \text{với} \quad B^T_{0;j,k} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -l_{j,k} \\ 0 & l_{j,k} & 0 \end{bmatrix}$$

trong đó: E – ma trận đơn vị, kích thước [3 × 3];
$l_{j,k}$ – độ dài của thanh j, k.

❖ A_t – ma trận các đặc trưng đàn hồi của các thanh (còn gọi là ma trận độ mềm). A_t là ma trận chia khối chéo có kích thước [m × m]. Chỉ có các khối trên đường chéo chính khác không nên đơn giản ta có thể xác định trực tiếp m khối của ma trận $A_{t\,j,k}$ như sau:

$$A_{t\,j,k} = \begin{bmatrix} \frac{l}{EF} & & & & & \\ & \frac{l^3}{3EJ_\zeta} & & & & \frac{l^2}{2EJ_\zeta} \\ & & \frac{l^3}{3EJ_\eta} & & -\frac{l^2}{2EJ_\eta} & \\ & & & \frac{l}{GJ_\xi} & & \\ & & -\frac{l^2}{2EJ_\eta} & & \frac{l}{EJ_\eta} & \\ & \frac{l^2}{2EJ_\zeta} & & & & \frac{l}{EJ_\zeta} \end{bmatrix}_{j,k} \qquad (3.82)$$

trong đó:

E, G – môđun đàn hồi Young và môđun đàn hồi trượt của vật liệu chế tạo thanh j,k;

F – diện tích tiết diện thanh j,k;

J_ζ, J_η – mômen quán tính khi uốn của tiết diện thanh j,k đối với trục ζ, η;

J_ξ – mômen quán tính khi xoắn của tiết diện thanh j,k.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

❖ U_t – vectơ chuyển vị của các nút trong hệ thanh. U_t có cấu trúc theo dạng chia khối, bao gồm n khối, mỗi khối là một vectơ có 6 phần tử biểu thị 6 thành phần chuyển vị của nút trong hệ tọa độ chung.

Khối thứ j của U_t có cấu trúc như sau:

$$U_{tj} = \{ v_{jx} \;\; v_{jy} \;\; v_{jz} \;\; \varphi_{jx} \;\; \varphi_{jy} \;\; \varphi_{jz} \} ,$$

v_{jx}, v_{jy}, v_{jz} – các chuyển vị thẳng theo phương x, y, z của nút thứ j;

φ_{jx}, φ_{jy}, φ_{jz} – các chuyển vị xoay quanh các trục x, y, z của nút thứ j.

❖ S_t – vectơ nội lực trong các thanh. S_t có cấu trúc theo dạng chia khối, bao gồm m khối, mỗi khối là một vectơ có 6 phần tử biểu thị 3 thành phần lực và 3 thành phần mômen đặt tại cuối thanh (nơi liên kết vào nút có chỉ số lớn hơn).

Khối j,k tương ứng với nội lực trong thanh j,k của S_t có cấu trúc như sau:

$$S_{tj,k} = \{ P_{j,k\xi} \;\; P_{j,k\eta} \;\; P_{j,k\zeta} \;\; M_{j,k\xi} \;\; M_{j,k\eta} \;\; M_{j,k\zeta} \} .$$

❖ q_t – vectơ biểu thị các thành phần tải trọng ở nút. q_t có cấu trúc theo dạng chia khối, bao gồm n khối, mỗi khối là một vectơ có 6 phần tử biểu thị 3 thành phần lực và 3 thành phần mômen tại nút.

Khối thứ j của q_t tương ứng với nút j có cấu trúc như sau:

$$q_{tj} = \{ R_{jx} \;\; R_{jy} \;\; R_{jz} \;\; M_{jx} \;\; M_{jy} \; M_{jz} \},$$

R_{jx}, R_{jy}, R_{jz} – các thành phần lực tập trung tại nút j, theo các phương x, y, z.

M_{jx}, M_{jy}, M_{jz} – các thành phần mômen tập trung tại nút j, quanh các trục x, y, z.

❖ T_t – vectơ biểu thị các chuyển vị tương đối đã cho với từng thanh (độc lập với các tải trọng nút), gọi là vectơ biến dạng dọc trục hoặc *tải trọng động học*, có thể do các nguyên nhân như thay đổi nhiệt độ, chế tạo không chính xác hay điều chỉnh chiều dài gây ra. T_t có cấu trúc theo dạng chia khối, bao gồm m khối, mỗi khối là một vectơ có 6 phần tử.

Khối j,k tương ứng với thanh j,k của T_t có cấu trúc như sau:

$$T_{tj,k} = \{ T_{j,k\xi} \;\; T_{j,k\eta} \;\; T_{j,k\zeta} \;\; \vartheta_{j,k\xi} \;\; \vartheta_{j,k\eta} \;\; \vartheta_{j,k\zeta} \},$$

$T_{j,k\xi}$, $T_{j,k\eta}$, $T_{j,k\zeta}$ – các chuyển vị thẳng tương đối giữa hai đầu thanh j,k theo các phương ξ, η, ζ.

$\vartheta_{j,k\xi}$, $\vartheta_{j,k\eta}$, $\vartheta_{j,k\zeta}$ – các chuyển vị xoay tương đối giữa hai đầu thanh j,k quanh các trục ξ, η, ζ.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

b) Hệ phương trình trạng thái của hệ liên hợp

Để lập các phương trình cho hệ lưới dây trong hệ liên hợp ta có thể vận dụng các phương trình đã thiết lập trong 3.4.2 và 3.5.2.

Từ (3.58) ta có hệ phương trình cân bằng ở trạng thái ban đầu được chọn là trạng thái xuất phát của hệ lưới dây (thường là trạng thái vừa lắp đặt của kết cấu) trong hệ liên hợp:

$$G_d^T S_d + P_d = 0 .$$

trong đó, các ma trận và các đại lượng thuộc hệ lưới dây được mang chỉ số d.

Từ (3.66) ta có hệ phương trình vi phân thay đổi trạng thái của hệ lưới dây trong hệ liên hợp:

$$\begin{bmatrix} D & G_d^T \\ G_d & A_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dr_d \\ dS_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dP_d \\ dT_d \end{bmatrix} = 0 .$$

Trong hệ liên hợp còn có các thanh đàn hồi liên kết với lưới dây, phương trình trạng thái của hệ thanh đàn hồi có dạng:

$$\begin{bmatrix} 0 & G_t^T \\ G_t & A_t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_t \\ S_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} q_t \\ T_t \end{bmatrix} = 0 .$$

Giả sử là sau khi liên kết hệ thanh đàn hồi với hệ lưới dây, hệ liên hợp chịu một gia số nhỏ hữu hạn về các nguyên nhân bên ngoài thì hệ phương trình ở trạng thái thay đổi tương ứng được viết gần đúng như sau:

$$\begin{bmatrix} 0 & G_t^T \\ G_t & A_t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U_t \\ \Delta S_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta q_t \\ \Delta T_t \end{bmatrix} = 0 ;$$

$$\begin{bmatrix} D & G_d^T \\ G_d & A_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta r_d \\ \Delta S_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta P_d \\ \Delta T_d \end{bmatrix} = 0 .$$

Điều kiện ràng buộc là từng thành phần chuyển vị tại các nút chung của cả hai hệ (hệ thanh đàn hồi và hệ lưới dây) phải bằng nhau.

Bổ sung chỉ số *1* để kí hiệu các thành phần chuyển vị, các gia số của nguyên nhân bên ngoài cũng như các đại lượng khác xảy ra tại các nút chung của cả hai hệ. Bổ sung chỉ số 2 để ký hiệu các nội dung nêu trên đối với các nút còn lại. Khi đó, hệ phương trình trên được viết lại dưới dạng sau:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & G_{t1}^T \\ 0 & 0 & G_{t2}^T \\ G_{t1} & G_{t2} & A_t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U_{t1} \\ \Delta U_{t2} \\ \Delta S_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta q_{t1} \\ \Delta q_{t2} \\ \Delta T_t \end{bmatrix} = 0 ; \qquad (3.83)$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & G_{d1}^T \\ D_{21} & D_{22} & G_{d2}^T \\ G_{d1} & G_{d2} & A_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta r_{d1} \\ \Delta r_{d2} \\ \Delta S_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta P_{d1} \\ \Delta P_{d2} \\ \Delta T_d \end{bmatrix} = 0 . \qquad (3.84)$$

Sau khi liên hợp hệ lưới dây với hệ thanh đàn hồi, ta có các điều kiện:

✦ Gia số của các chuyển vị thành phần tương ứng tại các nút chung của hệ phải bằng nhau:

$$\Delta U_{t1} = \Delta r_{d1} = \Delta U_1 .$$

✦ Tại các nút chung, tuy chưa phân định được các thành phần ảnh hưởng của tải trọng đối với từng hệ dây (ΔP_{d1}) và hệ thanh đàn hồi (Δq_{t1}) song ta có điều kiện:

$$\Delta q_{t1} + \Delta P_{d1} = \Delta q_1 .$$

với Δq_1 là vectơ số gia tải trọng tại các nút chung.

Từ hai phương trình đầu của hai hệ phương trình (3.83), (3.84) ta có:

$$G_{t1}^T \Delta S_t + \Delta q_{t1} = 0 ; \text{ và } \quad D_{11} \Delta r_{d1} + D_{12} \Delta r_{d2} + G_{d1}^T \Delta S_d + \Delta P_{d1} = 0.$$

Cộng hai phương trình trên đồng thời vận dụng các điều kiện ràng buộc, ta có:

$$D_{11} \Delta U_1 + D_{12} \Delta r_{d2} + G_{d1}^T \Delta S_d + G_{t1}^T \Delta S_t + \Delta q_1 = 0 . \qquad (3.85)$$

Sau khi kết hợp phương trình (3.85) với các phương trình thứ hai của (3.84), (3.83) và các phương trình thứ ba của (3.84), (3.83) đồng thời chú ý đến các điều kiện ràng buộc, ta có thể viết gọn hai hệ phương trình (3.83), (3.84) thành một hệ phương trình ma trận chia khối duy nhất như sau:

$$\left[\begin{array}{ccc|cc} D_{11} & D_{12} & 0 & G_{d1}^T & G_{t1}^T \\ D_{21} & D_{22} & 0 & G_{d2}^T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G_{t2}^T \\ \hline G_{d1} & G_{d2} & 0 & A_d & 0 \\ G_{t1} & 0 & G_{t2} & 0 & A_t \end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c} \Delta U_1 \\ \Delta r_{d2} \\ \Delta U_{t2} \\ \hline \Delta S_d \\ \Delta S_t \end{array}\right] + \left[\begin{array}{c} \Delta q_1 \\ \Delta P_{d2} \\ \Delta q_{t2} \\ \hline \Delta T_d \\ \Delta T_t \end{array}\right] = 0 . \qquad (3.86)$$

Đó là hệ phương trình thay đổi trạng thái của hệ liên hợp. Ta thấy ma trận hệ số của hệ có tính đối xứng qua đường chéo chính.

Để giải hệ phương trình (3.86) ta vận dụng phương pháp lặp với các thông số ban đầu là các đặc trưng trạng thái, các véc tơ $r_{d(o)}$ và $S_{d(o)}$ ở trạng thái ban đầu.

Sau khi chia khối, ta có thể đưa hệ phương trình (3.86) về dạng:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\begin{bmatrix} D & G^T \\ G & A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta T \end{bmatrix} = 0, \tag{3.87}$$

trong đó:

$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad G = \begin{bmatrix} G_{d1} & G_{d2} & 0 \\ G_{t1} & 0 & G_{t2} \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} A_d & 0 \\ 0 & A_t \end{bmatrix};$$

$$\Delta U = \begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta r_{d2} \\ \Delta U_{t2} \end{bmatrix}; \quad \Delta S = \begin{bmatrix} \Delta S_d \\ \Delta S_t \end{bmatrix}; \quad \Delta P = \begin{bmatrix} \Delta q_1 \\ \Delta P_{d2} \\ \Delta q_{t2} \end{bmatrix}; \quad \Delta T = \begin{bmatrix} \Delta T_d \\ \Delta T_t \end{bmatrix}. \tag{3.88}$$

Khi ma trận A không suy biến, từ nhóm phương trình thứ hai của hệ (3.87), ta có:

$$\Delta S = -A^{-1}(G\,\Delta U + \Delta T).$$

Sau khi thay vào nhóm phương trình thứ nhất ta được hệ phương trình duy nhất có hình thức giống như hệ phương trình quen thuộc trong phương pháp chuyển vị:

$$K\,\Delta U = \Delta q_*, \tag{3.89}$$

trong đó:

$$K = G^T A^{-1} G - D, \tag{3.90}$$

$$\Delta q_* = \Delta P - G^T A^{-1}\,\Delta T, \tag{3.91}$$

được gọi là ma trận độ cứng của hệ liên hợp và vectơ tải trọng quy đổi.

Giải hệ phương trình (3.89) ta được:

$$\Delta U = K^{-1}\,\Delta q_*. \tag{3.92}$$

ΔU là vectơ có dạng chia khối, chứa các gia số chuyển vị nút của hệ (bao gồm cả nút chung và nút riêng của hai hệ thành phần). Với các nút chỉ liên kết các phần tử dây thì có 3 thành phần chuyển vị thẳng; còn với các nút có liên kết với bất kỳ một phần tử thanh nào thì có thêm ba thành phần chuyển vị xoay.

Khi thiết lập hệ phương trình thay đổi trạng thái của kết cấu liên hợp ta đã giả thiết chọn trạng thái xuất phát là trạng thái ban đầu; về nguyên tắc, các nguyên nhân tác dụng tăng dần từng bước đủ nhỏ cho đến giá trị cuối cùng. Giá trị của các vectơ gia số tải trọng nút và biến dạng dọc trục được xem là đủ nhỏ nếu quá trình lặp hội tụ; thường sử dụng ngay giá trị của các tác nhân ở trạng thái thay đổi làm bước tải trọng ΔP và ΔT. Nếu quá trình lặp không hội tụ thì có thể xảy ra hai khả năng sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

• Nếu chọn được một hệ số thích hợp λ $(0 < \lambda < 1)$, (về thực chất là giảm bước tải trọng) để sao cho với các gia số tác nhân $\lambda\Delta P$, $\lambda\Delta T$ ta thu được kết quả với độ chính xác tuỳ ý tức là xác định được trạng thái mới của hệ ứng với các gia số tác nhân đã thực hiện (đôi khi còn phải tiếp tục thực hiện thêm một lần giảm bước tải trọng nữa).

• Trường hợp khi thừa số $\lambda \to 0$ mà cũng không đạt được sự hội tụ của phép lặp, điều đó có nghĩa là trạng thái ban đầu của kết cấu đã ở trạng thái giới hạn về ổn định.

Giả thiết là hệ liên hợp ở trạng thái ban đầu là ổn định (quá trình lặp là hội tụ) thì cách giải bài toán khi hệ chịu các nguyên nhân đã cho được thực hiện theo trình tự như sau:

1. Xác định các đại lượng ở trạng thái ban đầu:

◇ Các ma trận của hệ lưới dây: S_d; G_{d1}; G_{d2}; P_{d2}; T_d.

◇ Các ma trận của hệ thanh đàn hồi: A; S_t; G_{t1}; G_{t2}; T_t.

◇ Các tải trọng tương thích theo các công thức sau:

$$q_1 = -G_{d1}^T S_d - G_{t1}^T S_t; \qquad P_{d2} = -G_{d2}^T S_d; \qquad q_{t2} = -G_{t2}^T S_t .$$

2. Xác định các đại lượng ở trạng thái thay đổi của hệ liên hợp:

◇ Chu trình lặp thứ nhất:

• Xem trạng thái ban đầu là trạng thái xuất phát.

• Lập ma trận độ cứng của hệ liên hợp tương ứng với các số liệu trạng thái ban đầu theo (3.86):

$$K = G^T A^{-1} G - D.$$

với các ma trận thành phần tìm được theo (3.84).

• Gia số của vectơ tải trọng quy đổi được xác định từ gia số của các tác nhân tác dụng:

$$\Delta q_* = \{ \Delta q_1 \quad \Delta P_{d2} \quad \Delta q_{t2} \quad \Delta T_d \quad \Delta T_t \}$$

• Giải hệ phương trình (3.89) để xác định vectơ $\Delta U^{(1)}$ là các chuyển vị nút của hệ ở trạng thái thay đổi tương ứng với chu trình thứ nhất.

• Xác định các ma trận đặc trưng hình học và ma trận nội lực trong hệ ở trạng thái tương ứng (sau chu trình lặp thứ nhất):

$$G_{d1}^{(1)}; \quad G_{d2}^{(1)}; \quad G^{(1)}; \quad S_d^{(1)} = S_d + \Delta S_d^{(1)}; \quad S_t^{(1)} = S_t + \Delta S_t^{(1)}.$$

◇ Chu trình lặp thứ i (với $i \geq 2$):

• Xem trạng thái vừa xác định được ở chu trình trước (thứ $i-1$) là trạng thái xuất phát.

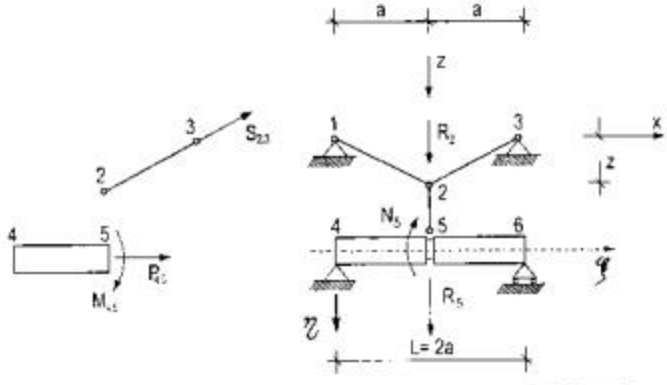
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Xác định ma trận độ cứng của hệ liên hợp $\boldsymbol{K}^{(i-1)}$ và vectơ tải trọng quy đổi $\Delta \boldsymbol{q}_*^{(i-1)}$ tương ứng với ma trận $\boldsymbol{G}^{(i-1)}$ vừa tìm được ở chu trình thứ $i-1$ theo các công thức (3.90) và (3.91):
- Giải hệ phương trình (3.89) để xác định vectơ $\Delta \boldsymbol{U}^{(i)}$ là các chuyển vị nút của hệ ở trạng thái thay đổi tương ứng với chu trình thứ i.
- Kiểm tra mức độ chính xác của phép lặp:
  Nếu kết quả chưa hội tụ thì cần xem trạng thái vừa tìm được là trạng thái xuất phát và tiếp tục thực hiện thêm các chu trình cho đến khi đạt được độ chính xác yêu cầu tức là khi vectơ sai số nhỏ hơn độ chính xác cho phép.
  Nếu kết quả đã hội tụ thì kết thúc phép lặp. Trạng thái mới tìm được trong chu trình này chính là trạng thái cần tìm của hệ tương ứng với các gia số tác nhân đã thực hiện. Ta nhận được kết quả là nội lực và chuyển vị ở trạng thái mới.

Để minh hoạ cho phương pháp này ta khảo sát một ví dụ đơn giản.

Ví dụ (lấy theo[35]): Giải bài toán hệ liên hợp (gồm dây và thanh cùng làm việc đồng thời) cho trên hình 3.36 với các số liệu sau: $a = 10$ m; $f = 1$ m; $E_dF = 80.10^6$ kN; $E_tJ = 1{,}5.10^6$ kN m^2; $P_d = N_2 + N_5 = 20.10^3$ kN; $q_t = 0$.

Hình 3.36



1. Xác định các ma trận ở trạng thái ban đầu: $l_{1,2} = l_{2,3} = \sqrt{a^2 + z^2} = l$.

$$\boldsymbol{G}_{d1}^T = \frac{z}{l}\begin{bmatrix} -1 & -1 \end{bmatrix}; \qquad \boldsymbol{G}_{d2} = \boldsymbol{0}; \qquad \boldsymbol{S}_d^T = \begin{bmatrix} s_{1,2} & s_{2,3} \end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{A}_d = \frac{l}{E_d F}\begin{bmatrix} 1 & \\ & 1 \end{bmatrix}; \qquad \boldsymbol{A}_t = \frac{a}{6E_t J}\begin{bmatrix} 2a^2 & 3a & & \\ 3a & 6 & & \\ & & 2a^2 & 3a \\ & & 3a & 6 \end{bmatrix};$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$G_{t1} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}; \qquad G_{t2} = \begin{bmatrix} a & \\ 1 & -1 \\ & a \\ & 1 \quad -1 \end{bmatrix}$$

$$D_{11} = -\frac{a}{l^3}\left(s_{1,2} + s_{2,3}\right); \qquad D_{12} = D_{21} = D_{22} = 0.$$

2. Xác định các đại lượng ở trạng thái thay đổi của hệ liên hợp:

Chọn các gia số tác nhân của hệ liên hợp:

$$\Delta q* = 20.10^3 \text{ kN}; \qquad \Delta t_d = \Delta T_t = 0.$$

Quá trình lặp được coi là hoàn thành ở bước thứ i nào đó khi chuẩn của vectơ sai số:

$$\left\|\Delta q_l^{(i)}\right\| \le \varepsilon_q = \left\|P_d + \Delta q_l\right\| 10^{-3}; \qquad \left\|\Delta T_d^{(i)}\right\| \le \varepsilon_t = 0{,}01 \text{ mm},$$

với chuẩn của vectơ [**a**] được xác định theo công thức: $\|\boldsymbol{a}\| = \sqrt{\boldsymbol{a}^T \cdot \boldsymbol{a}}$

◇ Chu trình lặp thứ nhất:

Các giá trị gần đúng của các vectơ trạng thái ở bước lặp thứ nhất:

$$\Delta U_l^{(1)} = 0{,}107278 \text{ m}; \qquad \Delta S_d^{(1)} = 84972{,}619\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Vectơ gia số tác nhân tương ứng:

$$\Delta q_l^{(1)} = -1789{,}670 \text{ kN}; \qquad \Delta t_d^{(1)} = -0{,}566.10^{-3}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ m}.$$

◇ Chu trình lặp thứ hai:

Với các gia số tác nhân tìm được từ chu trình lặp thứ nhất, sau khi giải hệ phương trình trạng thái lần thứ 2 ta tìm được các véc tơ trạng thái thay đổi của hệ liên hợp như sau:

$$\Delta U_l^{(2)} = -0{,}0011682 \text{ m}; \qquad \Delta S_d^{(2)} = -5720{,}077\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ kN}.$$

Và vectơ gia số tác nhân mới tính được từ sai số của các tác nhân đã cho (chính là vectơ sai số)

$$\Delta q_l^{(2)} = -13 \text{ kN}; \qquad \Delta t_d^{(2)} = -6{,}7.10^{-6}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Như vậy, ta có thể xem quá trình giải bài toán đã hoàn thành vì vectơ sai số đã nhỏ hơn trị số yêu cầu:

$$\left\|\Delta q_l^{(2)}\right\| = 13 \text{ kN} \le \varepsilon_q = 40 \text{ kN}; \quad \left\|\Delta t_d^{(2)}\right\| = 0{,}0095 \text{mm} \le \varepsilon_t = 0.01 \text{ mm}.$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

c) Thuật toán và chương trình tính trạng thái thay đổi của hệ liên hợp.

Trên cơ sở thuật toán của phương pháp lặp để xác định trạng thái thay đổi của hệ lưới dây và hệ thanh liên hợp làm việc đồng thời đã trình bày ở trên, trong [32] tác giả đã lập chương trình tính toán bằng ngôn ngữ PASCAL mang tên "TTTĐ", chương trình được thực hiện trên các máy PC thông dụng.

Sau đây là các bước chính để tính toán các đặc trưng ở trạng thái thay đổi của hệ liên hợp:

Bước 1: Chuẩn bị số liệu

✣ Các số liệu về nút:

- Số nút n : bao gồm các nút chỉ có phần tử dây n_d và các nút có phần tử thanh n_t ; $n = n_d + n_t$.
- Các tọa độ nút n : $3 \times n$ tọa độ trong hệ tọa độ chung.

Có thể sử dụng chương trình TTBĐ để tìm các kết quả về: tọa độ nút (các nút của hệ dây, hệ thanh và nút chung của hai hệ), các điểm nút biên (chính là n_t), hệ lực tác động tại nút (kể cả tại biên cấp).

✣ Các số liệu về phần tử, bao gồm:

- Số phần tử dây, số phần tử thanh.
- Số loại dây (khi các phần tử dây có đặc trưng tiết diện khác nhau).
- Số loại thanh (khi các phần tử thanh có đặc trưng tiết diện khác nhau).
- Lực căng trước trong các phần tử $S_{j,k}$ (của các đoạn dây, kể cả biên cáp).
- Chiều dài $l_{j,k}$ của các phần tử dây và thanh.
- Số thứ tự nút đầu (j) và số thứ tự nút cuối (k).
- Đặc trưng tiết diện của dây: độ cứng khi kéo $E_d F_{j,k}$.

  Đặc trưng tiết diện của thanh: độ cứng khi kéo nén $E_t F_{j,k}$; độ cứng khi uốn $E_t J_{j,k}$ quanh các trục ζ, η trong hệ tọa độ địa phương; độ cứng khi xoắn $GJ_{j,k}$ quanh trục ξ trong hệ tọa độ địa phương (hình 3.36).

  Để thuận tiện cho việc lập chương trình ta đưa vào khái niệm ma trận thông tin của các phần tử (bao gồm các đoạn dây và các thanh). Mỗi phần tử j, k của ma trận thông tin chứa các thông tin về một dây hoặc thanh j, k trong hệ liên hợp.

✣ Các số liệu về tải trọng nút (số thứ tự nút có tải, trị số và phương chiều của các thành phần tải trọng).

✣ Các số liệu về biên (số thứ tự nút biên, các đặc trưng của biên).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bước 2: Từ các số liệu đầu vào, chương trình sẽ tự động tính được các phần tử ma trận độ cứng của các đoạn dây theo công thức (3.58), (3.59). Ma trận $\boldsymbol{K}_{j,k}$ của phần tử dây có kích thước [6 × 6] tương ứng với ba bậc tự do của mỗi đầu thanh. Ta chia ma trận này thành 4 khối như sau:

$$\boldsymbol{K}_{j,k} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{K}^0 & -\boldsymbol{K}^0 \\ -\boldsymbol{K}^0 & \boldsymbol{K}^0 \end{bmatrix}_{j,k}$$

trong đó:
$$\boldsymbol{K}^0_{j,k} = \left(\frac{E_d F_{j,k}}{l_{0j,k}} - \frac{S_{j,k}}{l_{j,k}} \right) \boldsymbol{e}_{j,k} \boldsymbol{e}^T_{j,k} + \frac{S_{j,k}}{l_{j,k}} E .$$

Ta thấy ma trận cứng của phần tử dây phụ thuộc nội lực trong dây và được viết trong hệ toạ độ chung.

Bước 3 : Xác định ma trận độ cứng của các thanh. Ma trận này có kích thước [12 × 12] ứng với 6 bậc tự do tại nút đầu và 6 bậc tự do tại nút cuối của thanh.

Ma trận độ cứng của thanh có hai đầu liên kết cứng vào nút (trường hợp thanh liên kết vào nút bằng khớp ta sẽ điều chỉnh lại cho phù hợp) trong hệ toạ độ địa phương (các ma trận độ cứng của thanh trong hệ toạ độ địa phương được ký hiệu bổ sung gạch ngang ở bên trên) được chia thành bốn khối có dạng như sau:

$$\overline{\boldsymbol{K}}_{j,k} = \begin{bmatrix} \overline{\boldsymbol{K}}_{AA} & \overline{\boldsymbol{K}}_{AB} \\ \overline{\boldsymbol{K}}_{BA} & \overline{\boldsymbol{K}}_{BB} \end{bmatrix}_{j,k}, \quad \text{trong đó:} \quad \overline{\boldsymbol{K}}_{BA} = \overline{\boldsymbol{K}}^T_{AB};$$

$$\overline{\boldsymbol{K}}_{AA} = \begin{bmatrix} \frac{EF}{l} & & & & & \\ & \frac{12EJ_\zeta}{l^3} & & & & \frac{6EJ_\zeta}{l^2} \\ & & \frac{12EJ_\eta}{l^3} & & -\frac{6EJ_\eta}{l^2} & \\ & & & \frac{GJ_\xi}{l} & & \\ & & -\frac{6EJ_\eta}{l^2} & & \frac{4EJ_\eta}{l} & \\ & \frac{6EJ_\zeta}{l^2} & & & & \frac{4EJ_\zeta}{l} \end{bmatrix};$$

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\overline{K}_{AB} = \begin{bmatrix} -\frac{EF}{l} & & & & & \\ & -\frac{12EJ_\zeta}{l^3} & & & & \frac{6EJ_\zeta}{l^2} \\ & & -\frac{12EJ_\eta}{l^3} & & -\frac{6EJ_\eta}{l^2} & \\ & & & -\frac{GJ_\xi}{l} & & \\ & & \frac{6EJ_\eta}{l^2} & & \frac{4EJ_\eta}{l} & \\ & -\frac{6EJ_\zeta}{l^2} & & & & \frac{4EJ_\zeta}{l} \end{bmatrix};$$

$$\overline{K}_{BB} = F^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{EF}{l} & & & & & \\ & \frac{12EJ_\zeta}{l^3} & & & & -\frac{6EJ_\zeta}{l^2} \\ & & \frac{12EJ_\eta}{l^3} & & \frac{6EJ_\eta}{l^2} & \\ & & & \frac{GJ_\xi}{l} & & \\ & & \frac{6EJ_\eta}{l^2} & & \frac{4EJ_\eta}{l} & \\ & -\frac{6EJ_\zeta}{l^2} & & & & \frac{4EJ_\zeta}{l} \end{bmatrix}$$

Các đại lượng trong các ma trận trên đã được giải thích khi giới thiệu công thức (3.82).

Để cho đơn giản, trong chương trình ta đã xây dựng các ma trận độ cứng $\overline{K}_{j,k}$ của thanh j,k với giả thiết thanh có hai đầu liên kết cứng vào nút. Nếu liên kết giữa thanh và nút có một thành phần nào đó bằng không hay không thể truyền thành phần mômen quay quanh trục nào đó qua liên kết (trường hợp liên kết khớp) thì ta cần sửa lại ma trận độ cứng đó thành ma trận độ cứng tương ứng $\overline{K}^*_{j,k}$. Giả sử thành phần theo phương ν của liên kết không truyền được thành phần nội lực, theo Z. Gáspár [8] ta sửa lại ma trận độ cứng $\overline{K}_{j,k}$ thành $\overline{K}^*_{j,k}$ của thanh j,k theo công thức sau:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

$$\overline{K}^{*}_{j,k} = \overline{K}_{j,k} - \frac{1}{k_{vv}} K_v K_v^T$$

trong đó:

k_{vv} – phần tử trên hàng thứ v và cột thứ v của ma trận $\overline{K}_{j,k}$;

K_v – vectơ có các phần tử tương ứng với các phần tử trên cột thứ v của ma trận $\overline{K}_{j,k}$;

Để chuyển ma trận độ cứng của thanh từ hệ toạ độ địa phương về hệ toạ độ chung (các ma trận trong hệ toạ độ chung được ký hiệu không có gạch ngang ở bên trên) ta sử dụng phép chuyển như sau:

$$K_{j,k} = \Theta_{j,k} \overline{K}_{j,k} \Theta^{T}_{j,k}$$

trong đó $\Theta_{j,k}$ là ma trận chuyển toạ độ của thanh j,k từ hệ tọa độ địa phương sang hệ tọa độ chung, kích thước [6 × 6]:

$$\Theta_{j,k} = \begin{bmatrix} \Theta_{0;j,k} & \\ & \Theta_{0;j,k} \end{bmatrix}; \quad \text{với:} \quad \Theta_{0;j,k} = \{ e_{\xi;j,k} \;\; e_{\eta;j,k} \;\; e_{\zeta;j,k} \}.$$

$e_{\xi;j,k}$, $e_{\eta;j,k}$, $e_{\zeta;j,k}$ là các vectơ đơn vị của thanh j, k đối với hệ toạ độ địa phương ξ, η, ζ.

Bước 4: Xác định ma trận độ cứng chung của toàn hệ bằng cách tổ hợp các ma trận độ cứng của các phần tử.

Các nút của hệ liên hợp gồm hai loại sau:

- Nút chỉ có các dây quy tụ vào sẽ có 3 bậc tự do trong không gian tương ứng với ba thành phần chuyển vị thẳng.
- Nút có thanh quy tụ vào (có thể cả dây) sẽ có 6 bậc tự do trong không gian, tương ứng với ba thành phần chuyển vị thẳng và ba thành phần chuyển vị xoay.

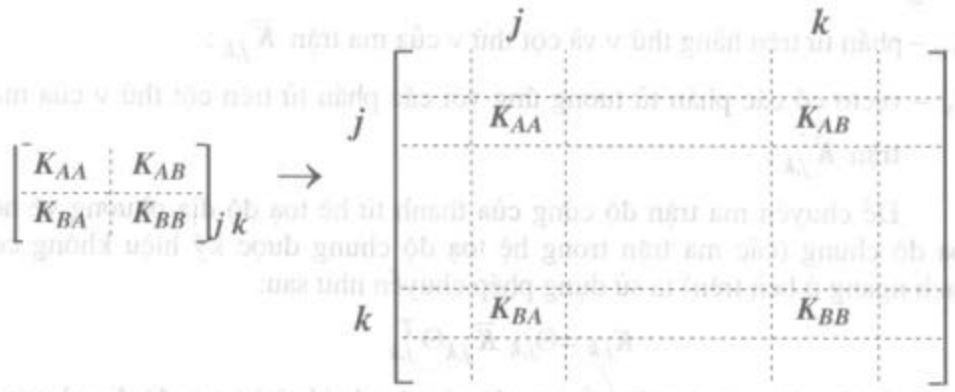
Ta dễ dàng nhận thấy: khi liên kết phần tử dây vào nút có 6 bậc tự do của hệ thanh thì chúng chỉ ảnh hưởng đến các thành phần chuyển vị thẳng tương ứng; còn khi liên kết phần tử thanh vào nút của hệ liên hợp thì chúng ảnh hưởng đến cả các thành phần chuyển vị xoay.

Khi lập ma trận độ cứng của toàn hệ, các khối của ma trận độ cứng của các phần tử j,k (cả phần tử dây và phần tử thanh) được xắp xếp theo sơ đồ trên hình 3.37.

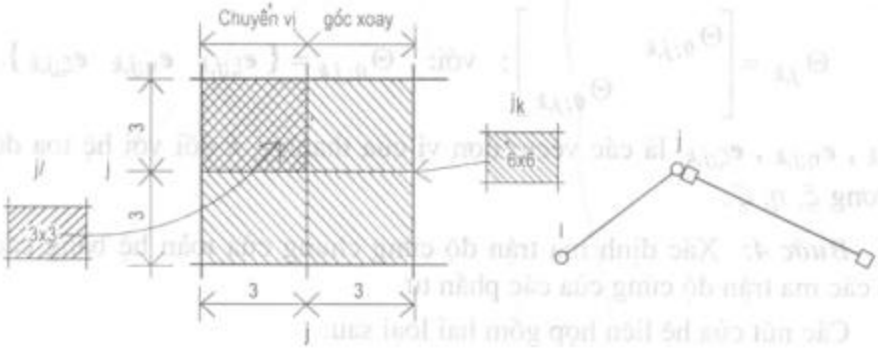
Trên hình 3.38 trình bày cụ thể trình tự sắp xếp trong các khối của ma trận độ cứng tổng thể. Giả sử nút thứ j của hệ có liên kết phần tử dây j, l và

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

phần tử thanh j, k như trên hình 3.38, lúc này giá trị các phần tử của các khối chéo chính của ma trận tổng thể sẽ là tổng giá trị tương ứng của các khối của ma trận cứng của phần tử dây và phần tử thanh $K_{j,l}$ và $K_{j,k}$.



Hình 3.37



Hình 3.38. Sơ đồ sắp xếp khối j,j của ma trận cứng tổng thể từ các ma trận cứng của dây và thanh quy tụ vào nút

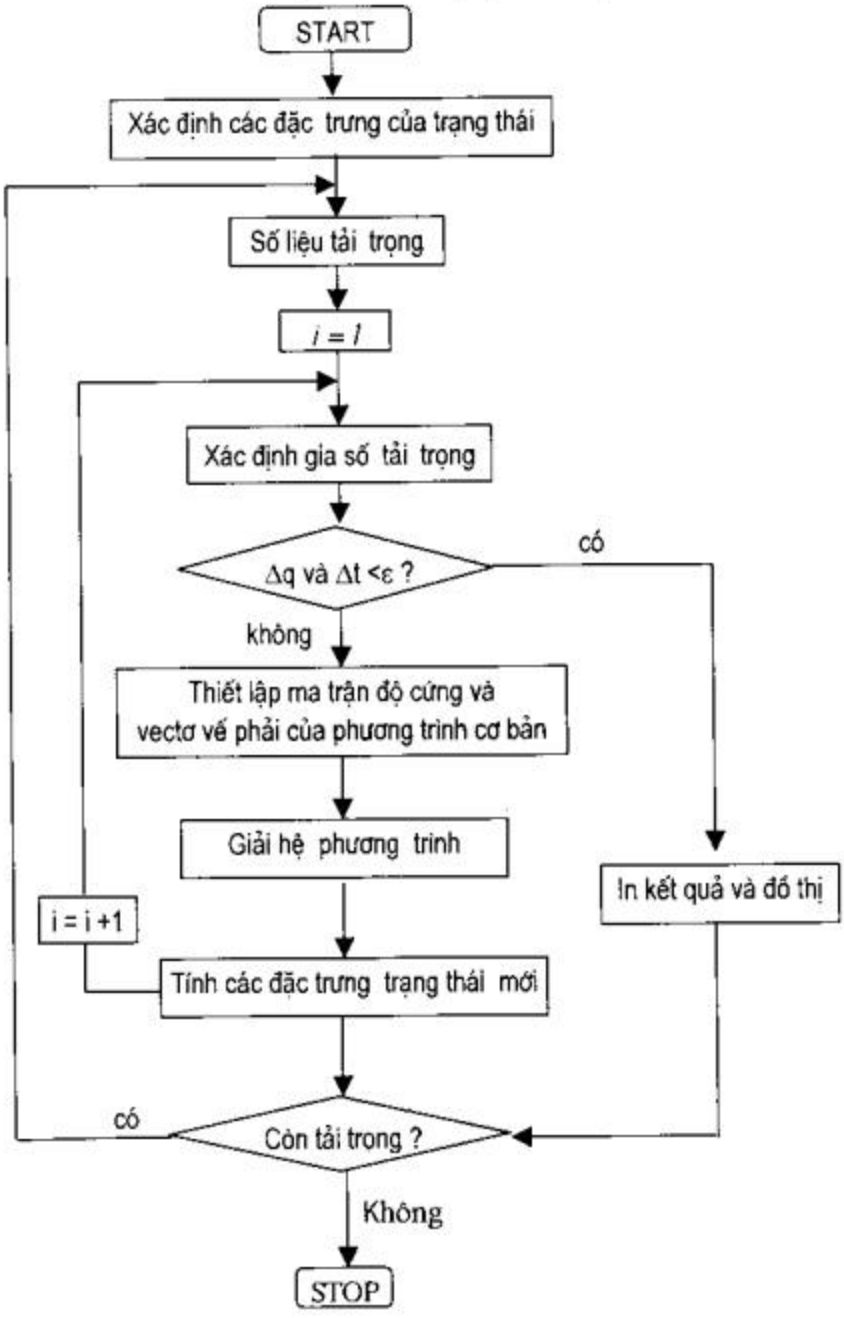
Ta thấy ma trận độ cứng tổng thể của hệ có tính đối xứng và có dạng vệt nên có thể vận dụng tính chất này để giảm nhẹ khối lượng tính toán cũng như giảm nhẹ yêu cầu về bộ nhớ trong quá trình giải hệ phương trình đại số tuyến tính.

Bước 5: Sử dụng điều kiện biên của bài toán.

Nếu tại nút thứ j của hệ có thành phần chuyển vị nào đó đã biết bằng không, hoặc có liên kết ngoài theo một phương nào đó thì ta gán giá trị lớn mà máy có thể chấp nhận được cho phần tử tương ứng trên đường chéo chính của ma trận độ cứng của hệ. Trong trường hợp liên kết đàn hồi ta cần đưa vào hệ số đàn hồi tương ứng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

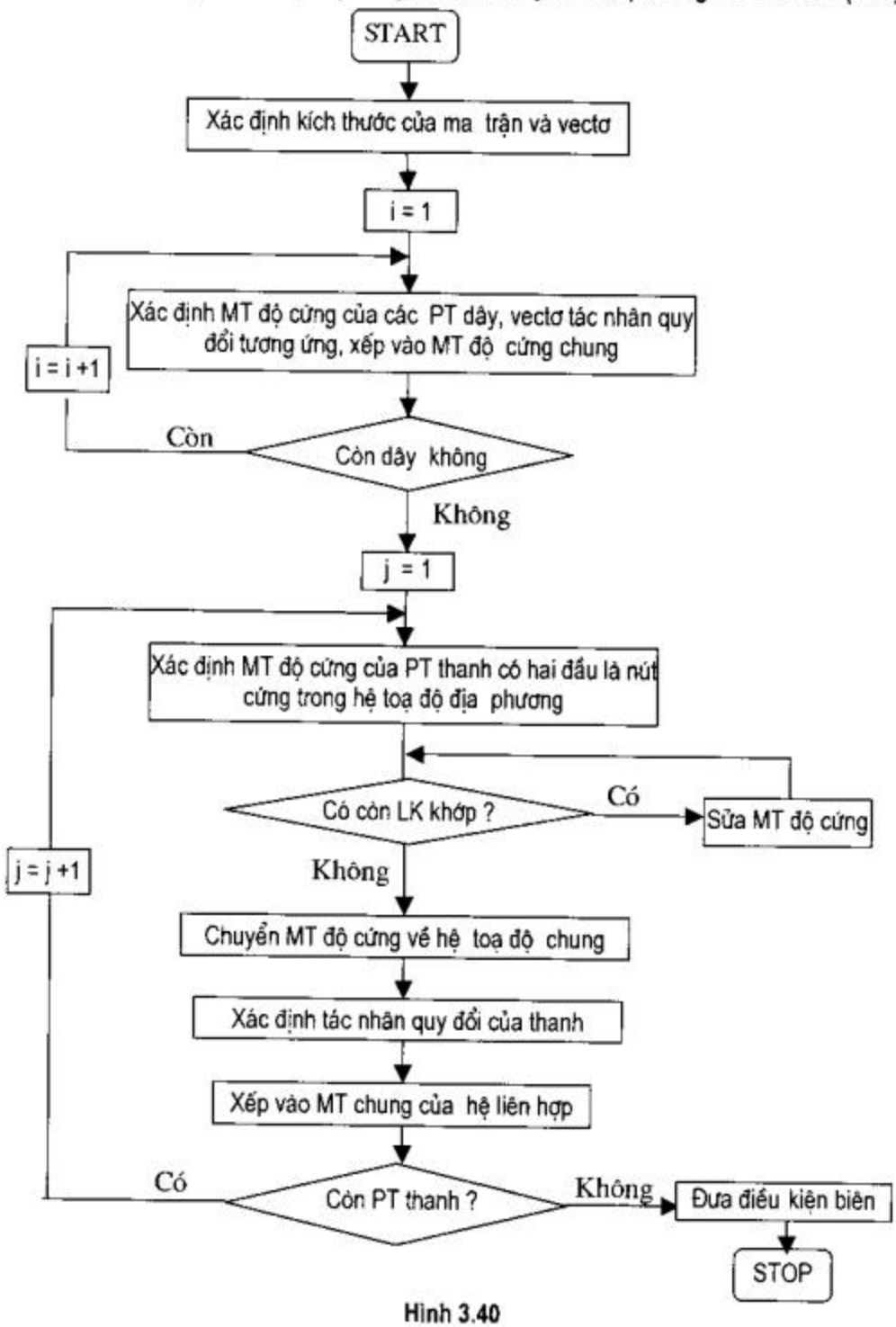
Sơ đồ khối chương trình tính trạng thái thay đổi "*TTTĐ*"



Hình 3.39

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Sơ đồ khối xác định ma trận độ cứng và vectơ vế phải của phương trình cơ bản (3.89)



Hình 3.40

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bước 6: Xây dựng vectơ tải trọng quy đổi:

- Vectơ tải trọng quy đổi của phần tử dây.
- Vectơ tải trọng quy đổi của phần tử thanh.

Bước 7: Giải hệ phương trình đại số tuyến tính.

Chương trình cho kết quả dưới dạng bảng số liệu hoặc đồ thị.

Trên hình 3.39 là sơ đồ khối của chương trình giải bài toán hệ liên hợp bằng phương pháp lặp.

Trên hình 3.40 là sơ đồ khối của đoạn chương trình xác định ma trận độ cứng và vectơ vế phải (tải trọng quy đổi) của phương trình cơ bản (3.89).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

CHƯƠNG 4

MỘT SỐ CHÚ Ý TRONG THIẾT KẾ KẾT CẤU MÀNG MỎNG

4.1. Quan điểm chung về thiết kế kết cấu màng mỏng

Về mặt tĩnh học, màng mỏng là kết cấu chịu kéo theo hai phương trong mặt của màng. Kết cấu màng được sử dụng để làm các nhiệm vụ sau: kết cấu chịu lực (chỉ chịu kéo, không có khả năng chịu mômen uốn), đồng thời cũng là kết cấu bao che ngăn cách công trình với môi trường bên ngoài.

Trong kết cấu màng mỏng, vật liệu chịu kéo theo hai phương, ta có thể tận dụng tối đa khả năng làm việc của vật liệu trên toàn bộ diện tích màng. Do đó, sử dụng vật liệu màng sẽ kinh tế hơn so với các loại vật liệu truyền thống khác. Ngoài tính kinh tế, kết cấu màng mỏng còn có những ưu điểm khác như: có thể tạo dáng kiến trúc đẹp, có tính kín khí, kín nước, màu sắc phong phú, có khả năng chịu được sự ăn mòn của hoá chất... Hơn nữa, do trọng lượng nhẹ (khoảng 1 kg/m^2) nên vận chuyển lắp dựng dễ dàng và tạo ra khả năng dễ dàng di chuyển toàn bộ công trình.

Kết cấu màng mỏng cũng có những nhược điểm cố hữu khó khắc phục được như: cách nhiệt kém, dễ bị hư hại, tuổi thọ không cao do vật liệu bị lão hoá, bạc màu dưới tác động của ánh sáng... Đó là những điều cần lưu ý đến khi sử dụng.

Kết cấu màng mỏng phù hợp với các công trình được dùng để làm nhà kho, nhà lưới trồng cây, nhà triển lãm, khu vui chơi giải trí, nhà thi đấu thể thao, bể bơi, xilô, bể chứa lớn ... Với các công trình có yêu cầu về cách nhiệt ta có thể sử dụng vỏ nhiều lớp với chất cách nhiệt ở giữa là không khí hoặc xốp cách nhiệt có giá thành hạ. Kết cấu màng mỏng còn được ứng dụng rất hiệu quả để làm mái che hàng trên các tàu thuỷ lớn.

Các mái khi nén có khả năng phân bố lực đều nên sử dụng vật liệu rất tiết kiệm, có thể vượt được nhịp rất lớn. Kết cấu này đã được sử dụng để che phủ những sân vận động, công viên lớn và cũng đã có những ý tưởng sử dụng loại kết cấu này để che phủ toàn bộ một thành phố. Mái che có thể tự động điều khiển kích thước theo yêu cầu hay theo thời tiết cũng đã được thực hiện như mái che sân vận động Zaragora ở Tây Ban Nha.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Không chỉ các mái khí nén mới có lợi thế về giá thành, các mái màng căng cũng có lợi thế lớn so với vật liệu truyền thống, nhiều khi giá thành chỉ còn 1/3.

Trong thi công kết cấu mái màng, điều quan trọng là thiết kế hợp lý, sử dụng công nghệ liên kết tốt, chế tạo chính xác từ trong phân xưởng.

4.1.1 Các lưu ý trong thiết kế kết cấu màng mỏng

a) Kết cấu màng căng trước

Mô hình tính kết cấu được lựa chọn cho kết cấu màng căng trước thường là hệ lưới dây. Dây được tạo ra từ các sợi của cốt vải trong kết cấu và chỉ chịu được lực kéo. Do đó, kết cấu màng phù hợp với các tải trọng phân bố, tác dụng vuông góc với bề mặt kết cấu. Màng mỏng có dạng kết cấu vỏ cong hai chiều và có khả năng tiếp nhận ứng suất theo hai phương. Nếu trên kết cấu chỉ tồn tại tải trọng tác dụng theo một phương như trường hợp bể chứa chất lỏng, xilô chứa vật liệu rời thì có thể sử dụng kết cấu có mặt cong theo một chiều.

Tuy nhiên, trong trường hợp hệ làm việc tương ứng với trạng thái ứng suất theo một phương ta vẫn nên sử dụng kết cấu dạng mặt cong hai chiều vì khả năng chịu tải của loại mái này lớn hơn. Ví dụ, kết cấu dạng hình cầu chịu áp lực khí nén từ bên trong có khả năng chịu lực gấp đôi so với kết cấu cong một chiều (như vỏ trụ) có cùng bán kính.

Như vậy, theo quan điểm kết cấu thì hình dạng phù hợp nhất của các công trình sử dụng màng căng là dạng mặt cong hai chiều. Điều này cũng đúng với mái được tạo bởi một màng mỏng căng phẳng. Quan sát một mái có kích thước nhỏ được căng phẳng, dưới tác động của tải trọng màng bị biến dạng, võng và hình thành dạng một mặt cong cần thiết theo hai phương. Màng mỏng bị dãn và có độ võng theo dạng đường dây võng cho đến khi nội lực trong màng không cân bằng được với tải trọng ngoài. Nếu độ dãn dài của màng không đủ để tạo ra độ võng theo dạng tương tự như đường dây võng thì sẽ bị đứt.

Độ cong của mái được quyết định bởi độ lớn của tải trọng và tính chất cơ lý của vật liệu (cường độ, môđun biến dạng, độ dãn), còn lực kéo trong màng phụ thuộc độ võng của màng. Trong một công trình mái màng chỉ có thể chọn dùng một vài loại vật liệu màng có cường độ kéo đứt phù hợp, vì sẽ gặp khó khăn khi sử dụng hỗn hợp nhiều loại vật liệu có cường độ chịu lực khác nhau. Sau khi đã biết các đặc trưng của vật liệu và tải trọng tác dụng, ta sơ bộ chọn độ cong (độ võng) của mái. Như vậy hình dạng mái màng căng không được xác định trước một cách tuỳ ý mà phụ thuộc vào tải trọng. Đó là điều khác biệt so với các kết cấu truyền thống là có thể xác định trước kích thước và từ đó tính toán để suy ra các yêu cầu về vật liệu, tiết diện ...

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Khi chịu tải trọng có phương, chiều tác dụng thay đổi ví dụ như áp lực gió (gió đẩy và gió hút) thì cần tạo ứng suất trước trong kết cấu để có thể chịu được tải trọng ngược chiều và tránh hiện tượng mất ổn định khí động.

Lực căng trước trong các kết cấu màng góp phần định dạng kết cấu, triệt tiêu những điểm nhăn tồn tại khi chế tạo và tạo cho bề mặt kết cấu được trơn tru, cong đều, không bị biến dạng quá lớn và nhăn khi chịu các lực tác động thay đổi chiều như gió và các tải trọng khác.

Cuối cùng, mục đích của bài toán đặt ra là xác định được mức độ của lực căng trước trong màng mỏng để sao cho dưới tác dụng của bất kỳ tải trọng nào trong hệ cũng không phát sinh ứng lực nén. Việc căng trước không chỉ đáp ứng yêu cầu về mặt chịu lực của kết cấu mà về quan điểm thẩm mỹ cũng rất cần thiết. Cũng không thể tăng thái quá lực căng trước trong kết cấu (phụ thuộc vật liệu và kết cấu) vì lực căng trước cũng chính là tải trọng tác dụng trên kết cấu và làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu.

Khi xác định hình dạng ban đầu của kết cấu, chỉ nên thay đổi các lực tác dụng trên bề mặt mái với mức độ nhỏ vì như ta đã biết, cường độ của màng mỏng không thể lựa chọn tuỳ ý và trong một kết cấu màng thường chỉ sử dụng một loại vật liệu; điều đó có nghĩa là cường độ chịu lực của màng không đổi. Với các mái màng mỏng dạng trụ tròn hoặc hình cầu chịu áp lực khí nén từ bên trong thì nội lực trong toàn mái hầu như không đổi. Với một bể chứa dạng giọt nước, ứng suất tại các phân tố bất kỳ trên thành bể là như nhau. Như vậy tạo ra điều kiện tận dụng hết khả năng chịu lực của vật liệu.

Vấn đề quan trọng cần lưu tâm trong thiết kế mái màng mỏng là việc hình thành các túi nước khi chịu tải trọng nước đọng (tải trọng tuyết ở các xứ lạnh). Trong chương trước ta đã biết là các phần mái gần với mặt phẳng nằm ngang có khả năng võng xuống, nước không thoát được sẽ tụ lại và hình thành túi nước ngày một lớn hơn, cuối cùng dẫn tới phá hoại kết cấu. Để tránh hiện tượng này, tốt nhất là ngay từ khi xác định hình dạng ban đầu của kết cấu, cần chú ý để sao cho trong quá trình sử dụng không xuất hiện các túi nước. Đôi khi, do các yêu cầu khác không thể tránh được các phần mái gần phẳng, lúc này ta thường dùng các dây căng để nâng các phần mái có khả năng tạo túi nước. Tại các điểm lõm ta cũng có thể thu gom nước và dẫn vào trong, tuy nhiên biện pháp này cũng gây nhiều khó khăn cho việc chế tạo, cắt may mái.

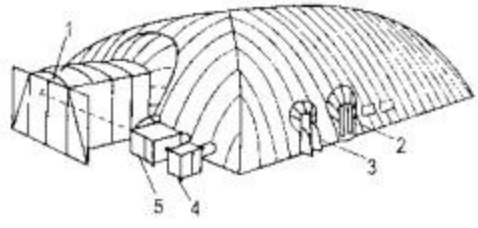
b) Kết cấu mái màng khí nén

Từ rất lâu, con người đã sử dụng kết cấu màng khí nén để làm khinh khí cầu, đồ chơi, xuồng cao su ... Sau này, với sự phát triển của vật liệu màng, công nghệ liên kết (hàn, dán) cũng như về lý thuyết tính toán, ta có thể sử dụng màng mỏng làm kết cấu mái với chi phí về vật liệu ít nhất.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bản chất của kết cấu mái màng khí nén là sử dụng áp lực khí nén từ bên trong lớn hơn áp suất khí quyển để làm căng mái từ bên trong và nhờ đó tiếp nhận được toàn bộ tải trọng ngoài mà vẫn giữ được hình dạng của kết cấu mái. Như vậy, với một áp lực khí nén khoảng *0,01* bar (≈ *0,01* atm) có thể cân bằng được với tải trọng bên ngoài khoảng *1* kN/m^2. Nếu mái chỉ chịu tải trọng bản thân mà không chịu thêm các lực khác thì ta dễ dàng (tính toán được) thấy là với áp suất *0,01* atm có thể tạo ra một mái hình trụ có nhịp đạt đến *30~40* m. Đạt được điều đó là do khối lượng riêng trung bình của *1* m^2 mặt bằng mái chỉ vào khoảng *1* kg còn đối với các loại vật liệu khác thì ít nhất cũng nặng hơn khoảng 10 lần. Một ưu điểm khác nữa của loại mái này là kết cấu rất đơn giản, việc tháo dỡ mái chỉ cần 1 đến 2 giờ, không cần các thiết bị nâng như cần cẩu mà chỉ cần các quạt gió là có thể dựng được mái. Cần lưu ý là áp suất bình thường của không khí là *1* atm cho nên với sự chênh lệch áp suất trong mái như vậy là khá nhỏ và hầu như không ảnh hưởng đến sinh hoạt bình thường của con người. Vấn đề còn nghi ngại và đang được nghiên cứu là trong điều kiện tác động lâu dài của áp suất trong nhà thì con người chịu ảnh hưởng như thế nào về tâm sinh lý?

Trong suốt thời gian khai thác, mái màng khí nén thường xuyên bị thất thoát áp suất do sự thấm khí qua màng hoặc qua các vị trí liên kết, yêu cầu ra vào và yêu cầu phải thay đổi không khí trong lành cho người sử dụng nên luôn luôn cần đến năng lượng để bổ sung, duy trì áp suất trong nhà. Đây cũng chính là khuyết điểm của loại mái này khi giá năng lượng ngày càng đắt đỏ. Một vấn đề khác cần được đặt ra là làm thế nào để tự động hoá việc điều chỉnh áp suất hơi nhằm có thể chống lại các tác động ngắn hạn và tối ưu hoá tiết kiệm năng lượng. Ví dụ như trường hợp có gió bão thì cần tăng áp suất bên trong của mái để giữ cho công trình ổn định, nếu không mái sẽ biến dạng rất lớn, vỏ màng thậm chí bị lõm vào, cọ sát va đập vào các vật trong nhà làm cho màng mỏng bị rách dẫn đến phá huỷ toàn bộ công trình. Trên hình 4.1 là các bộ phận của một công trình có mái màng sử dụng khí nén.



Hình 4.1. Mái màng khí nén

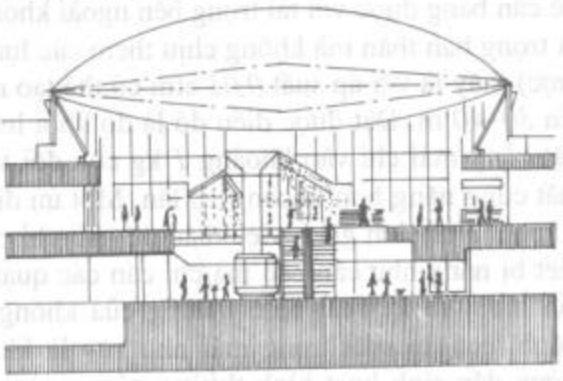
1. Cửa khóa kéo cho ô tô (tự động điều khiển); 2. Cửa quay dành cho người; 3. Cửa thoát hiểm; 4. Quạt nén khí ; 5. Thiết bị sưởi bằng khí nóng .

Một vấn đề khác cần quan tâm khi sử dụng công trình mái khí nén là: các cửa ra vào và các lối đi lại thường phải luôn được đóng kín và dùng các

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

khóa kéo. Ngoài việc chiều dài các khoá kéo thường bị hạn chế, sự ra vào qua cửa có khóa thường tốn thời gian và làm thất thoát áp suất khí trong nhà.

Để tránh các khuyết điểm trên, người ta sử dụng một biến thể của mái khí nén là mái gối hơi hay đệm hơi, như trên hình 4.2.



Hình 4.2. Mặt cắt mái siêu thị Mali, sử dụng gối hơi với nhịp 28 m.

Mái gối hơi được hàn kín và áp suất bên trong gối hơi chỉ phụ thuộc cường độ của vật liệu màng, có thể đạt đến *14,6 ~ 19,5* kN/m^2; trong nhà hoàn toàn không có chênh lệch áp suất nên thất thoát áp suất chỉ còn do nguyên nhân thấm khí qua vật liệu màng mỏng. Gối hơi có thể được đỡ bằng các kết cấu khác và bản thân chúng không những tự ổn định được mà còn có thể chịu lực như các kết cấu thông thường (dầm, vòm ...).

Tuy có thể tránh được các nhược điểm của kết cấu khí nén thông thường nhưng kết cấu gối hơi cũng có những nhược điểm sau:

- Kết cấu gối hơi không tự làm mái che được mà cần có kết cấu đỡ theo phương thẳng đứng để truyền tải trọng xuống đất, ngoài ra còn cần có các vật liệu bao che xung quanh.
- Khi bơm các gối hơi thường có dạng hình chỏm cầu hoặc hình trụ, chúng chỉ có dạng phẳng hơn khi liên kết với vành cứng xung quanh hoặc có các kết cấu đỡ đặt sẵn bên trong.
- Gối khí luôn có hai lớp (đáy và nóc) nên cần gấp đôi khối lượng vật liệu màng để che phủ cùng một diện tích.
- Việc thi công lắp dựng kết cấu sẽ phức tạp và tốn công hơn so với mái dạng khí nén thông thường. Các kết cấu đỡ của nhà dùng mái gối hơi phải được tựa vào vành biên hoặc sử dụng các kết cấu chịu kéo như dây hoặc được chống vào vị trí các kết cấu khác đặt bên trong gối.

Như vậy, mái gối hơi ưu việt hơn mái khí nén nhưng thi công phức tạp hơn và có giá thành đắt hơn.

Như trên đã nói, mái khí nén có thể đạt được chiều dài nhịp *30~40* m ở áp suất chênh lệch *0,01* atm, lúc đó chiều cao tương ứng của mái khoảng *15*

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

đến *20* m (theo [13]). Như vậy, với các không gian lớn hơn, ví dụ một sân vận động thì yêu cầu không gian về chiều cao đến *100~200* m. Để cho công trình có độ cao mái không quá lớn ta dùng các sợi dây cáp với mật độ khá dày để ghìm xuống như trên hình 4.3. Như vậy, tại các phần không gian nhỏ giữa hai dây màng mỏng dễ dàng đáp ứng được yêu cầu chịu lực. Tất nhiên khi đó trong các sợi cáp sẽ phát sinh các lực kéo khá lớn; với cáp thép có cường độ chịu lực cao thì hoàn toàn có thể chịu được những lực kéo này. Để neo các dây cáp này ta có thể sử dụng trọng lượng các kết cấu khác của toà nhà hoặc xây dựng các neo riêng bằng bê tông cốt thép, điều này có thể tăng chi phí xây dựng. Tại Mỹ, năm 1980, đã xây dựng mái sân vận động theo phương pháp này.



Hình 4.3. Các dạng mái màng khí nén nhịp lớn có dây tăng cường.

c) Kết cấu chứa chất lỏng và xilô

Nhóm công trình đặc biệt sử dụng kết cấu màng mỏng là các bể chứa chất lỏng và xilô. Với vật liệu màng có cường độ cao, các bể chứa chất lỏng và xilô sử dụng kết cấu màng đã mở ra khả năng ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp cũng như nông nghiệp. Trong các lĩnh vực này, vật liệu màng mỏng do có trọng lượng nhẹ, hơn nữa tận dụng được hầu hết các tính năng cơ lý, hoá ưu việt nên chúng tỏ ra là kết cấu kinh tế và phù hợp.

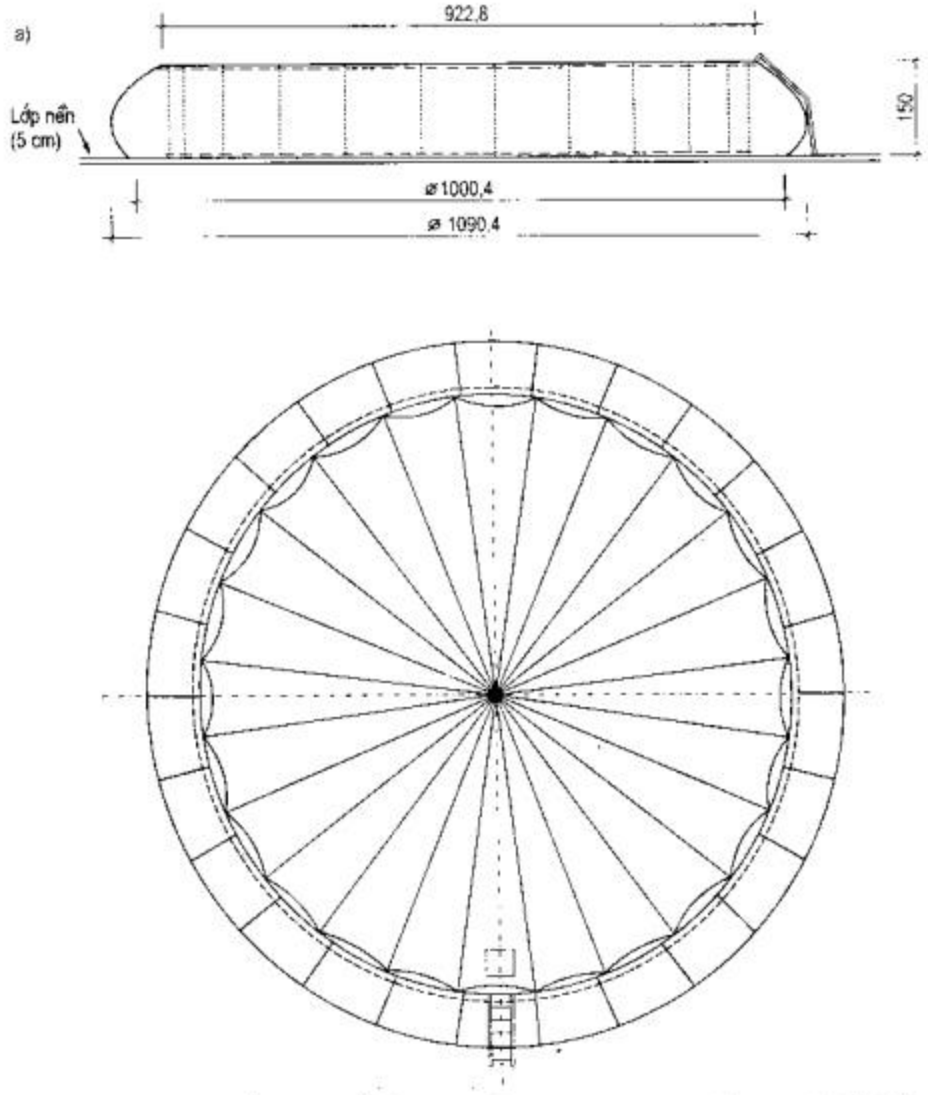
Các bể chứa nhỏ nhất đã được chế tạo hàng loạt với kích thước từ *0,5* đến 2 m^3; có ưu điểm là hoàn toàn kín nước, chuyên chở dễ dàng, thuận tiện và nhanh chóng trong việc rót và tháo chất lỏng cho bể chứa, trọng lượng nhẹ, độ bền lớn (khoảng 200 lần sử dụng).

Với các kết cấu xilô, bể chứa có dung tích từ *5* đến *30* m^3; màng mỏng thường phải treo trên các kết cấu khác được dùng làm khung sườn, như vậy ở trạng thái không tải trọng lượng vỏ màng sẽ được đỡ bởi các khung này. Ưu điểm của chúng so với các bể làm từ kim loại thông thường là không bị ăn mòn trong môi trường không khí cũng như hoá chất, hoàn toàn kín khí, trọng lượng khá nhẹ; do các thành bể mềm nên việc tháo sạch và vệ sinh bể dễ dàng hơn.

Với các xilô, bể chứa có dung tích lớn (*20~500* m^3), bản thân màng mỏng không chịu nổi các nội lực lớn phát sinh nên cần có các sườn ngang cũng như sườn dọc để chịu lực hoặc chúng chỉ chứa được chất lỏng khi kín

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

hoàn toàn hoặc có áp (nguyên lý bể hình giọt nước). Các xilô được hút chân không dùng để chứa và bảo quản ngô tươi hoặc nông sản tươi khác là một giải pháp bảo quản rất hiệu quả và kinh tế trong nông nghiệp, đã được dùng rộng rãi ở các nước châu Âu. Trên trên hình 4.4 là bể chứa chất lỏng *100* m^3 do hãng Györiterv (Hungary) thiết kế.



Hình 4.4. Bể chứa chất lỏng *100* m^3 do hãng Györiterv (Hungary) thiết kế.

Các bể chứa chất lỏng thường được dùng để chứa nước, thực phẩm (sữa, dầu, rượu vang...) hay các hoá chất, vật tư nông nghiệp, phân lỏng hoặc dầu đốt ... (hình 4.4). Chúng có giá thành rẻ; dễ vận chuyển; chịu được ảnh hưởng của dầu và các hoá chất; không gây độc hại nên có thể sử dụng được

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

trong công nghiệp thực phẩm; có màu sắc đẹp theo yêu cầu. Ngoài ra kết cấu màng còn có những chức năng khác trong bể chứa như được dùng làm lớp chống thấm cho vỏ bê tông hay lớp lót bảo vệ cho các bể thép chống lại các tác nhân ăn mòn. Cũng còn rất nhiều khả năng ứng dụng khác của kết cấu màng như được dùng làm contenơ để chuyên chở chất lỏng, chất khí. Cũng đã có những ý tưởng thay thế tàu chở dầu trên biển bằng các bể chứa nổi có dạng "điếu xì gà" bằng màng mỏng và dùng tàu kéo để vận chuyển.

Ngoài các ưu điểm nêu trên, cho đến nay bể chứa, xilô bằng vật liệu màng mỏng cũng còn tồn tại một số hạn chế chưa khắc phục được như: tuổi thọ không cao; có khả năng rách, thủng do va chạm hoặc bị mài mòn trong quá trình sử dụng. Do đó, chỉ nên áp dụng trong các mục đích phù hợp với các điều kiện sử dụng hợp lý. Trong các bể chứa chất lỏng bằng vật liệu màng còn có khả năng xuất hiện rò rỉ do các lỗi trên vật liệu trong khâu sản xuất hoặc do các lỗi không nhìn thấy tại các mối hàn, các khuyết tật này thường khó thấy, chỉ khi đổ chất lỏng vào mới phát hiện được.

Các lớp lót bảo vệ bằng màng mỏng trong các xilô, bể chứa kim loại cũng có khả năng bị hỏng do sự cọ sát, mài mòn giữa bể kim loại và lớp màng cũng như đôi khi do sự mài mòn giữa lớp màng với các sản phẩm chứa bên trong cũng như các tác động không lường trước khi thiết kế.

Khi xây dựng và sử dụng các bể chứa, xilô bằng màng mỏng cần đảm bảo điều kiện an toàn vì chúng thường được dùng để chứa một khối lượng khá lớn các vật phẩm, đặc biệt là khi các chất chứa bên trong có tính độc hại, gây ô nhiễm môi trường.

4.1.2. Tác động của thời tiết và các tác động khác đến kết cấu màng mỏng

Ngoài tải trọng và các tác động thông thường quy định trong quy phạm thiết kế chung, kết cấu màng mỏng còn chịu những tác động riêng. Ở đây chỉ đề cập đến tác động có liên quan đến một số loại kết cấu màng mỏng.

Do có dạng hình học theo các mặt cong nên việc xác định và phân tích sự làm việc của kết cấu mái màng mỏng dưới tác động của tải trọng gió là rất phức tạp. Khi nghiên cứu các dòng khí chuyển động cũng như các thí nghiệm khác trong ống khí động người ta thấy: với các mái dạng vòm hình trụ hoặc hình cầu, thường tồn tại một vùng chịu nén nhỏ ở phía có áp lực gió hút. Với các kết cấu truyền thống có khả năng chịu uốn và trọng lượng khá lớn, áp lực gió hút khoảng 50 kg/m^2 không gây ra biến dạng đáng kể. Tuy nhiên, với kết cấu màng mỏng do có trọng lượng rất nhẹ nên về quan điểm kết cấu ta cần đặc biệt quan tâm đến vùng chịu áp lực gió hút, các chi tiết

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

liên kết cũng như các chi tiết neo kết cấu mái màng. Khi xây dựng các mái lớn, có hình dạng phức tạp hoặc có ý nghĩa sử dụng quan trọng, cần làm thí nghiệm mô hình trong ống khí động vì việc xác định chính xác giá trị tải trọng gió sẽ giúp cho việc tính toán thiết kế chính xác và tiết kiệm được chi phí xây dựng.

Gió là tải trọng động, luôn thay đổi chiều và phương tác dụng. Trạng thái nguy hiểm nhất xảy ra khi gió gây ra mất ổn định khí động và tạo sóng, Gió còn làm gia tăng các chuyển vị trong kết cấu, nên ở các điểm cố định ngăn cản chuyển vị này sẽ nhanh chóng bị hư hại, dẫn đến phá hoại kết cấu thậm chí phá hoại cả các chi tiết liên kết làm từ kim loại. Để tránh hiện tượng này các mái thường thiết kế theo mặt cong hai chiều, gia cường chắc chắn các nút liên kết và được căng trước với trị số phù hợp.

Hiện tượng biến dạng dư theo thời gian của vật liệu (chảy dẻo) có thể bỏ qua nếu như mái được căng trước hợp lý và được theo dõi thường xuyên sau khi căng.

Các tác động có hại của ánh nắng mặt trời cũng làm cho vật liệu màng bị lão hoá và làm giảm tuổi thọ của công trình. Với khí hậu châu Âu, lớp vỏ màng phủ PVC thường cần được thay thế khi tuổi của chúng là 10 đến 12 năm, vì lúc này màng đã bị lão hoá, trở nên cứng, nứt và sẽ xuống cấp rất nhanh. Với khí hậu nước ta: nóng, ẩm và có số giờ nắng trung bình trong một năm cao hơn nên tuổi thọ của công trình sẽ ngắn hơn. Qua kinh nghiệm sử dụng các mái hiên di động ở nước ta, thường sử dụng các vật liệu màng có cường độ chịu lực thấp và rẻ tiền nhưng chúng cũng có tuổi thọ trên 5 năm. Chúng tôi đã thực hiện một công trình thí nghiệm (mái màng căng trên khung thép có kích thước 5m × 6 m tại Hà Nội) trong đó sử dụng vật liệu màng của Hàn Quốc có độ dày *0,35* mm. Công trình đã được sử dụng từ tháng 10 năm 1996 đến nay, mái vẫn còn làm việc bình thường tuy đã bị bạc màu. Nhiều khi chu kỳ thay vỏ màng của các công trình bị rút ngắn hơn do yêu cầu về thẩm mỹ và vì giá thành của chúng khá rẻ.

4.1.3. Chế tạo kết cấu màng cong hai chiều và "thiết kế cắt may kết cấu màng mỏng"

Như trong các chương trước đã nêu: các công trình sử dụng kết cấu màng mỏng thường có dạng mặt cong hai chiều, được chế tạo từ các cuộn màng mỏng dạng phẳng tương tự như các cuộn vải. Trong chuyên môn người ta gọi quá trình tạo ra các kết cấu có dạng mặt cong mong muốn xuất phát từ các tấm phẳng là "thiết kế cắt may kết cấu" vì quá trình này giống như khi cắt và may quần áo.

Sau quá trình sản xuất, các tấm vật liệu màng thành phẩm thường có chiều rộng từ 1,3 m đến 1,5 m; đôi khi có thể sản xuất màng có bề rộng nhỏ

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

hơn hoặc lớn hơn tùy theo yêu cầu sử dụng. Những kích thước này so với kết cấu thì thường là nhỏ nên cần thiết kế cắt may sao cho các mặt cong được hợp thành bởi các phần tử là các mảnh đa giác và đa giác cong có kích thước phù hợp với vật liệu sẵn có. Để liên kết các mảnh màng thành mặt cong mong muốn, có thể dùng các phương pháp hàn, dán, may... như đã nêu trong chương 2. Khác với cắt may quần áo, do tính dãn dài của vật liệu khi căng trước nên kích thước của các mảnh đa giác cong có sai khác chút ít so với kích thước thật của chúng trên công trình. Hình dạng các mảnh thành phần được xác định từ các mẫu cắt. Các mẫu cắt được xác định bởi các số liệu trên mặt bằng cũng như cao độ của một phần diện tích mái. Sau khi đã duỗi phẳng, các mẫu cắt có thể là tập hợp các phần tử (lưới tam giác phẳng), mà về nguyên tắc thì các mẫu cắt sau khi lắp ráp sẽ không lớn hơn phần diện tích mà nó che phủ sau này (tất nhiên phải kể đến kích thước đường may). Từ các số liệu mặt bằng và cao độ của các phần mái người ta sẽ xác định được chiều dài các cạnh phần tử cũng như cách xắp xếp các phần tử cạnh nhau.

Mặt bằng các lưới dùng để xác định mảnh mái phía trên, không chỉ có dạng hình chữ nhật mà có thể có dạng bất kỳ như hình đa giác, hình quạt tròn hoặc đa giác cong ...

Với các mái dạng mặt cong hai chiều, khi hai độ cong này khác nhau nhiều ta nên chọn mặt bằng lưới có dạng tứ giác với các cạnh không bằng nhau. Lúc này, nên chọn cạnh đa giác nhỏ hơn theo phương có độ cong lớn trên mặt bằng lưới. Như vậy, theo cách này thì trên mặt bằng lưới được chia nhỏ hơn nên dễ dàng hơn trong việc xác định hình dạng mẫu cắt.

Sau khi đã vẽ được hình dạng mẫu cắt ta nhận thấy các đải có bề rộng không bằng nhau, các trục của chúng cũng không thẳng. Như vậy có nghĩa là vật liệu màng mỏng không được sử dụng triệt để mà phải bỏ đi những phần thừa khi cắt. Do đó, một vấn đề cần đặt ra là phải tìm cách tận dụng tối đa vật liệu khi thiết kế cắt may, sao cho phần bỏ đi là ít nhất. Để đạt được mục tiêu này ta có thể thực hiện trên máy tính khi đã có mẫu cắt nhờ sử dụng các chương trình chuyên dụng tương tự như của ngành may mặc hoặc của ngành đóng tàu. Ví dụ, với các mái dạng hình tròn xoay đối xứng ta thường chọn các phần tử mẫu cắt có dạng hình quạt. Nếu kích thước lớn nhất của phần tử mẫu cắt bằng chiều rộng của vải màng thì chỉ sử dụng được 50% vật liệu. Nếu ta trở đầu đuôi các mẫu cắt dạng này thì có thể sử dụng đến 90% vật liệu.

Phương pháp tạo mô hình trước khi cắt là phương pháp khá hiệu quả. Người ta tạo ra một mô hình công trình thu nhỏ bằng giấy có chất lượng phù hợp sau đó cắt mô hình đó ra thành các mảnh nhỏ, duỗi thẳng ra và trên cơ

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

sở đó vẽ mẫu cắt bằng cách phóng to theo tỷ lệ mong muốn. Trong mục 4.2 sẽ đề cập đến việc tạo mẫu cắt từ mô hình. Chú ý là các mẫu cắt chưa xét đến kích thước của phần màng sử dụng trong đường may hoặc hàn. Bề rộng đường hàn hoặc đường may không phụ thuộc thiết kế mà phụ thuộc vào loại đường hàn, thiết bị hàn và công nghệ sử dụng (xem chương 2).

Cuối cùng cũng cần nhắc lại là ở trạng thái ban đầu màng mỏng đã có ứng suất trước, các mẫu cắt chỉ xác định hình dạng của màng mỏng ở trạng thái không tải do đó ta cần tính đến độ dãn dài của màng mỏng khi có ứng suất trước trong thiết kế để điều chỉnh lại mẫu cắt cho chính xác.

Tóm lại, yêu cầu của quá trình thiết kế cắt may kết cấu là tạo ra mặt cong gần nhất với hình dạng tính toán tương ứng với số mẫu cắt ít nhất, sử dụng được tối đa vật liệu và có ít đường hàn nhất. Bên cạnh đó cần chú ý đến chiều của vải màng vì như ta đã biết, theo phương dọc sợi màng mỏng có cường độ chịu lực tốt hơn và độ dãn dài nhỏ hơn so với phương ngang sợi.

4.1.4. Lựa chọn vật liệu màng mỏng

Việc lựa chọn vật liệu màng mỏng sử dụng trong kết cấu được căn cứ trên các thông số về chất lượng và kỹ thuật do các nhà sản xuất cung cấp. Theo quy định của Bộ công nghiệp Hungary (MI-04.110-84) các đặc trưng quan trọng về chất lượng vật liệu màng mỏng mà nhà sản xuất phải cung cấp bao gồm:

- Cường độ chịu kéo đứt tức thời theo hai phương.
- Biến dạng dài lớn nhất (khi đứt) theo hai phương.
- Biến dạng dài hạn ở 25% cường độ kéo đứt.
- Môđun đàn hồi.
- Cường độ còn lại sau khi rách (chống xé rách).
- Độ chống mài mòn.
- Trọng lượng riêng.
- Chiều dày.

Giá thành của màng mỏng thường tỷ lệ thuận với chiều dày và cường độ kéo đứt của chúng. Tuy nhiên, với các vật liệu quá mỏng hay quá dày thì giá thành sẽ không mang tính tỷ lệ như trên nữa bởi vì các vật liệu ít thông dụng thường có giá thành cao hơn.

Ngoài yếu tố đầu tiên được lựa chọn là cường độ, các đặc tính khác của vật liệu cũng được chú ý như: trọng lượng, chiều dày cũng như tính dẻo. Nhiều trường hợp yếu tố quyết định trong việc lựa chọn vật liệu không phải là cường độ mà là độ bền lâu hoặc các yếu tố khác.

Trên thực tế người ta có thể sản xuất vật liệu màng với đủ loại màu sắc hoặc trong suốt. Chi phí sản xuất của màng với các màu khác nhau cũng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

chênh lệch chút ít, nhưng giá bán của sản phẩm màng mỏng thường không phụ thuộc màu sắc của chúng.

Bề mặt màng mỏng thường có một lớp phủ nhẵn bóng, chính lớp này bảo vệ cho màng khỏi bị bẩn và góp phần làm tăng tuổi thọ của chúng. Các màng mỏng không màu hay trong suốt có thể cho ánh sáng xuyên qua để lấy ánh sáng tự nhiên và tạo màu cho không gian bên trong. Tuy nhiên, cũng cần chú ý là độ trong của màng càng lớn (khả năng xuyên sáng càng tốt) thì tuổi thọ của màng càng thấp vì ánh sáng dễ làm lão hoá lớp cốt vải bên trong.

Màng mỏng phủ nhựa PVC mềm có khả năng kín nước và kín khí khi lớp phủ chiếm tỷ lệ trên 40% trọng lượng. Nếu công trình có yêu cầu kín nước và kín khí cao hơn nữa thì chọn dùng loại vật liệu có lớp phủ dày hơn hay sử dụng phụ gia trong công nghệ pha chế nhựa để đảm bảo yêu cầu này.

Các phương pháp liên kết màng mỏng được sử dụng thường là hàn hoặc đôi khi có thể dán, để đảm bảo tính kín khí, kín nước, chất lượng vật liệu cũng như chất lượng các mối hàn nối phải được đảm bảo bằng quy trình kiểm tra nghiêm ngặt.

4.1.5. Tuổi thọ của kết cấu màng mỏng và các hư hỏng

Tuổi thọ là vấn đề luôn được đặc biệt quan tâm khi quyết định sử dụng kết cấu màng mỏng. Do phụ thuộc nhiều yếu tố tác động trong quá trình sử dụng nên nói chung, kết cấu màng mỏng có tuổi thọ thấp hơn so với tuổi thọ của các công trình xây dựng từ kết cấu truyền thống. Các công trình dùng kết cấu truyền thống thường được thiết kế với tuổi thọ là 50 năm song có thể sử dụng đến 100 năm hoặc lâu hơn. Bất lợi với kết cấu màng mỏng là tuổi thọ của chúng chỉ đạt khoảng một phần năm so với tuổi thọ của các kết cấu truyền thống.

Các chi phí khi xây dựng một công trình sử dụng kết cấu mái màng bao gồm: chi phí về vỏ màng; chi phí cho các kết cấu khác có liên quan như: vòm, khung bằng thép hoặc gỗ; cáp thép; kết cấu móng; vật liệu hoàn thiện; chi phí cho trang thiết bị bên trong như điện, nước, chiếu sáng... Trong cơ cấu giá thành của công trình thì vỏ màng chỉ chiếm một tỷ lệ nhỏ. Tuy vậy, trong công trình sử dụng màng mỏng thì phần lớn các bộ phận kết cấu truyền thống lại có tuổi thọ cao, chỉ có phần vỏ màng thì sau khoảng 10 năm là phải thay mới. Do những đặc điểm: giá màng mỏng khá rẻ, công việc thay thế khá đơn giản, tốn ít thời gian (khoảng một tuần với những mái lớn), trọng lượng nhẹ nên tải trọng truyền xuống kết cấu đỡ và móng nhỏ, bởi vậy tuy tuổi thọ của màng mỏng ngắn song cũng không gây ra tốn kém hơn so với các kết cấu thông thường khác với cùng thời gian sử dụng mà có phần rẻ

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

hơn. Sau khi cân nhắc kỹ càng các yếu tố liên quan ta thấy tuổi thọ của kết cấu mái màng không còn là vấn đề đáng lo ngại nữa.

Căn cứ vào các nguyên nhân làm lão hoá vật liệu màng (đã nêu trong chương 2) bao gồm các tác nhân vật lý, hoá học và sinh học như ánh sáng, độ ẩm, không khí ô nhiễm, nấm và vi khuẩn... ta có thể dự báo tuổi thọ của vỏ màng và chọn thời điểm thay thế màng cho phù hợp.

Trong quá trình khai thác, các công trình sử dụng vật liệu màng còn có khả năng bị hư hại như sờn rách do va chạm, cọ sát tại các biên và tại các vị trí liên kết với các vật liệu cứng cho nên khi chọn vật liệu sử dụng cần quan tâm đến yếu tố này.

Để tránh bị cọ sát gây rách màng, tốt nhất là nên bố trí vỏ mái cách các góc và cạnh của kết cấu cứng, đồ đạc hay thiết bị trong nhà một khoảng an toàn từ 50 đến 80 cm. Khoảng cách này tương đối lớn nhưng cần thiết vì dưới tác động của tải trọng tạm thời như gió, vỏ màng mỏng có thể chuyển vị rất lớn, đến hàng chục cm. Tại vị trí liên kết với kết cấu đỡ, trong khi các kết cấu này chỉ có chuyển vị nhỏ thì màng lại luôn có chuyển vị lớn nên dễ gây ra tập trung ứng suất, do đó màng cần được gia cường bằng vật liệu chống mài mòn như thép, nhôm hoặc bố trí thêm lớp bảo vệ. Tại các vị trí màng chịu tải trọng tập trung hoặc truyền các lực tập trung cũng cần gia cường bằng cách tăng thêm số lớp hay bố trí các chi tiết bằng kim loại.

Với các bể chứa, xilô có kích thước lớn hay chứa các vật liệu nguy hiểm, nhất thiết phải có biện pháp bảo vệ đặc biệt như rào kín và cần có các phương án, biện pháp phòng ngừa các sự cố có thể xảy ra.

Khi trên màng có các hư hại nhẹ như các vết rách nhỏ, có thể sửa lại bằng cách dán hay hàn bằng các thiết bị xách tay. Tuy nhiên, cần chú ý là việc sửa chữa bằng hàn, dán tại hiện trường khi bề mặt ẩm, không thật sạch, vị trí thi công cao khó bố trí điểm kê chắc chắn nên cường độ của các mối hàn, dán này có thể không đạt được cường độ cần thiết.

4.1.6. Sự thay đổi hình dạng của kết cấu màng mỏng

Một nội dung quan trọng cần đề cập trong chương này là sự thay đổi hình dạng của kết cấu mái màng mỏng, vì chúng có chuyển vị khá lớn. So với chuyển vị của màng, chuyển vị của các kết cấu đỡ khác ở dưới hầu như không đáng kể, có thể bỏ qua. Chỉ có chuyển vị của các kết cấu dây là cần chú ý vì dây cũng có chuyển vị khá lớn khi chịu lực. Mái màng mỏng cho đến nay vẫn được xem là kết cấu có chuyển vị lớn hơn nhiều so với các kết cấu khác.

Chuyển vị lớn của kết cấu màng mỏng là do hậu quả của hai yếu tố:

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

❖ Biến dạng do tác dụng của ứng suất.

❖ Do không có khả năng chịu uốn nên màng dễ dàng bị cong võng.

Như đã biết từ chương 2, cốt vải của màng mỏng có độ dãn dài tỷ đối khi đứt đạt *20~30* %, ứng suất cho phép của vật liệu vào khoảng một phần tư cường độ chịu kéo đứt cho nên khi chịu tải trọng gây ra ứng suất tương ứng thì biến dạng tỷ đối của màng mỏng vào khoảng *5~8* %. Như vậy để vượt một khoảng trống *20* m, trong đó chiều dài thông thường của dải màng cong là *30* m, và độ dãn dài tương ứng của dải màng sẽ là *1,5* m đến *2,4* m. So với các kết cấu truyền thống, biến dạng lớn như vậy là không thể cho phép.

Ta cũng đã biết, đường cong võng của một sợi dây có trọng lượng khi chưa chịu tải là dạng đường cong dây xích, nhưng khi chịu lực tập trung thì dây sẽ có xu hướng căng thẳng hơn và hình thành độ võng lớn tại điểm đặt lực. Lúc này, biến dạng của vật liệu là không đáng kể mà chủ yếu là do sự thay đổi hình dạng hình học của kết cấu, gọi là "tính biến hình".

Thông thường trong kết cấu, màng mỏng là mặt cong hai chiều với đường cong chính có dạng đường dây xích (tương tự như kết cấu dây), như vậy màng cũng có "tính biến hình" và mái màng có thể sẽ bị võng rất lớn nếu không có biện pháp khống chế.

Trong mọi trường hợp, trước khi tính toán thiết kế màng mỏng ta đã phải xác định mức độ có thể chấp nhận được về khả năng chuyển vị lớn của kết cấu còn khi vượt quá mức độ đó thì sẽ có hại cho công trình. Cũng cần xét đến sự gia tăng chuyển vị do cắt may không chính xác, do các vết nhăn xuất hiện trên mặt màng khi may hoặc hàn. Khi sử dụng các biện pháp khống chế chuyển vị của kết cấu, cũng cần đảm bảo sao cho khi hệ chịu các lực tập trung, các tải trọng tác dụng động, kết cấu vẫn thể hiện được tính mềm dẻo vốn có của màng mỏng.

Tính biến hình của kết cấu màng mỏng không gây ra nguy hiểm với chính mái màng vì chúng là kết cấu mềm và đàn hồi, nhưng trong quá trình sử dụng có thể nảy sinh các vấn đề như: có thể cọ sát làm hư hại màng hoặc thu hẹp không gian sử dụng do không được bố trí các vật dụng hoặc thiết bị gần mái.

Trong bước xác định hình dạng ban đầu của kết cấu, cần tránh cho mái hoặc một phần mái có độ dốc quá nhỏ vì ở những nơi này có thể phát sinh túi nước hoặc đọng bụi đất. Đó cũng là nguyên nhân gây biến hình lớn cho kết cấu.

Với tác dụng của các tải trọng nhỏ, để giảm bớt chuyển vị trong kết cấu ta có thể tạo ứng suất trước cho mái có dạng mặt cong hai chiều. Lúc này chuyển vị trong kết cấu chủ yếu là do biến dạng đàn hồi tạo ra và làm

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

thay đổi hình dạng của chúng. Tuy nhiên, mái màng càng có dạng gần phẳng thì hiệu quả của lực căng trong việc làm giảm chuyển vị của kết cấu càng kém.

Cuối cùng quy mô của kết cấu màng mỏng không những bị hạn chế về mặt cường độ của vật liệu mà còn bị giới hạn bởi tính chuyển vị lớn của kết cấu. Với các công trình càng lớn, độ võng tương đối của mái nhỏ, chuyển vị của mái (cùng với tính biến hình) sẽ rất lớn. Như vậy, khi tiến hành căng màng mỏng có độ dãn dài khá lớn, cần có các thiết bị căng với hành trình đủ dài, thậm chí còn phải tiến hành căng làm nhiều lần. Lưu ý là các biến dạng dư của màng cũng dần dần làm mất mát ứng suất trước trong màng mỏng và làm giảm độ cứng của kết cấu.

Việc tính toán chính xác độ dãn dài và chuyển vị của màng khi sử dụng là khá phức tạp, thường phải sử dụng đến các chương trình máy tính lớn. Đã có những chương trình chuyên dụng để tính toán chính xác chuyển vị của kết cấu, tuy nhiên với các kết cấu có kích thước không quá lớn thì có thể xác định bằng phương pháp gần đúng: xuất phát từ các số liệu sau khi căng của kết cấu (ở trạng thái ban đầu) để tìm kích thước của vật liệu ở trạng thái không có ứng suất căng. Bản chất của vấn đề là đảm bảo cho trong kết cấu ở trạng thái ban đầu (chưa chịu tải trọng) luôn luôn tồn tại một ứng lực căng hợp lý. Ở trạng thái kết cấu chịu tải trọng, vai trò của chuyển vị trong màng không còn có ý nghĩa quyết định nữa khi màng đã được thiết kế đảm bảo về độ bền.

4.2. Mô hình kết cấu màng mỏng

Các mô hình khác nhau của kết cấu nhằm phục vụ những mục đích khác nhau tương ứng: một phần nó giúp cho người thiết kế thấy được hình dạng tổng thể của kết cấu, qua đó kiểm tra và xác định các chức năng hợp lý của công trình. Mặt khác, theo quan điểm kết cấu, mô hình tạo điều kiện để kiểm chứng hình dạng hợp lý về cơ học và giúp ta hình dung được sự phân phối nội lực trong đó.

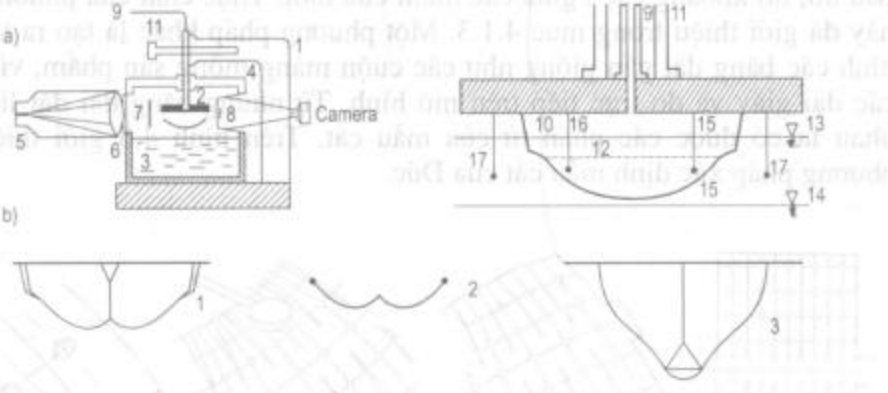
4.2.1. Một số kỹ thuật khi xây dựng mô hình kết cấu màng mỏng

Trong chương 3 đã trình bày các phương pháp xác định hình dạng của kết cấu; từ đó ta xác định được hình dạng trên mặt phẳng của mái (dạng triển khai của mái). Qua chương 3 ta cũng thấy việc tính toán là khá phức tạp mà thông thường phải sử dụng chương trình tính lớn. Một vấn đề đặt ra là với các công trình có kích thước nhỏ, đơn giản thì có cần sử dụng các phương pháp tính phức tạp như đã trình bày không? Trong thực tế thiết kế, với những trường hợp đơn giản, quen thuộc, khi tính toán ta có thể bỏ qua

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

hoặc đơn giản hoá một số yếu tố thứ yếu. Bên cạnh việc tính toán thông thường ta cũng có thể thực hiện các thí nghiệm trên mô hình để kiểm chứng.

Thường với các mặt cong trong không gian thì việc hình dung và thể hiện chúng qua hình vẽ là khá khó khăn. Mô hình kết cấu mái màng thường được xây dựng trên cơ sở các khung sườn của mái. Vật liệu sử dụng để làm mô hình kết cấu có thể là gỗ, giấy hoặc vải co giãn để có thể căng chúng trên hệ khung sườn. Cũng có thể chế tạo mô hình kết cấu từ những vật liệu khác, ví dụ như có thể tạo và nghiên cứu hình dạng mái màng nén khí bằng cách sử dụng thiết bị thổi màng xà phòng trên một khung dây kim loại có hình dạng như mặt bằng của công trình. Khuyết điểm của loại mô hình này là chúng không thể tiếp nhận tải trọng tập trung tác dụng. Các khung dây kim loại có thể thay đổi với các hình dạng khác nhau, thậm chí có dạng hình chữ thập. Để ghi lại kết quả người ta chụp ảnh mô hình.



Hình 4.5. Sơ đồ thiết bị thí nghiệm mô hình màng bong bóng xà phòng

a) Xác định mặt tối thiểu từ mặt của bong bóng xà phòng : 1. đế máy; 2. tấm chắn; 3. bể chứa; 4. khung chân không; 5. đèn chiếu; 6. thấu kính (cho các chùm tia song song); 7. lưới chế tạo từ sợi polyamid; 8. thiết bị chụp ảnh; 9. lỗ thổi; 10. vành biên; 11. cột đỡ ống thổi (200 mm) điều chỉnh được chiều dài; 12. màng xà phòng ở trạng thái chưa tăng áp suất khí nén; 13. mực nước ban đầu; 14. mức nước khi thổi khí (áp lực khí nén trong màng tăng lên); 15. mặt màng ở trạng thái cuối cùng; 16 và 17. que đo trong và ngoài.

b) Các dạng mô hình khác nhau cho mặt mái khí nén: 1. mặt mái khí nén có sườn bên trong; 2. mặt mái khí nén có dây gia cường; 3. mặt mái có cột chống giữa

Tại phòng thí nghiệm trường đại học Stuttgart (Đức), Frei Otto đã chế tạo các thiết bị thí nghiệm trên mô hình bong bóng xà phòng (xem hình 4.5) và được sử dụng khá rộng rãi.

Màng cao su là vật liệu lý tưởng để chế tạo mô hình kết cấu màng mỏng. Tuy nhiên, việc căng màng cao su dọc trên biên là khá khó khăn, còn nếu căng trên các điểm rời rạc thì sẽ dễ làm rách màng. Một vật liệu có chất

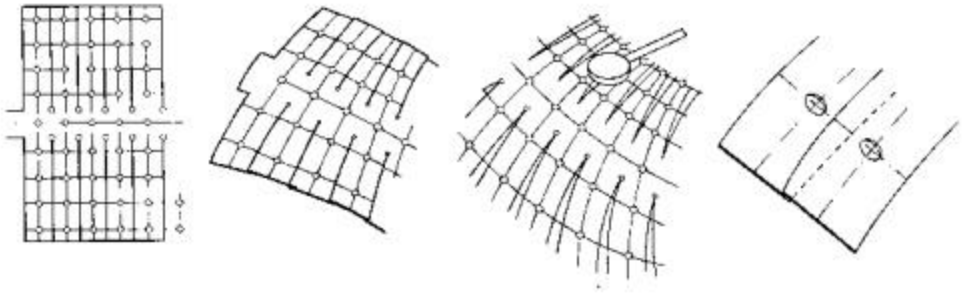
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

lượng khá tốt để làm mô hình là nylon hoặc các loại vải có tính chất tương tự, vì chúng có thể được liên kết dễ dàng bằng may, dán và mô hình có thể tiếp nhận được tải trọng tập trung.

Thông qua các mô hình người ta không chỉ đánh giá tính thẩm mỹ, tính thích dụng của công trình mà còn làm cơ sở cho việc tính toán kết cấu. Với các kết cấu nhỏ, đơn giản, ta có thể thông qua mô hình, cách ứng xử của chúng dưới tác động của tải trọng để thiết kế kết cấu cũng như xác định các mẫu cắt để chế tạo chúng.

4.2.2. Mẫu cắt và việc chuẩn bị mô hình

Nếu hình dạng của các mẫu cắt không được xác định bằng tính toán thì ta cũng có thể sử dụng kết quả tìm được từ mô hình kết cấu để chuẩn bị mẫu cắt. Một trong những phương pháp là vẽ lên mô hình một lưới bất kỳ, tốt nhất là ta vẽ lên vật liệu trước khi căng hoặc trước khi chế tạo mô hình. Sau đó, đo khoảng cách giữa các điểm của lưới. Thực chất của phương pháp này đã giới thiệu trong mục 4.1.3. Một phương pháp khác là tạo ra trên mô hình các băng dài gần giống như các cuộn màng mỏng sản phẩm, ví dụ cắt các dải giấy và đo trực tiếp trên mô hình. Từ những băng dài đặt liên tiếp nhau ta có được các phần tử của mẫu cắt. Trên hình 4.6 giới thiệu một phương pháp xác định mẫu cắt của Đức.



Hình 4.6. Một phương pháp vẽ và xác định mẫu cắt

Trên đây ta đã làm quen với các phương pháp chế tạo mô hình của mái màng (hình 4.5; 4.6). Như đã biết, khi căng màng mỏng sẽ dãn dài khá lớn nên cần tính toán đến độ dãn dài này và khi căng vào biên có thể phải cắt ngắn bớt màng mỏng.

Với các phương pháp nêu trên, mô hình các mái thường được chế tạo theo tỷ lệ 1:10 đến 1:20 để nghiên cứu và xác định mẫu cắt. Với các công trình càng phức tạp và còn ít được nghiên cứu hay sử dụng thì yêu cầu chế tạo mô hình kết cấu càng cần chính xác và công phu hơn. Với các mái Pavilon, hội chợ, nhà nghỉ mát lưu động có yêu cầu thẩm mỹ hoặc sản xuất hàng loạt, ta phải chế tạo mô hình với tỷ lệ lớn, thậm chí là 1:1.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

4.2.3. Ý nghĩa cơ học của mô hình kết cấu

Mô hình màng xà phòng có tác dụng tốt trong việc xác định hình dạng hợp lý của kết cấu dạng khí nén về mặt chịu lực ở trạng thái ban đầu, thực chất màng là một mặt có ứng suất đồng đều (sức căng bề mặt), còn gọi là mặt có hình dạng tối ưu.

Các mô hình để thử nghiệm trong ống khí động thường có tỷ lệ nhỏ (1: 50 đến 1:100), các khung sườn để căng màng được làm bằng vật liệu gỗ sau đó căng các màng đàn hồi trên khung sườn phỏng theo hình dạng của mái. Bước đầu ta đo áp lực gió ở mặt ngoài, sau đó đo áp lực gió bên trong mặt mái. Do yêu cầu của phương pháp đo, bề mặt mô hình thường chia thành lưới các ô chữ nhật để bố trí các điểm đo và gắn các bộ cảm biến, thực tế kết quả đo là khó chính xác với các mô hình kết cấu mềm dẻo như kết cấu màng mỏng. Tuy nhiên, đối với kết cấu màng mỏng dạng khí nén hay căng trước thì cũng không gặp khó khăn bởi vì trong thực tế cũng không phát sinh những chuyển vị lớn đến mức có thể ảnh hưởng đáng kể đến cách phân bố tải trọng gió trên kết cấu.

Khi thí nghiệm người ta cho thổi gió vào mô hình với nhiều vận tốc và chiều khác nhau hay thổi thành nhiều đợt phân bố liên tiếp. Như vậy, ta xác định được áp lực gió tại những điểm đặt thiết bị đo trên màng.

Để thử nghiệm công tác lắp dựng công trình, đôi khi cũng cần thực hiện trên mô hình kết cấu để xem các chi tiết lắp đặt thế nào là hợp lý, song cũng chỉ cần các mô hình có kích thước nhỏ, ở mô hình này màng cũng không yêu cầu được làm từ vật liệu đàn hồi.

Ngoài các phương pháp trên, để kiểm tra chi tiết các mẫu cắt ta cũng có thể chế tạo các mô hình với tỷ lệ 1:5 đến 1:15. Do tính phức tạp của hình dáng công trình nên để đảm bảo tính chính xác, trong thực tế thường phải chia mô hình thành hàng trăm thậm chí hàng nghìn mẫu cắt. Để tránh những sai sót khi chế tạo những mái màng lớn và quan trọng người ta thường kiểm tra tính chính xác của các phần tử mẫu cắt bằng thí nghiệm kiểm chứng, lúc này ta hàn các mẫu cắt có tỷ lệ nhỏ lại với nhau và thử dựng lại mô hình, công việc này cũng chỉ tốn một vài mét vuông vật liệu.

Mô hình cũng giúp ta kiểm tra về mặt cấu tạo và sự làm việc của các nút liên kết. Việc thí nghiệm mô hình các nút liên kết trên mái không chỉ có ý nghĩa quan trọng về mặt cơ học mà đôi khi mô hình còn giúp phát hiện và giải quyết các khó khăn nảy sinh về công nghệ chế tạo. Kích thước của các nút liên kết trên mô hình thường rất nhỏ, do đó để kiểm tra sự làm việc đồng thời giữa các loại vật liệu khác nhau trong các giải pháp tăng cường như hàn, dán thêm các lớp màng; bố trí thêm các chi tiết kim loại, ta cần làm thí nghiệm kiểm tra trên các mô hình chi tiết nút với tỷ lệ lớn hơn, thường là 1:1.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Một công việc rất quan trọng là đo đạc và kiểm tra công trình sau khi đã xây dựng (còn gọi là kiểm định chất lượng công trình). Lúc này ta có thể kiểm tra lại độ chính xác về hình dạng mái, phương pháp tính toán thiết kế, các giả thiết sử dụng, sự làm việc thực tế của công trình. Ngoài mục đích đánh giá chất lượng, kết quả kiểm tra còn là cơ sở cho việc nghiên cứu phát triển và hoàn thiện các giải pháp thiết kế, chọn được hệ số an toàn thích hợp, và cuối cùng giúp cho việc xây dựng các công trình sau này được an toàn, kinh tế, tiết kiệm hơn.

Việc kiểm định và đo đạc để xác định chính xác ứng suất phát sinh trong màng cũng còn gặp nhiều khó khăn vì các lý do sau:

• Độ dãn dài (biến dạng) của màng mỏng thường rất lớn so với độ dãn dài của kim loại nên các thiết bị đo biến dạng hiện có thường không thể đáp ứng được.

• Biến dạng của màng mỏng không chỉ là biến dạng đàn hồi mà còn có biến dạng dẻo theo thời gian và phụ thuộc trị số ứng suất (hiện tượng chảy).

• Trong kiểm định kết cấu màng mỏng, việc thử tải không thể thực hiện như với các kết cấu thông thường là sử dụng tải trọng tương đương; còn nếu muốn có kết quả đo đạc với các tác nhân trực tiếp như thời tiết thì cần phải chờ có thời cơ, mất nhiều thời gian chờ đợi.

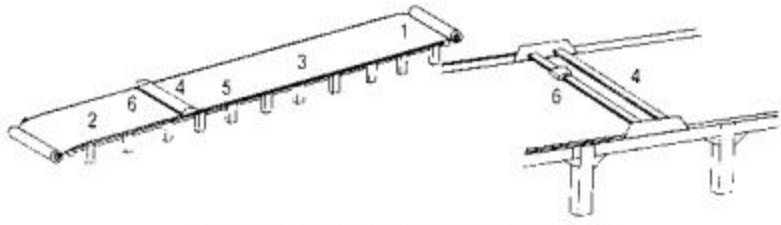
4.3. Công xưởng hoá việc chế tạo kết cấu (chế tạo sẵn)

Thông thường, việc thiết kế cắt may mái màng được thực hiện theo tính toán lý thuyết. Thiết kế và chế tạo các mái màng trong công xưởng sẽ cho ta khả năng thiết kế cắt, may và hàn, dán các phần tử màng với chất lượng tốt, dễ dàng kiểm tra, đặc biệt là kiểm tra tại các khu vực cần gia cường ở các điểm nút liên kết. Trong công xưởng có thể thực hiện các nội dung đó trên các bàn rộng phù hợp với các dụng cụ thiết bị chuyên dụng nên hiệu quả hơn.

Công xưởng hoá cũng giúp tiết kiệm vật tư và công sức hơn. Các mẫu cắt cũng có điều kiện thể hiện chính xác và lưu trên máy hay trên các dải giấy với tỷ lệ 1:1. Công xưởng hóa cũng tạo điều kiện áp dụng những tiến bộ mới nhất của Tin học và Điều khiển học trong cắt may, làm cho công việc trở nên nhẹ nhàng, chính xác và tiết kiệm.

Trước khi cắt màng, các mẫu cắt thử cần được xếp thử sát cạnh nhau để kiểm tra độ chính xác, khoảng cách giữa các cạnh của chúng cũng được đo và đánh dấu cẩn thận, đó là kích thước sau khi đã được may hoặc hàn. Như vậy ta sẽ xác định được kích thước cần thiết của mảnh vật liệu khi đã có kích thước bề rộng của đường may hoặc mối hàn, thông thường khoảng 10 cm. Việc cắt màng theo mẫu cắt bằng máy cắt được điều khiển tự động hoặc bán tự động bằng máy tính. Trên hình 4.7 (theo [13]) là sơ đồ các máy vẽ, cắt của Cộng hoà dân chủ Đức.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 4.7. Thiết bị cắt may bán tự động

1. phần màng mỏng được trải phẳng; 2. phần màng mỏng sau khi đã vẽ mẫu cắt; 3. bàn để đo và cắt màng mỏng; 4. máy vẽ (có thể điều khiển bằng máy tính); 5. các đoạn kích thước; 6. thiết bị đầu vẽ (có thể dùng bút màu hay phấn).

Đôi khi người ta có thể chế tạo vỏ màng bằng biện pháp khác, tương tự như biện pháp tạo ván khuôn để chế tạo các cấu kiện bê tông. Tuy nhiên, phương pháp này khá đắt và chỉ nên dùng khi kết cấu màng có yêu cầu về độ chính xác cao và được chế tạo hàng loạt.

Cũng cần nhắc lại là việc chế tạo vỏ màng để sao cho khi lắp dựng đạt được hình dạng mong muốn thì phải xét đến biến dạng dãn đài của mái khi căng trước cho nên khi thiết kế chế tạo cần có hiểu biết chuyên sâu, tổng thể về kết cấu và cần có kinh nghiệm.

Việc phân mảnh vỏ màng để gia công trong xưởng trước khi lắp dựng cũng rất quan trọng, tuy nhiên không nên chỉ thực hiện theo một phương pháp duy nhất mà tùy theo từng công trình cụ thể để quyết định với mục tiêu là lắp dựng dễ và nhanh, thậm chí trong vài giờ có thể hoàn thiện công trình từ các mảnh vỏ màng thành phần. Với các công trình lớn và phức tạp, thường khó có một phương pháp xác định nào có thể đảm bảo việc thiết kế cắt may và gia công trong xưởng là hoàn toàn chính xác. Chỉ sau khi thi công hoàn thành ta mới biết được việc thiết kế lắp dựng có hoàn thiện không, quá trình chế tạo mái màng có chính xác không?

Cuối cùng cũng cần chú ý đến việc phối hợp đồng bộ và thường xuyên giữa các nhà chuyên môn về xây dựng, chế tạo máy, công nghệ và công nghiệp dệt và hoá chất để có thể làm việc cùng nhau trong suốt quá trình từ sản xuất đến xây dựng. Có như vậy thì công trình mới ngày càng được tối ưu, hoàn thiện và khắc phục được các nhược điểm của chúng.

4.4. Lựa chọn màu sắc cho công trình

Khác với các công trình làm bằng vật liệu truyền thống, các công trình sử dụng màng mỏng cho phép người thiết kế dễ dàng lựa chọn về màu sắc, làm cho công trình sống động hơn mà không cần thêm chi phí. Hơn nữa, nhờ tính xuyên sáng nên không những chỉ ở bên ngoài mà cả không gian bên

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

trong mái cũng có màu sắc. Màu sắc đôi khi cũng có thể gây ra các tác động về vật lý cũng như về tâm, sinh lý con người nên cần được nghiên cứu kỹ trước khi quyết định.

Vật liệu màng mỏng có thể có màu sắc tuỳ ý nếu được đặt hàng trước còn thông thường thì chúng được chế tạo sẵn với các màu: trong suốt, trắng, đỏ, da cam, vàng, xanh lam, xanh lục, ghi, nâu, đen...

Như đã biết, màu sắc tác động đến tâm sinh lý con người. Ví dụ các màu nóng như đỏ và da cam gây cho con người cảm giác hưng phấn ban đầu song về lâu dài lại tạo cảm giác mệt mỏi, do đó nên chọn dùng cho kết cấu mái các hội chợ, mái che các khu vui chơi hay mái che các bể bơi, sân thể dục thể thao vào mùa đông mà không dùng cho những xưởng có người làm việc thường xuyên. Các màu xanh lá cây, xanh nước biển lại tạo cho con người cảm giác mát mẻ, thư thái, yên bình nên thường được dùng trong các không gian có người sử dụng thường xuyên. Đây chỉ là một số ví dụ thông thường, trong thực tế các nhà thiết kế còn kết hợp các màu với nhau tuỳ theo yêu cầu và ý muốn của người sử dụng. Ví dụ, kết hợp màu sắc của công trình để tạo cảnh quan kiến trúc trong khu vực, sử dụng màu sắc của công trình để kết hợp với mục đích tuyên truyền quảng cáo. Việc sử dụng phối hợp các màu sắc khác nhau cho các mái màng cần được chú ý ngay từ khâu thiết kế cắt may màng, điều này có thể làm cho công việc cắt may trở nên phức tạp hơn một chút.

Việc lựa chọn, phối hợp màu sắc cho công trình cần chú ý đến các nguyên tắc tác động của màu sắc như tính tương hợp và tính tương phản của màu sắc. Ví dụ như các màu trắng – đỏ; xanh lá cây – vàng vv...

4.5. Tính thẩm mỹ của công trình

Một quan điểm kiến trúc luôn được tôn trọng là các công trình được xây dựng không chỉ đơn thuần thoả mãn các yêu cầu về công năng mà còn góp phần tôn thêm vẻ đẹp của cảnh quan tại nơi đó. Nhất là khi kinh tế phát triển thì yêu cầu về vẻ đẹp của công trình, việc tạo ra cảnh quan thường mang yếu tố quyết định.

Về giải pháp móng của công trình, ngoài yêu cầu thiết kế sao cho đất có thể tiếp nhận các tải trọng từ trên truyền xuống, móng của các mái màng mỏng còn phải đảm bảo tính đồng bộ và thẩm mỹ. Đôi khi móng các công trình được thiết kế liền với sàn bê tông và các hệ thống thu thoát nước ẩn bên trong. Tuy cũng giống với móng của công trình thông thường nhưng móng của công trình sử dụng màng mỏng có phức tạp hơn trong quá trình khai thác vì các công trình có trọng lượng rất nhẹ nhưng lại chịu các thành phần lực ngang và lực nhổ phát sinh do neo các dây cáp với sức căng khá lớn.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Cũng tồn tại những vấn đề nảy sinh đối với kết cấu màng mỏng là đôi khi không thể dùng kết hợp với các loại vật liệu có ý nghĩa kinh tế và thẩm mỹ khác trong công trình vì có thể làm hư hại đến vật liệu màng. Ví dụ như kết cấu mái màng được dùng phối hợp với tường bao che bằng gạch: tuy gạch xây là kết cấu bao che khá rẻ, đẹp và có các tính chất phù hợp với yêu cầu của công trình, song khi làm việc đồng thời với vỏ màng thì lại không phù hợp vì có thể làm rách, hỏng mái màng. Theo quan điểm cơ học cũng như quan điểm mỹ học, việc lựa chọn kết cấu bao che xung quanh công trình (tường bao và các cửa) là khá khó khăn, trong thực tế đôi khi phải dùng vật liệu nhựa hoặc kết hợp các loại vật liệu để đạt được hiệu quả mong muốn.

4.6. Chống ồn cho công trình

Các công trình sử dụng màng mỏng là loại kết cấu mới được phát triển nên các công việc thí nghiệm, khảo sát còn chưa được thực hiện đầy đủ và kỹ càng về mọi mặt. Trong phạm vi tài liệu này ta chỉ đề cập đến một vài vấn đề về độ ồn cần chú ý khi thiết kế.

❖ Kết cấu màng khí nén, có hai vấn đề chính như sau:

- Các máy móc vận hành để đảm bảo áp suất khí nén ổn định bên trong công trình sẽ tạo ra tiếng ồn. Điều này có thể được giải quyết bằng cách chọn vị trí đặt máy và các thiết bị giảm âm.
- Tiếng ồn từ bên ngoài có thể gây ảnh hưởng đến không gian bên trong tùy theo độ dày của màng (màng thường khá mỏng) và hình dạng của mái màng. Qua các nghiên cứu người ta thấy các mái màng có dạng cong thoải thường chịu ảnh hưởng nhiều hơn, trong khi đó các mái dạng bán cầu có tính phản xạ âm từ bên ngoài tốt hơn. Các vỏ hai lớp có tính cách âm cách nhiệt tốt hơn, song giá thành khá cao nên chỉ sử dụng với các công trình có yêu cầu đặc biệt.

❖ Kết cấu mái màng căng thường là mái hở nên tiếng ồn là vấn đề ít được để ý đến.

4.7. Phòng chống cháy cho công trình

Các quy phạm về phòng chống cháy cho công trình của Việt Nam cũng như của các nước khác trên thế giới thường mới chỉ quy định cụ thể cho các kết cấu làm từ vật liệu thông thường mà chưa có các quy định cụ thể cho kết cấu làm từ vật liệu màng mỏng.

Theo [13], một số tác giả nước ngoài (Hungary, Đức, Pháp) đã tiến hành thí nghiệm và công bố kết quả trong các tài liệu chuyên ngành, mang tính chất chỉ dẫn thiết kế, chưa được tổng kết để đưa thành quy phạm.

Trong chương 2 đã nói về thời gian bắt lửa của các loại vật liệu màng mỏng. Với ngọn lửa xuất phát từ phía dưới, hiện tượng cháy chỉ tồn tại ở

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

ngay vị trí đó và không tạo thành ngọn lửa, không lan rộng. Như vậy, vật liệu màng mỏng có tính *dẻo nóng* (thermo-plastic) hay còn gọi là *mềm nhiệt*. Nhiệt độ làm chảy nhựa nhỏ hơn nhiều so với nhiệt độ cháy. Các nguyên liệu nhựa của màng mỏng thông dụng như Polyester hay PVC đều có nhiệt độ làm chảy nhựa vào khoảng *100~150*^{0}C trong khi đó nhiệt độ cháy của chúng là *340 ~ 390*^{0}C. Trong trường hợp này, khi bắt đầu bắt lửa thì màng đã bị chảy và thủng, hình thành một vành đai ngăn lửa xung quanh khu vực cháy. Về nguy hiểm do khói thì màng mỏng cũng có lợi thế. Trong hầu hết các đám cháy, vỏ màng có tính mềm nhiệt hầu như không bốc thành ngọn lửa và cháy lan vì trước đó chúng đã bị chảy ra và rơi xuống. Với các công trình được căng trên hệ khung thép có thể xảy ra trường hợp nguy hiểm khi mái màng bị chảy đứt và trượt xuống làm cản đường thoát hiểm.

Bản thân vật liệu màng mỏng là khó cháy nên công trình chỉ có khả năng bị cháy lan gây nguy hiểm khi bên trong công trình có chứa những vật liệu dễ cháy khác.

Với mái màng khí nén cần chú ý trường hợp mái có khối tích lớn khi nhiệt độ bên trong tăng có thể xảy ra trường hợp bốc bay mái, tương tự như khinh khí cầu dùng khí nóng.

Việc phòng chống cháy cho công trình sử dụng màng mỏng phụ thuộc khá nhiều yếu tố như: tính ngăn cháy, đảm bảo an toàn cho người, hệ thống thoát hiểm khi có sự cố mà không phụ thuộc nhiều vào bản thân vật liệu màng mỏng.

Một vấn đề khác đặt ra là khi bị cháy thì trong kết cấu màng mỏng có khả năng phát sinh các ứng suất phụ vì nhiệt hay không? Vấn đề này cần có các nghiên cứu kỹ hơn.

Với các mái màng kín có thể nảy sinh nguy hiểm khi ngọn lửa không lớn đến mức làm cho khói có thể thoát ra theo các chỗ rách do cháy, nếu không có các biện pháp thoát khói thì chúng sẽ theo dòng người thoát ra các cửa và có thể làm cho người bị ngộ độc.

Mặc dù vật liệu vỏ màng là khó cháy nhưng một số nước châu Âu vẫn xếp loại công trình này là loại có tính chống cháy thấp [13].

Với các mái màng hở căng trên các khung làm từ các vật liệu có tính chống cháy tốt hoặc ít nhất cũng khó cháy ngang với vật liệu màng mỏng, có thể không cần thiết kế hệ thống phòng chống cháy, các hư hại của vỏ màng do cháy có thể dễ dàng sửa chữa hoặc thay thế.

Trên đây chỉ nói đến tính chống cháy của các loại kết cấu sử dụng màng mỏng một hoặc nhiều lớp còn với các loại kết cấu màng khác có sử dụng các lớp vật liệu cách nhiệt, cách âm hỗn hợp thì chưa đề cập đến.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

4.8. Tính kinh tế của công trình

Bên cạnh các tính chất như tạo dáng tuỳ ý, màu sắc đa dạng, trọng lượng rất nhẹ, tháo lắp nhẹ nhàng và nhanh chóng, công trình sử dụng kết cấu màng mỏng còn được coi là kết cấu kinh tế nhất tính theo chi phí xây dựng công trình.

Từ những năm 80 của thế kỷ XX, các công trình mái màng với chi phí thấp đã được xây dựng ở các nước châu Âu như mái các bể bơi, nhà thi đấu, triển lãm, các nhà xưởng phục vụ cho các ngành công nghiệp với quy mô trung bình. Năm 1980, tại Mỹ đã xây dựng thành công kết cấu màng mỏng dạng khí nén để làm mái che sân vận động có 50.000 chỗ ngồi với chi phí chỉ là 3 triệu USD so với 18 triệu nếu được xây dựng bằng kết cấu bê tông cốt thép hay kết cấu thép.

Chi phí của các loại mái màng có khẩu độ lớn ở châu Âu vào khoảng *130* USD/m^2 mặt bằng với các mái dạng khí nén và khoảng *200* USD/m^2 với các mái màng căng trước (giá thành xây dựng ở đây được tính cho toàn bộ công trình). Mái màng căng có giá thành đắt hơn do chi phí của hệ khung đỡ và yêu cầu nghiêm ngặt về thiết kế song lại không yêu cầu về cung cấp năng lượng trong quá trình sử dụng. Với mái khí nén, việc bơm khí vào bên trong không chỉ để duy trì áp suất cần thiết mà còn có tác dụng thay đổi không khí bên trong mái nhằm cung cấp dưỡng khí cho con người ở bên trong. Theo [13], trong các sân vận động lớn, để thực hiện nhu cầu này cần phải bơm thay đổi khí từ 1 đến 1,5 lần mỗi giờ còn trong các bể bơi hay nhà thi đấu nhỏ có thể cần đến 3~4 lần mỗi ngày. Do đó để giải quyết vấn đề tiết kiệm năng lượng trong quá trình sử dụng, tại mái che sân vận động Sevil, trước mỗi trận đấu người ta sử dụng đến 28 chiếc quạt với công suất lớn để tạo nhanh áp suất khí nén thiết kế trong mái để nâng mái lên còn khi trận đấu kết thúc thì chỉ cần cho hoạt động 2 đến 3 chiếc để duy trì áp suất tối thiểu.

Lợi thế về giá thành khi sử dụng vật liệu màng mỏng không chỉ phát huy đối với các kết cấu mái mà còn được phát huy với các loại kết cấu khác như bể chứa, xilô, đập nước vv...

Chi phí thiết kế công trình sử dụng kết cấu màng mỏng thường cao hơn so với công trình từ các kết cấu thông thường do tính phức tạp của chúng, bao gồm các chi phí thiết kế kết cấu, xác định hình dạng kết cấu, thiết kế cắt may, tạo mẫu cắt...

4.9. Các lĩnh vực ứng dụng của kết cấu màng mỏng

Sau đây ta điểm qua một số lĩnh vực ứng dụng khác nhau của kết cấu màng mỏng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

4.9.1. Công trình khí nén, bể chứa

a) Công trình nông nghiệp: kho chứa phân, chứa cỏ, chứa sản phẩm tươi; nhà kính, nhà lưới phục vụ cho trồng cây, trồng hoa trong các điều kiện thời tiết khắc nghiệt; mái che chuồng trại chăn nuôi ...

b) Công trình công nghiệp: kho chứa, nhà xưởng, đập nước thuỷ lợi hay thuỷ điện...

c) Công trình văn hoá, thể thao: nhà thi đấu, bể bơi, sân vận động, quảng cáo ...

d) Các ứng dụng khác: bể chứa chất lỏng, chất khí; kích tạm cho ôtô (hình 4.8a); ván khuôn cho kết cấu bê tông cốt thép dưới nước (đảo nhân tạo) (hình 4.8b); van tạm cho đường ống dẫn (hình 4.8c).

Trên đây ta mới điểm qua một số ứng dụng quan trọng và phổ biến của kết cấu màng khí nén. Cùng với sự phát triển của khoa học và công nghệ chắc chắn dạng kết cấu này còn được phát triển và không ngừng được mở rộng lĩnh vực áp dụng.

4.9.2. Công trình từ kết cấu màng căng trước

a) Công trình nông nghiệp: kho chứa vật tư nông nghiệp và sản phẩm nông nghiệp; chuồng trại chăn nuôi; trạm dịch vụ thú y; nhà nuôi trồng thủy sản ...

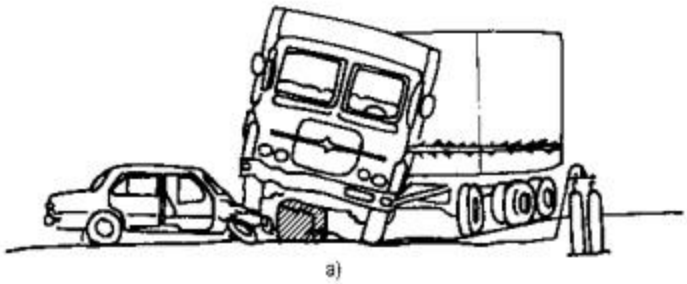
b) Công trình công nghiệp: gara ôtô; trạm rửa xe; trạm xăng dầu; các loại kho chứa; mái che tàu thuỷ; mái che các trạm thu phát sóng thông tin; hanga máy bay ...

c) Công trình văn hoá thể thao: các sân khấu ngoài trời; triển lãm, hội chợ; nhà thi đấu; mái bể bơi, sân vận động, mái contenơ, mái tầu thủy, mái che di động ...

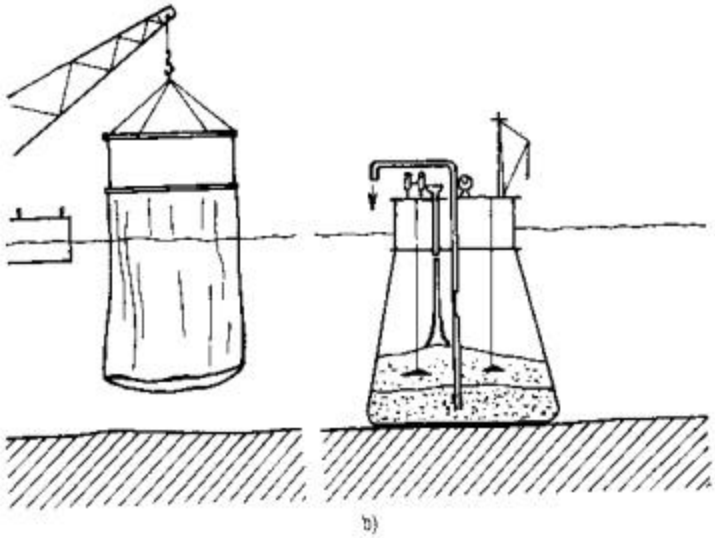
d) Các ứng dụng khác: làm tường cách âm; tường ngăn sóng; các biển hiệu quảng cáo ngoài trời ...

Các công trình từ kết cấu màng căng trước có hình dạng phong phú, không tốn năng lượng khi vận hành, giá thành rẻ hơn hẳn các kết cấu thông thường và không đắt hơn nhiều so với kết cấu màng mỏng khí nén. Với sự phát triển không ngừng của khoa học và công nghệ các màng mỏng ngày càng có cường độ cao hơn do đó diện áp dụng của chúng ngày càng rộng rãi hơn.

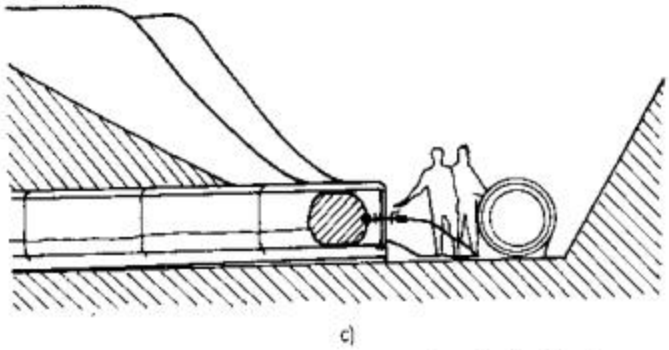
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



a)



b)



c)

Hình 4.8. Các ứng dụng khác của kết cấu khí nén

a) kích hơi ; b) đảo nhân tạo; c) van tạm của đường ống

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

CHƯƠNG 5

CÁC KẾT CẤU KHÁC TRONG CÔNG TRÌNH MÁI MÀNG - THI CÔNG VÀ BẢO DƯỠNG MÁI MÀNG

5.1. Kết cấu đỡ của công trình mái màng

5.1.1. Các loại kết cấu đỡ của công trình mái màng

Do các hạn chế về độ bền, chiều dày, cũng như biến dạng đàn hồi lớn nên không thể tăng một cách tuỳ ý về kích thước khẩu độ của vỏ màng. Để có thể xây dựng các công trình sử dụng kết cấu màng mỏng với khẩu độ lớn, vỏ màng cần được kết hợp cùng làm việc với các kết cấu khác có sức chịu tải lớn và độ cứng lớn hơn như dàn, vòm, dây ... thành một hệ liên hợp. Trong hệ liên hợp này kết cấu màng mỏng có thể tiếp nhận được các tải trọng tập trung mà tự thân chúng là không thể. Người ta đã và đang nghiên cứu hoàn thiện các phương án kết cấu liên hợp của công trình màng mỏng. Các kết cấu khác cùng tham gia trong công trình mái màng được gọi là "*kết cấu đỡ*". Sau đây sẽ trình bày tỷ mỉ các loại kết cấu đỡ quan trọng và thường gặp nhất, đó là: vòm, dàn, khung, dây treo cũng như cột chống ...

Trong kết cấu liên hợp, khoảng cách giữa các kết cấu đỡ được gọi là nhịp của vỏ màng. Để có thể tăng kích thước nhịp, không chỉ bản thân vỏ màng cần có đủ khả năng chịu tải mà các kết cấu đỡ cũng phải được tính toán với nguyên tắc để sao cho nếu xảy ra trường hợp vỏ màng bị rách, hư hỏng do các sự cố (chẳng hạn như cháy nổ, gió bão làm rách, đứt màng hay do lão hoá ...) thì các kết cấu đỡ vẫn đứng vững. Thực chất các kết cấu đỡ phải là kết cấu bất biến hình ở một mức độ nào đó. Ví dụ, căng vỏ màng trên dãy vòm đã được neo, giằng vững chắc theo phương dọc nhà; hay trên hệ cột chống có chân khớp được giằng néo bằng cáp neo xuống đất...

5.1.2. Kết cấu vòm và khung trong mái màng

Kết cấu đỡ được sử dụng rộng rãi trong kết cấu mái màng thường là kết cấu dạng vòm vì các lý do sau:

- Công trình mái màng thường có chiều cao lớn nên vòm có ưu thế hơn các kết cấu khác.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

- Trong kết cấu vòm không có góc gãy, trục thường cong trơn tru nên không gây hư hại cục bộ cho màng.
- Dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng truyền từ mái xuống, vòm chịu lực nén là chủ yếu; có thể chọn hình dáng hình học của trục vòm sao cho mômen uốn phát sinh trong vòm là nhỏ.

Trong thực tế thường dùng vòm có dạng parabol, clip hay phổ biến là các cung tròn để đơn giản trong tính toán và chế tạo. Hình dạng của trục vòm có thể lựa chọn tuỳ ý nhưng không thể chọn vòm có độ cong ngược (vòm ngược), vì khi căng vỏ màng trên các vòm này thì lực căng sẽ làm cho vỏ màng có xu hướng bị nâng lên. Kết cấu vòm có thể là vòm hai khớp, ba khớp hoặc không khớp, có thể là vòm phẳng hay vòm không gian. Về mặt chịu lực thì vòm không khớp có ưu thế hơn cả nhưng rất nhạy cảm với việc chế tạo không chính xác hay chuyển vị cưỡng bức của gối tựa và lực truyền xuống móng là khá lớn. Về mặt thi công lắp dựng thì dạng vòm ba khớp có lợi nhất song cần có tiết diện ngang lớn hơn. Trong thực tế người ta thường sử dụng dạng vòm hai khớp hoặc ba khớp.

Với các mái có kích thước nhỏ ta có thể căng vỏ màng trên các khung có dạng đường gãy khúc hay khung có đoạn thẳng trên đỉnh mái. Giải pháp này chỉ nên dùng với các mái nhỏ, kết cấu đỡ đơn giản, nhưng không có lợi vì vỏ màng căng trên khung dễ bị biến hình và hư hỏng tại các góc (các nút) là nơi phát sinh ứng suất tập trung.

Kết cấu đỡ dạng vòm phẳng chỉ thực sự phù hợp khi các tải trọng truyền từ vỏ mái tác dụng trong mặt phẳng của vòm. Điều kiện này được thoả mãn khi kết cấu vòm chỉ đơn thuần đỡ vỏ màng, còn theo phương vuông góc với mặt phẳng vòm thì vỏ màng có thể trượt tự do trên vòm. Khi đó, hai bên vòm phát sinh hai lực có độ lớn bằng nhau, ngược chiều và có phương hợp với mặt phẳng vòm theo các góc nghiêng bằng nhau. Như vậy, điều kiện cần thiết để tải trọng tác dụng trong mặt phẳng vòm là góc nghiêng của vỏ màng tại hai bên mặt phẳng kết cấu vòm bằng nhau.

Khi vỏ màng được liên kết cố định liên tục trên các vòm và khi góc nghiêng của hai đoạn màng ở hai bên vòm không bằng nhau thì lực căng trong các đoạn vỏ màng ở hai bên vòm sẽ khác nhau và sẽ truyền ảnh hưởng từ đoạn vỏ màng này sang đoạn vỏ màng khác thông qua biến dạng và chuyển vị của vòm. Việc xác định sự phân phối nội lực một cách rõ ràng giữa kết cấu vòm và kết cấu vỏ màng là khá phức tạp, đòi hỏi phải tính toán chính xác trong đó có xét đến sự làm việc đồng thời theo sơ đồ biến dạng. Việc đảm bảo cho sự truyền lực liên tục giữa vỏ màng và kết cấu vòm là khá khó khăn, thông thường người ta sử dụng các liên kết gián đoạn.

Kết cấu vòm không gian cũng hay được sử dụng, phổ biến là hệ được hình thành từ ba, bốn hay nhiều bán vòm, được liên kết với nhau tại một

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

điểm trên đỉnh mái. Để kết cấu liên hợp có thể cùng chịu lực mềm hơn (trường hợp mái SPANDOME), các bán vòm này được liên kết với nhau và với móng bằng các khớp cầu. Các liên kết này cho phép các bán vòm không chỉ chuyển vị trong mặt phẳng mà còn có khả năng chuyển vị ra ngoài mặt phẳng. Dưới tác động của tải trọng, đặc biệt là khi chịu tải trọng gió, khoang đối diện với tải trọng có thể tự thu hẹp diện tích hứng gió và truyền ứng suất căng sang các khoang kế bên. Đây là một trong những ví dụ về sử dụng kết cấu thông minh trong công trình. Tuy nhiên để tránh các chuyển vị quá lớn gây ra uốn xoắn các bán vòm ngoài mặt phẳng, người ta bố trí các dây giằng ngang giữa các bán vòm.

Kết cấu vòm thường được chế tạo từ thép ống hay gỗ dán. Thép ống với hình dạng tròn sẽ ít làm hư hại màng trong khi đỡ mái, hơn nữa tiết diện hình vành khăn của thép ống chịu uốn và xoắn cũng rất tốt. Với các mái nhịp nhỏ người ta thường dùng ống thép tròn còn với các mái có nhịp lớn thì nên sử dụng kết cấu dàn vòm chế tạo từ thép ống.

Kết cấu vòm khá cồng kềnh, khó vận chuyển nguyên dạng được nên thường phải lắp ghép từ hai, ba hay nhiều đoạn cấu kiện. Việc chia đoạn của kết cấu cần đảm bảo sao cho quá trình lắp ráp tại hiện trường được dễ dàng, không yêu cầu các phương tiện vận chuyển quá khổ và thiết bị nâng lớn. Để liên kết các cấu kiện có thể dùng liên kết bu lông hoặc liên kết hàn.

Kết cấu vòm gỗ dán cũng được sử dụng khá phổ biến để làm kết cấu đỡ cho vỏ màng ở các nước châu Âu, khi các vòm có nhịp đến *30* m do có giá thành rẻ hơn và có các tính ưu việt của kết cấu gỗ như: nhẹ, dễ gia công, không bị ăn mòn, chi phí bảo quản thấp, cách nhiệt tốt ... Tuy nhiên ở Việt Nam, sử dụng gỗ có các nhược điểm như: dễ bị mối mọt nên cần xử lý; chống cháy kém; dễ chịu ảnh hưởng của môi trường; ngoài ra chúng cũng dễ làm mòn vải màng tại các vị trí tiếp xúc. Do đó khi sử dụng vòm gỗ làm kết cấu đỡ của mái màng cần chú ý đến việc bảo vệ vỏ màng tại nơi tiếp xúc. Khi sử dụng vòm gỗ cũng cần chú ý đến phòng chống cháy cho công trình.

5.1.3 Kết cấu dây trong mái màng

Dây có đặc tính mềm dẻo gần giống màng mỏng nên thường được được dùng trong mái màng để trực tiếp làm kết cấu đỡ của mái trong hệ liên hợp dây - màng hay chỉ giữ vai trò cáp biên trong các công trình.

Trong kết cấu liên hợp, hệ thống dây không chỉ tiếp nhận các hệ lực phẳng mà còn chịu cả các hệ lực không gian. Hình dạng của dây thường là các đường parabol hay elip; trong trường hợp chịu áp lực đều như dây gia cường mái khí nén hay các bể chứa lớn thì hình dạng cung tròn có lợi hơn cả.

Cần lưu ý đến đặc tính quan trọng của dây là chỉ chịu lực kéo mà không có khả năng chịu uốn. Trong kết cấu liên hợp các dây chỉ đảm bảo

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

điều kiện cân bằng với duy nhất các tải trọng chỉ thay đổi về độ lớn trong mặt phẳng chịu lực; còn khi các tải trọng tác động có phương hay chiều thay đổi thì chúng là hệ biến hình và phát sinh chuyển vị rất lớn. Khi kết cấu dây được sử dụng làm kết cấu đỡ chính thì chúng sẽ phải chịu các tổ hợp tải trọng thường xuyên thay đổi cả phương và chiều tác dụng, do đó trong tính toán thiết kế mái màng cần đặc biệt lưu ý đến vấn đề này, không phải chỉ do yêu cầu sử dụng của công trình mà còn do chuyển vị lớn sẽ làm cho vỏ màng bị nhăn hoặc rách.

Để giải quyết vấn đề này người ta thường dùng các kết cấu dàn dây có độ cứng lớn. Trong kết cấu dàn dây, hệ dây chủ có độ cong âm (võng xuống dưới) được treo trên các cột và dùng các dây khác để làm căng dây chủ thông qua một hệ dây trung gian nhằm tăng cường độ cứng cho hệ. Thực chất là tạo ra trong dây các ứng suất căng trước sao cho với bất kỳ tổ hợp tải trọng nào ứng suất căng trong dây vẫn lớn hơn không. Như vậy kết cấu không bị biến hình và cũng không gây ra chuyển vị lớn trong công trình. Trên hình 5.1 giới thiệu một công trình mái màng căng trên hệ dàn dây.

Vỏ màng thường tự gánh chịu các tải trọng tác động trên phần giữa các kết cấu chính. Nếu nhịp màng nhỏ thì bản thân vỏ màng còn có thể góp phần hạn chế chuyển vị của kết cấu dây. Với các nhịp màng lớn hơn, do biến dạng dài lớn nên màng không còn đảm đương được phần việc hạn chế chuyển vị trong khi chúng vẫn còn khả năng chịu lực, lúc đó cần dùng hệ lưới dây hoặc bố trí thêm hệ dây căng để kéo vỏ màng xuống (xem hình 5.1).

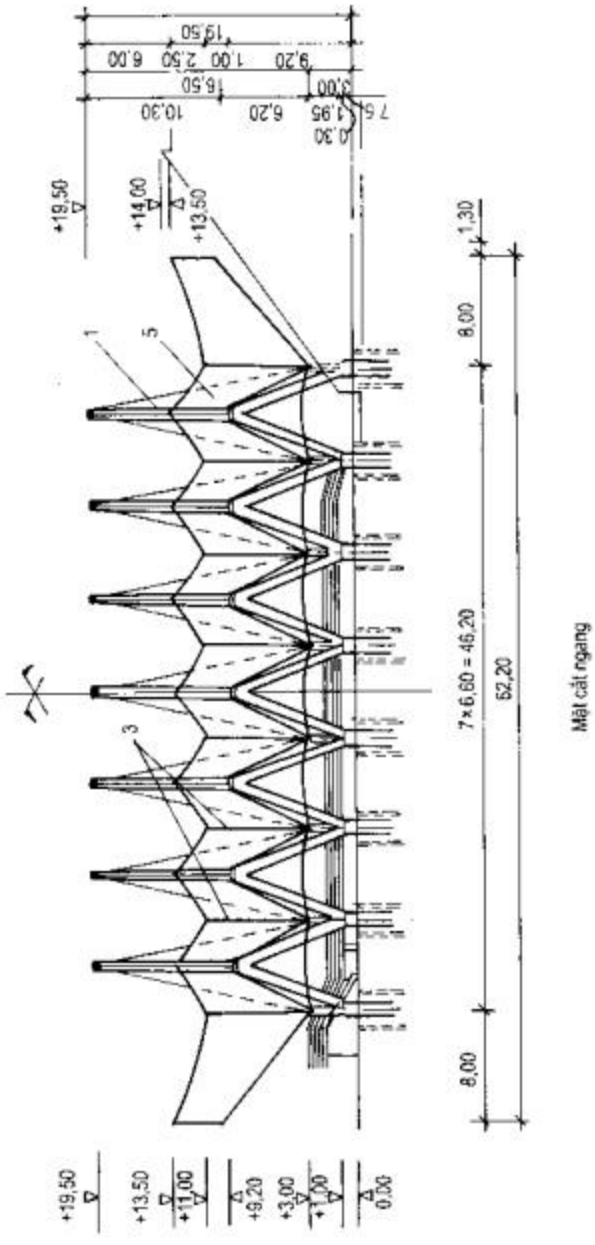
Sử dụng kết cấu dây làm kết cấu đỡ chính trong hệ liên hợp sẽ chi phí rất ít vật liệu, có thể vượt được nhịp lớn và việc thi công lắp dựng cũng trở nên nhẹ nhàng.

Bên cạnh những ưu điểm kể trên, kết cấu dây cũng có những hạn chế:

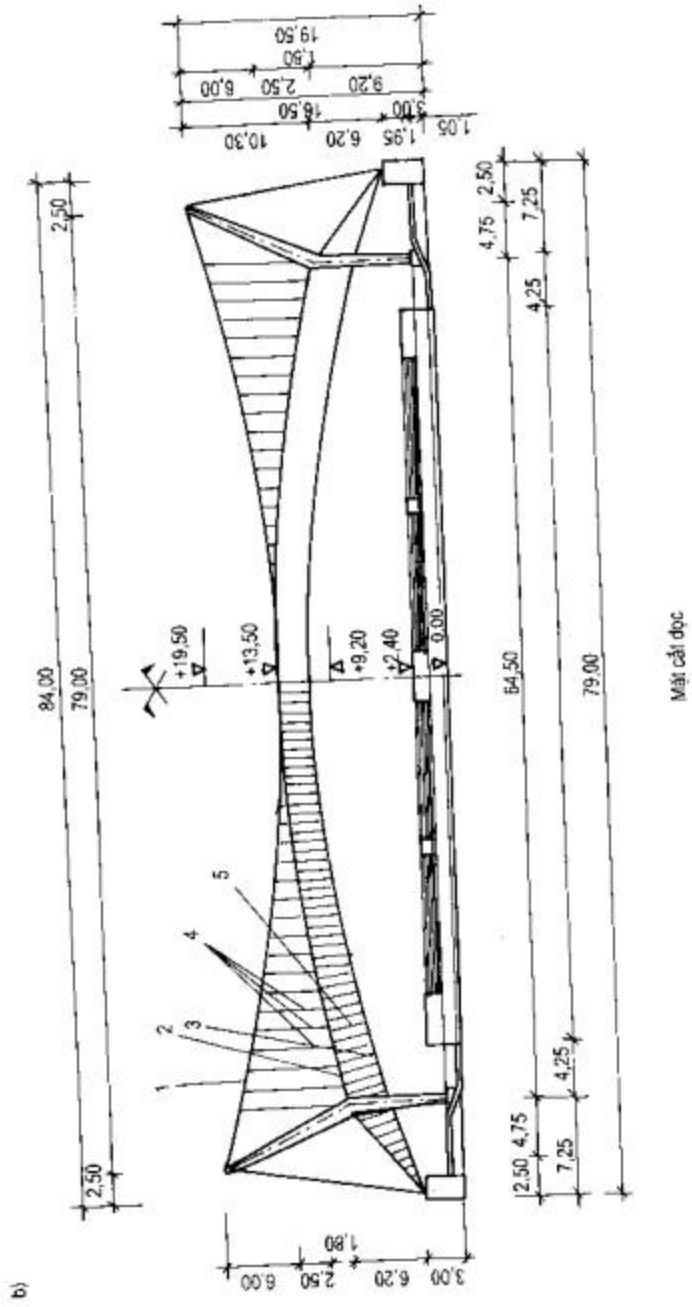
- Hạn chế lớn nhất của kết cấu dây là các đỉnh trụ đỡ có chiều cao khá lớn và thường không phải do yêu cầu sử dụng của công trình. Các trụ cao này đòi hỏi móng lớn và còn cần được neo xuống đất.
- Một hạn chế khác nữa là các móng chịu lực neo khá lớn và là các lực nhổ (hướng lên), do đó cần sử dụng các móng neo trọng lượng lớn (trường hợp neo trọng lực) hoặc cần sử dụng loại neo đặc biệt (neo áp lực) để tiếp nhận các lực này.
- Kết cấu dây đòi hỏi các chi tiết liên kết đặc biệt như các nút liên kết và các cơ cấu tạo ứng suất trước phải được chế tạo với độ chính xác cao.

Tuy có nhiều hạn chế như đã nêu song việc sử dụng kết cấu dây làm kết cấu đỡ chính vẫn đem lại cho công trình mái màng tính kinh tế và hiện đại (điều này được chứng minh qua nhiều công trình mái màng-dây đã xây dựng).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 5.1. Mái màng căng trên dàn dây (sân trượt băng MISKOLC -HUNGARY)

1. Cáp treo của dàn dây; 2. Cáp căng của dàn dây; 3.Cáp d ể căng màng;

4. Dây bụng của dàn; 5. Màng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Do cường độ của vật liệu dây rất lớn nên có thể thoả mãn được cả hai yêu cầu: kết cấu nhẹ và có thể căng đủ cứng (hiện nay dây cáp thép đã có cường độ chịu lực đạt đến 18 000 kG/cm^2).

Kết cấu dây sử dụng sợi nhân tạo cũng có nhiều ưu điểm như nhẹ, mềm dẻo, làm việc tốt với vỏ màng và cũng không cần có biện pháp bảo vệ đặc biệt. Dây nhân tạo rất thích hợp với mái màng có kích thước nhỏ. Các dây cáp kim loại thường được dùng trong các mái kích thước lớn. Liên kết các dây vào nút, dây vào vỏ màng cần có các chi tiết liên kết như bản kẹp, kẹp cáp, cóc cáp ...

5.1.4 Kết cấu cột chống trong mái màng

Trong kết cấu mái màng căng, cột chống là chi tiết hay gặp nhất. Cột thường được sử dụng là cột có hai đầu khớp, đỉnh cột có thể dịch chuyển được. Đỉnh cột là các điểm có chiều cao lớn nhất của mái, từ đó vỏ màng sẽ được trải dốc xuống xung quanh với độ dốc khá lớn và là nơi tiếp nhận lực truyền từ mái.

Một vấn đề quan trọng nảy sinh là làm sao truyền được lực tập trung khá lớn tại đỉnh cột cho vỏ màng. Để giải quyết vấn đề này có thể dùng các chi tiết trung gian dạng vành cứng đối xứng như vành tròn (hình. 5.2), chóm cầu hay thông qua các dây cáp (gọi là biên cáp trong). Hình dạng và cấu tạo các chi tiết này phụ thuộc độ lớn của nội lực cần truyền.

Trên các hình 5.3, 5.4 và 5.5 giới thiệu một số chi tiết đầu cột.

Khi sử dụng các vành cứng, tức là tăng chu vi của liên kết với vỏ màng để giảm bớt lực truyền qua liên kết. Vỏ màng tại đây cần được gia cường dày thêm và cũng chỉ nên sử dụng trong các mái kích thước nhỏ. Trong các mái lớn ta cần sử dụng các biên cáp trong để liên kết vỏ màng vào đỉnh cột chống hoặc kết hợp cả hai loại.

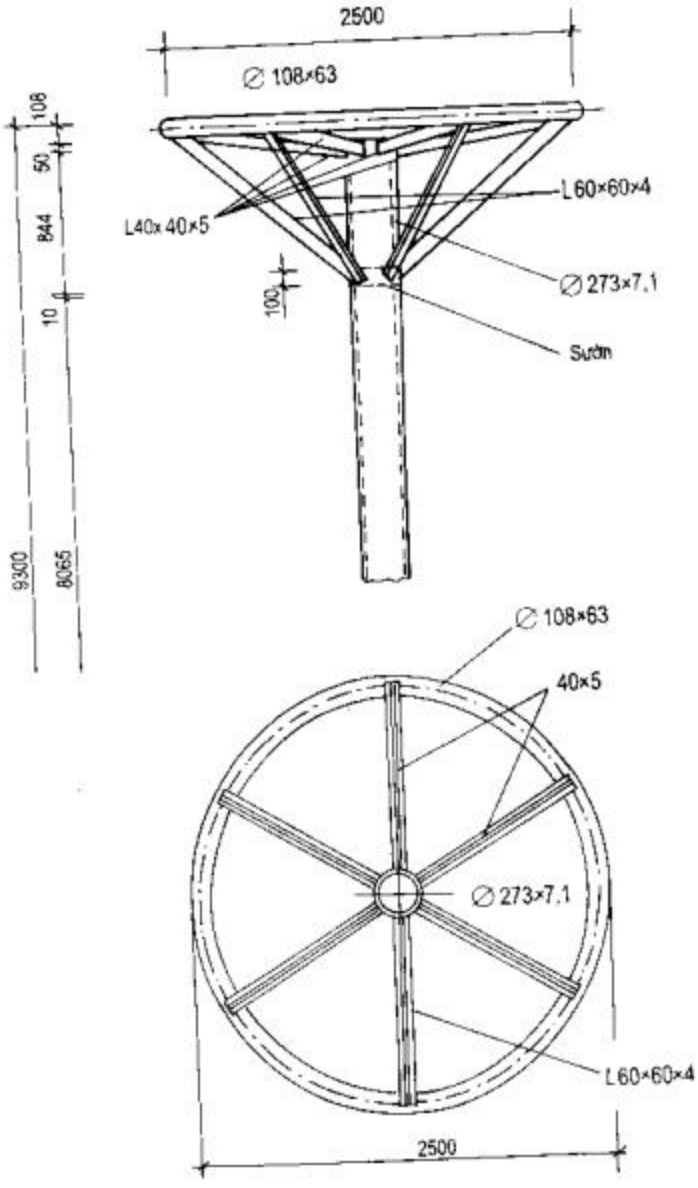
Chân cột thường được liên kết với móng bằng khớp cầu để đảm bảo chân cột có thể xoay theo mọi phương tức là khi tiếp nhận tải trọng, đỉnh cột và vỏ màng có thể cùng chuyển vị, không có chuyển vị tương đối lớn giữa hai kết cấu này.

Một vấn đề nảy sinh cần được hết sức lưu ý là trong khi thi công lắp dựng cột cũng như trong các trường hợp xảy ra sự cố, cột có thể đổ nên cần có các dây neo để giữ chúng. Các dây neo này không được căng mà cần có độ chùng nhất định để vẫn cho phép đỉnh cột và vỏ màng có thể cùng chuyển vị mềm mại khi chịu tải.

Cột chống trong kết cấu liên hợp còn có thể đảm nhận một nhiệm vụ khác là tạo ứng suất căng trong vỏ màng. Tại phần chân cột, cột chống được chế tạo từ hai ống thép lồng vào nhau theo kiểu ống nhòm nhờ các cơ cấu có

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

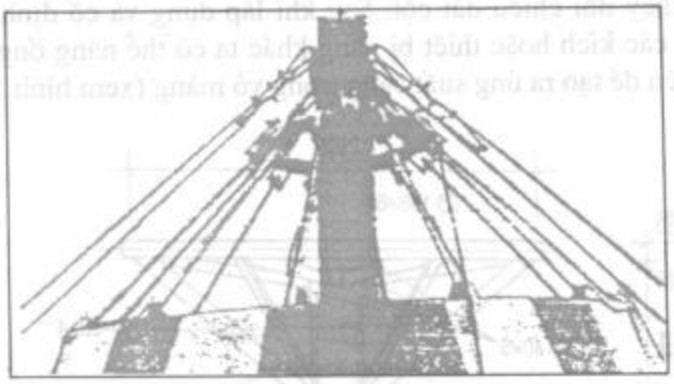
sẵn ta có thể thay đổi chiều dài cột. Sau khi lắp dựng và cố định vỏ màng xong, sử dụng các kích hoặc thiết bị nâng khác ta có thể nâng ống thép bên trong của cột lên để tạo ra ứng suất căng trong vỏ màng (xem hình 5.6).



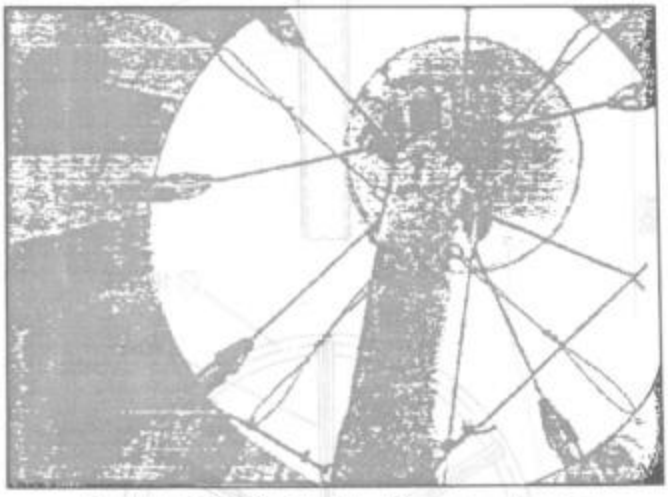
Hình 5.2. Chi tiết đầu cột hình tròn đỡ mái màng

Vật liệu sử dụng làm cột chống trong kết cấu mái màng thường bằng thép ống, cột rỗng tổ hợp ... và sử dụng liên kết hàn tại các chi tiết nút.

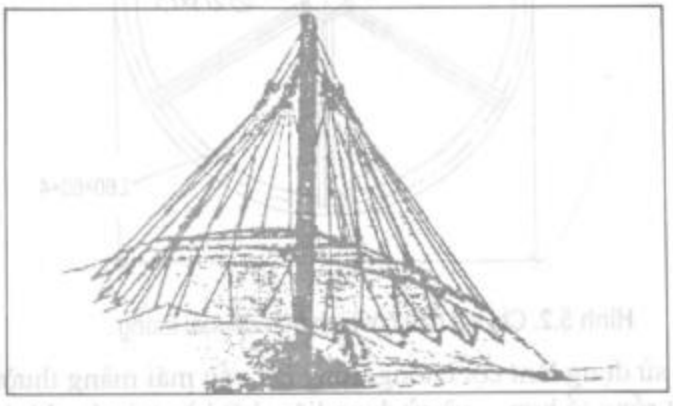
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org



Hình 5.3. Chi tiết đỉnh cột chống của mái màng



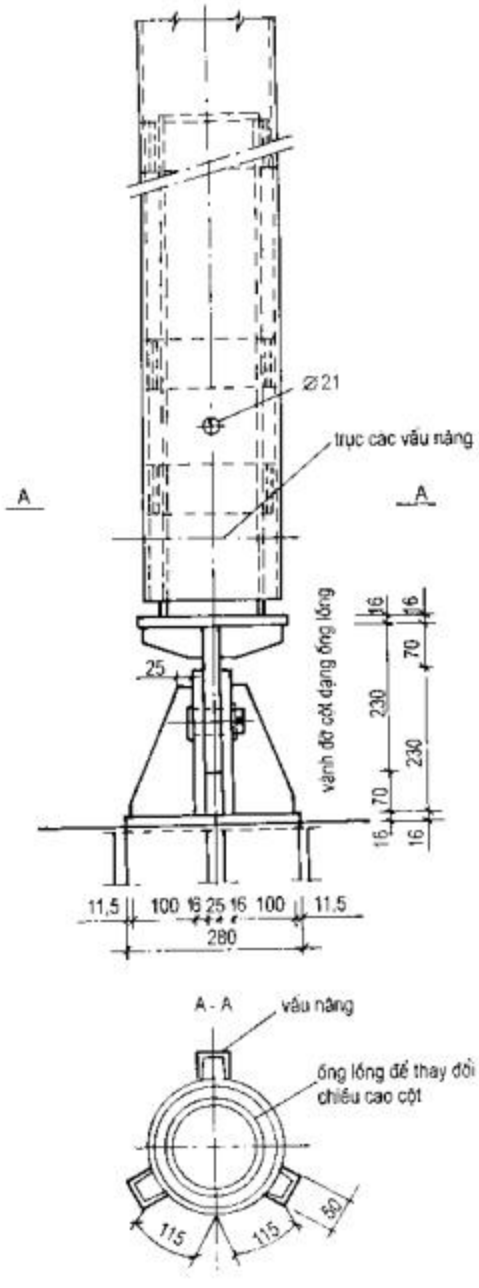
Hình 5.4. Chi tiết đỉnh cột chống của mái màng



Hình 5.5. Chi tiết đỉnh cột chống của mái màng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong các trường hợp cần thiết ta có thể sử dụng cột gỗ. Cột gỗ trong công trình màng mỏng có thể sử dụng kết hợp làm các chi tiết trang trí, ví dụ có thể gia công tạo dáng cột với tiết diện thay đổi theo ý muốn, điều này khó thực hiện được với cột kim loại.



Hình 5.6. Chi tiết chân cột khớp có trục nâng để căng vỏ mái

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

5.2. Kết cấu móng của công trình mái màng

Tương tự như các công trình xây dựng khác, công trình mái màng cũng có kết cấu móng để tiếp nhận và truyền tải trọng từ công trình xuống đất. Nội lực từ vỏ màng truyền qua các kết cấu đỡ và xuống móng được chia thành hai loại lực chính như sau:

- Tại móng của kết cấu vòm, khung đỡ, cột chống, phần lớn là lực thẳng đứng và hướng xuống.
- Tại các móng của kết cấu dây neo là các lực có hướng đi lên (lực nhổ).

Móng của các kết cấu vòm, khung hay cột chống cũng tương tự như móng các công trình thông thường, bằng bê tông hoặc bê tông cốt thép. Móng của các vòm không khớp thường chịu mômen khá lớn nên trong thiết kế cần chọn hình dạng phù hợp. Việc tính toán thiết kế và cấu tạo các móng loại này đã được đề cập trong các giáo trình quen thuộc.

Móng dùng cho các kết cấu dây chịu các lực hướng lên cho nên việc tính toán và cấu tạo phức tạp hơn. Người ta thường sử dụng các hình thức kết cấu móng đặc biệt, gọi là móng neo hay bệ neo. Thông thường, có ba loại móng neo như sau:

- Móng neo sử dụng trọng lực để cân bằng với lực truyền từ kết cấu dây (neo trọng lực).
- Móng neo sử dụng trọng lực và lực ma sát giữa móng với đất để tiếp nhận lực truyền từ dây (móng thường phải được chôn sâu trong đất nên gọi là móng sâu).
- Móng neo hoàn toàn sử dụng áp lực đất để tiếp nhận lực truyền từ dây (neo áp lực).

Trong thiết kế ta cần lưu ý đến các đặc điểm, điều kiện của công trình và điều kiện địa chất để quyết định sử dụng loại móng neo nào cho thích hợp.

5.2.1. Móng neo trọng lực

Móng neo trọng lực là loại móng đơn giản nhất về mặt tính toán thiết kế cũng như chế tạo và thường được áp dụng cho các công trình có lực neo không lớn. Các khối móng có thể đặt trực tiếp trên mặt đất hoặc trong đất và chỉ cần các công cụ đơn giản cũng có thể thi công được. Vấn đề đặt ra là nếu chỉ sử dụng trọng lượng bê tông để chống lại các phản lực từ công trình thì giá thành cao, lãng phí. Để tiết kiệm ta có thể đổ đất hay các vật liệu rẻ tiền vào các các hộp rỗng bằng bê tông cốt thép khi làm móng neo trọng lực. Một biện pháp khác có thể tiết kiệm chi phí cho móng là lợi dụng trọng lượng các bộ phận khác của công trình làm móng neo thông qua các bản mã

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

chôn sẵn, tuy nhiên điều này cũng ít khi xảy ra vì một bộ phận công trình mang nhiều chức năng sẽ làm cho sơ đồ tính toán không mạch lạc và khó kiểm soát được sự làm việc của chúng trong công trình.

Do tính chất đơn giản của móng neo trọng lực nên loại móng này cũng có nhiều ưu điểm khác như: ít tốn chi phí nhân công; không đòi hỏi các loại đất có tính năng cơ lý tốt; không đòi hỏi khảo sát địa chất kỹ càng khi thiết kế móng; không cần có giải pháp chống thấm, chống nước ngầm khi thi công.

Tóm lại, sau khi xem xét cả ưu điểm và nhược điểm ta thấy nên dùng móng neo trọng lực trong các trường hợp lực neo không lớn lắm và khi điều kiện địa chất bất lợi hay các công trình có khả năng cần di chuyển.

5.2.2. Móng neo sâu

Trong các công trình có lực neo lớn người ta thường dùng các loại móng dạng giếng chìm có đường kính lớn hay móng cọc. Các móng này có thể tiếp nhận được phản lực neo rất lớn mà chỉ yêu cầu về diện tích mặt bằng nhỏ song cần đến các loại máy móc chuyên dụng trong thi công. Các móng này tận dụng lực ma sát hình thành giữa đất và kết cấu móng nên có khả năng giảm được kích thước móng. Trong trường hợp này các tính chất cơ lý của đất có ảnh hưởng nhiều đến khả năng chịu lực của móng.

Mặt hạn chế của loại móng này là: khi thi công cần có các thiết bị đặc biệt, đơn giá cao do đó làm tăng giá thành móng; để đánh giá đúng sức chịu tải của móng cần có các số liệu khảo sát địa chất công trình tỷ mỉ, chính xác và nhiều khi còn cần tiến hành các thí nghiệm kiểm tra sức chịu tải của móng.

Móng neo sâu chỉ kinh tế khi công trình cần sử dụng khối lượng móng lớn (điều này hiếm khi xảy ra với kết cấu mái màng). Vì thế loại móng này thường được sử dụng khi điều kiện mặt bằng hạn chế mà các loại móng khác không đáp ứng được; khi lực neo lớn và điều kiện địa chất phù hợp. Khi thiết kế móng neo sâu cần chú ý đến áp lực đẩy nổi của nước của phần móng nằm dưới mực nước ngầm làm giảm trọng lượng và dẫn tới giảm khả năng chịu lực nhổ của móng.

5.2.3. Móng neo áp lực

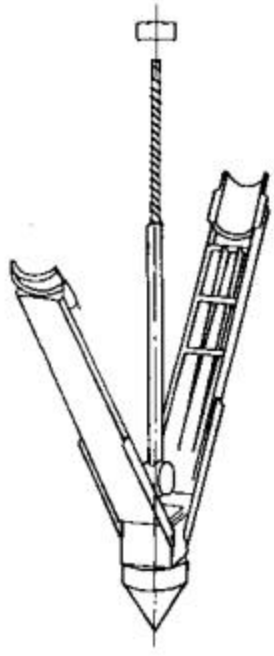
Để chịu các lực hướng lên có thể sử dụng các loại móng neo đặc biệt, trong đó áp lực đất giữ vai trò chịu lực chính. Tùy theo độ lớn của lực neo và chất đất, người ta chế tạo các neo có hình thức phù hợp. Các loại neo áp lực thường gặp là neo có cánh mở, neo hình nêm, neo hình côn, răng khế ... Nguyên tắc thực hiện đơn giản nhất của các neo này là khoan tạo lỗ trong đất đá, đặt các thiết bị neo vào vị trí thiết kế, thông qua các cơ cấu có thể vặn

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

ốc từ phía ngoài để các cánh hoặc nêm của neo được mở ra, ép chặt vào đất xung quanh thành lỗ khoan; nhờ lực ma sát với đất và áp lực đất chúng có thể chịu được lực neo (xem hình 5.7)

Để tăng khả năng chịu lực và bảo vệ neo người ta bơm phụt vữa xi măng hay bê tông lấp kín hố khoan, nhờ áp lực cao vữa xi măng còn len lỏi lấp đầy các lỗ rỗng xung quanh hố khoan, tạo ra một bầu đất được gia cố có cường độ chịu lực lớn hơn gọi là bầu neo.Với các neo chịu lực lớn, sau khi khoan người ta còn dùng chất nổ để mở rộng hố neo phía trong để tạo bầu, sau khi đặt neo vào vị trí mới bơm phụt vữa xi măng lấp đầy hố neo.

Các loại móng neo này sử dụng ít vật liệu, thi công dễ dàng nhưng đa phần chỉ chống được lực kéo tốt còn chịu mômen kém. Việc khoan tạo hố neo, nhất là khi các neo lớn, cần có các thiết bị khoan đặc biệt.



Hình 5.7. Một kiểu neo có cánh

Một điều cần lưu ý nữa là tính chất cơ lý của đất quyết định khả năng chịu tải của neo mà kết quả thí nghiệm các mẫu đất được lấy ra từ vị trí để thí nghiệm có thể sai khác so với đất tại chỗ. Điều này có thể nguy hiểm khi mẫu thí nghiệm có tính chất tốt hơn và khả năng chịu tải của neo kém hơn so với tính toán.

Việc tiến hành thí nghiệm kiểm tra sức chịu tải của neo sau khi thi công có thể đảm bảo độ tin cậy của phương pháp thi công móng neo và có thể giảm hệ số an toàn xuống để tránh lãng phí. Nếu khi thí nghiệm có móng neo nào đó không đủ khả năng chịu tải thì cần thay thế bằng một neo mới tại vị trí khác. Để đảm bảo cho neo áp lực không chỉ chịu lực nhổ thẳng đứng mà chịu được cả thành phần nằm ngang người ta sử dụng tấm neo ngang hay đổi trục của neo xiên theo phương của các lực căng.

5.3. Các liên kết, chi tiết nút và cơ cấu tạo lực căng

5.3.1 Các hình thức liên kết màng mỏng

Vật liệu màng mỏng được sản xuất theo dạng tấm, thường có bề rộng khoảng *1,5* m, chiều dài mỗi cuộn có thể đến vài trăm mét. Như đã biết, để chế tạo các vỏ màng cho mái các công trình, các dải màng cần được cắt theo

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

mẫu cắt và liên kết lại với nhau bằng các phương pháp như hàn, dán, may ... hay bằng các liên kết cơ khí.

Để đơn giản trong thi công và đảm bảo chất lượng, phần lớn các liên kết thường được thực hiện trong nhà máy hay công xưởng.

Kết cấu vỏ màng của một công trình lớn có kích thước khá cồng kềnh và trọng lượng cũng khá lớn. Trong quá trình chế tạo tại xưởng cũng phải thực hiện các thao tác di chuyển vỏ màng và thường phải sử dụng sức người. Một mảnh vỏ màng trọng lượng khoảng 1 tấn là đã rất khó khăn khi cần dịch chuyển, thường cần đến vài chục người. Do đó, để dễ dàng khi chế tạo và chuyên chở, vỏ màng cần được chia thành các mảnh có kích thước nhỏ hơn và trọng lượng vừa phải nên cần có các mối liên kết tại hiện trường.

Các mối liên kết tại hiện trường cần được đảm bảo về cường độ, độ bền lâu, truyền lực tốt, ngoài ra còn có những yêu cầu riêng như: thao tác dễ dàng; có thể thực hiện được ở trên cao, ở các vị trí khó; dễ tháo lắp ... Thông thường các phương pháp liên kết sử dụng trong xưởng như hàn, dán hay may đều khó có thể thực hiện ở ngoài hiện trường, một phần vì cần các thiết bị máy móc cồng kềnh, phần khác do khó đảm bảo được các yêu cầu của phương pháp thực hiện nên chất lượng khó đảm bảo.

Ngoài hiện trường các liên kết cơ khí tỏ ra hiệu quả hơn và có thể thoả mãn được hầu hết các yêu cầu đã nêu.

Như vậy, có thể chia các liên kết trong vỏ màng thành hai loại:

✦ Liên kết thực hiện trong công xưởng

✦ Liên kết thực hiện tại hiện trường.

Trong công trình, vỏ màng chỉ thực sự làm việc theo đúng như sơ đồ tính toán lý thuyết khi toàn bộ mặt mái đều tham gia chịu lực. Điều đó có nghĩa là các liên kết cần đảm bảo được tính liên tục của mặt mái; các bộ phận trong mái màng cần truyền nội lực qua lại cho nhau một cách đều đặn liên tục không đứt quãng, không gây tập trung ứng suất quá lớn. Yêu cầu này được đảm bảo tốt đối với các mối liên kết trong công xưởng, còn với các mối liên kết ngoài hiện trường thì chỉ gần đạt được như yêu cầu. Do đó, cần cân nhắc khi sử dụng các mối liên kết ngoài hiện trường ở vị trí nào trong mái màng cho hợp lý.

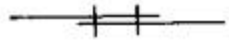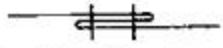
a) Các mối liên kết thực hiện trong công xưởng

Với các lợi thế như: điều kiện sản xuất đảm bảo, máy móc phù hợp, tiết kiệm được vật liệu ... và có thể thoả mãn hoàn toàn các yêu cầu của mối nối như: bảo đảm về cường độ, mức độ tin cậy cao, truyền lực liên tục ... nên các mối liên kết chế tạo trong xưởng chiếm hầu hết khối lượng liên kết của vỏ mái màng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trên bảng 5.1 giới thiệu các phương pháp liên kết thường được thực hiện trong xưởng.

***Bảng 5.1.* Các mối liên kết trong xưởng**

Tên liên kết	Sơ đồ
Liên kết may chồng đơn hai hàng	
Liên kết may chồng đơn 4 hàng	
Đường may vùng cần gia cường	
May gấp mép đơn (kiểu Pháp)	
May gấp mép kép (kiểu Pháp), hai hàng	
Đường may kép kiểu Pháp, 4 hàng	
Gấp mép vỏ màng tại biên - đơn	
Gấp mép biên – kép	
Mối hàn cao tần	
Mối hàn cao tần hai bên	
Liên kết hàn bằng nhiệt	
Liên kết hàn bằng khí nóng	
Liên kết dán	
Liên kết hàn bằng chất hoà tan	

Sau đây là một vài phương pháp liên kết thông dụng:

❖ **Liên kết hàn** là loại liên kết thích hợp nhất và phổ biến nhất trong chế tạo vỏ màng mỏng. Dưới tác động của nhiệt khi hàn, các lớp phủ của màng là nhựa mềm nhiệt sẽ chảy ra, hoà tan vào nhau và tạo thành môi trường đồng nhất tại mối nối (xem chi tiết trong chương 2). Có nhiều phương

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

pháp hàn như: hàn cao tần, hàn nhiệt, hàn khí nóng ...

Về mặt chịu lực, liên kết hàn là loại liên kết hợp lý. Bản chất của mối hàn là khi hàn chỉ có lớp phủ PVC chảy ra và đồng nhất với nhau còn cốt vải ở bên trong thì không. Vì thế, tùy theo cường độ của vật liệu màng, ta chọn bề rộng đường hàn sao cho cường độ chống cắt của lớp phủ PVC (cường độ của cốt vải polyester có thể bỏ qua) lớn hơn cường độ kéo đứt của màng. Thông thường, với các màng mỏng có chiều dày nhỏ hơn *1* mm ta sử dụng mối hàn có bề rộng khoảng *20* đến *40* mm là đảm bảo. Trong chương 2 đã trình bày các phương pháp hàn để có thể đạt được cường độ mối nối lớn hơn cường độ kéo đứt của vật liệu màng. Qua nhiều thí nghiệm kiểm tra cho thấy: khi kéo mẫu, vật liệu màng luôn bị đứt tại chỗ tiếp giáp với mối nối và đứt ở ứng suất thấp hơn cường độ của vật liệu. Đó là do tại vùng lân cận mối hàn, tiết diện vật liệu đã bị giảm yếu nên cường độ mối hàn chỉ đạt được hơn 80% cường độ vật liệu cơ bản. Các yếu tố làm giảm cường độ của mối nối thường là: đường hàn chưa ngấu hoặc cháy, bề mặt vật liệu không sạch, vật liệu bị nhăn tại mối nối. Trong thực tế còn chưa có thiết bị kiểm tra và loại bỏ hoàn toàn các nguyên nhân này nên vẫn phải kiểm tra chất lượng đường hàn bằng mắt thường và bằng thí nghiệm kéo các mẫu thử.

Liên kết hàn không dùng được đối với vật liệu màng có lớp nhựa phủ quá mỏng hay các đường hàn có dạng cong quá phức tạp. Trong chương 2 cũng đã nêu các phương pháp hàn khí nóng và thiết bị hàn cầm tay để có thể thực hiện sửa chữa nhỏ hay hàn những vùng có yêu cầu về cường độ thấp. Còn trong nhà máy người ta thường dùng các thiết bị hàn cao tần.

❖ **Liên kết dán**. Trong chương 2 đã nêu các ưu và khuyết điểm của phương pháp này. Liên kết dán thường chỉ định dùng trong các trường hợp cần sửa chữa các hư hỏng của vỏ màng hay trong các trường hợp đặc biệt.

Yêu cầu của phương pháp này đòi hỏi: bề mặt vật liệu rất sạch; việc phết keo lên bề mặt vật liệu cần rất đều; cần thời gian nén ép hai phần vật liệu trong lúc chờ keo khô, ngay cả khi gia công nhiệt mối nối cũng cần thời gian. Hơn nữa, giá thành keo dán khá đắt; yêu cầu nhiều nhân công; độ bền của mối nối thấp hơn so với phương pháp hàn.

Hiện nay, người ta thường dùng phương pháp dán để dán kín và bảo vệ các đường may, dán các xuồng cao su hay khinh khí cầu...

Các mối liên kết trong màng mỏng sử dụng cốt vải từ sợi thuỷ tinh - lớp phủ teflon và các loại màng không thể hàn được nên bắt buộc phải dùng phương pháp dán.

❖ **Liên kết may** là biện pháp liên kết cổ xưa và dễ dàng nhất để liên kết vật liệu màng mỏng. Tuy nhiên cường độ của chúng thường thấp, độ bền

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

lâu kém. Hiện nay, với các đường may có bề rộng liên kết lớn, sử dụng nhiều đường may với chỉ có cường độ cao thì liên kết may cũng chỉ gần đạt đến cường độ của vật liệu. Trường hợp vỏ màng có cường độ chịu lực rất cao thì đường may càng không thể đáp ứng được. Bên cạnh đó, hạn chế lớn nhất của liên kết may là không kín nước; tác động của độ ẩm, ánh sáng chiếu trực tiếp vào cốt vải thường làm cho mối nối bị hỏng chỉ sau vài năm. Để tăng tuổi thọ của liên kết may cần có biện pháp bảo vệ.

Đặc điểm có lợi của liên kết may là cường độ của chúng ít thay đổi khi nhiệt độ tăng do đó hiện nay người ta vẫn còn sử dụng phương pháp này.

Các phương pháp liên kết hỗn hợp giữa may và hàn hoặc may và dán cũng hay được sử dụng. Sau khi may người ta tiếp tục hàn tại các liên kết hoặc may xong người ta dán thêm một lớp bảo vệ.

Các đường may được dùng phổ biến khi liên kết dọc theo các biên tại những chi tiết nút truyền lực vì có thể thực hiện may theo các đường cong phức tạp. Máy may để may màng mỏng hiện nay là các máy may đặc biệt sử dụng hai kim và mỗi lần thực hiện được hai đường may.

b) Các mối liên kết ngoài hiện trường

Các liên kết thực hiện tại hiện trường nhằm đáp ứng các mục đích sau:

- Để dễ dàng trong gia công, đóng gói và vận chuyển;
- Thông qua các mối nối này có thể chỉnh sửa những sai lệch về kích thước hoặc có thể thay thế từng phần mái khi cần thiết hoặc có thể mở rộng công trình khi có nhu cầu.

Ngoài hiện trường thường sử dụng các liên kết cơ khí.

Trong bảng 5.2 giới thiệu một số liên kết cơ khí thường dùng.

Cần lưu ý là "các mối nối ngoài hiện trường" không phải được chế tạo tại hiện trường mà trong quá trình sản xuất vỏ màng ở xưởng các chi tiết của mối nối đã được gắn sẵn vào các mảnh vỏ màng tại các vị trí định trước; nhờ các chi tiết này ta có thể liên kết các phần vỏ màng lại với nhau hay với các biên cứng tại hiện trường.

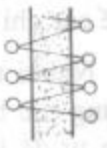
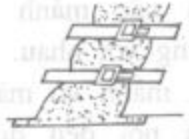
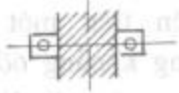
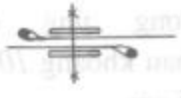
Các mối nối tại hiện trường thường có cường độ thấp hơn cường độ của vật liệu, các mối liên kết cơ khí thường là đứt quãng và không truyền được lực một cách liên tục.

Cho đến nay có rất nhiều loại mối liên kết cơ khí và người ta vẫn không ngừng sáng tạo và sử dụng các loại mới. Dưới đây chỉ trình bày một số hình thức liên kết thông dụng:

❖ **Liên kết bản kẹp** (cài): cách thông dụng nhất để liên kết vỏ màng một cách linh hoạt ngoài hiện trường (hình 5.8).

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Bảng 5.2. **Một số cách liên kết cơ khí ngoài hiện trường**

Tên gọi	Sơ đồ	*Tên gọi*	Sơ đồ
Dây căng từ mặt trên màng		Liên kết luồn dây qua mép vỏ màng	
Dây căng từ mặt dưới màng		Liên kết luồn dây qua đinh ôgiê	
Dây treo luồn phía dưới màng		Liên kết khoá kéo	
Dây treo từ phía trên màng		Liên kết buộc dây kiểu may	
Căng vỏ màng bằng ống tại biên		Liên kết cài	
Căng vỏ màng bằng dây cáp biên		Liên kết khoá rút kiểu thắt lưng	
Căng màng vào bêtông (dùng lõi gỗ, nhựa hay kim loại)		Liên kết qua lõi	
Liên kết vào bêtông dùng đinh hay vít		Mối nối (xiết ốc) dùng bản kim loại	

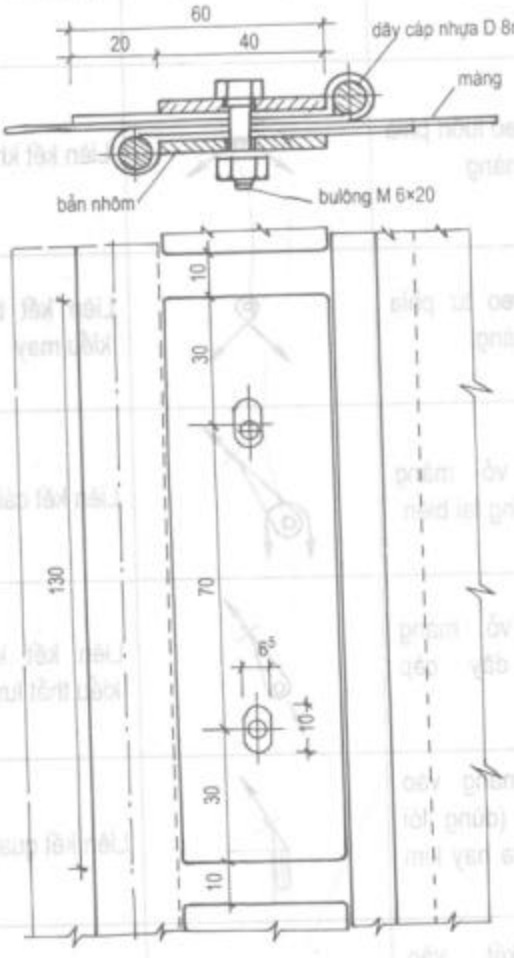
Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Thực chất của mối nối là hàn chặt các sợi dây nhân tạo ∅8 đến ∅10 mm vào các phần vỏ màng dọc theo mép cần nối nhằm tạo ra dải nút tròn để giữ. Sử dụng các bản kẹp bằng nhôm có bề rộng phù hợp kẹp hai bên và mỗi đoạn bản kẹp dài *10* cm đã được khoan sẵn để siết chặt bằng bu lông. Hai phần vỏ màng được ép chặt thông qua các bản kẹp và được liên kết với nhau nhờ lực ma sát. Phía ngoài cùng của phần vỏ màng đã có các nút giữ bằng dây (như là các cáp biên) không cho các bản kẹp bị trượt.

Ngoài yêu cầu về cường độ, mối nối này còn cần được chống ăn mòn vì thế các chi tiết thép như bu lông cần được mạ chống gỉ.

Người ta cũng sử dụng các bản kẹp tương tự để liên kết biên của vỏ màng vào các kết cấu cứng khác như vào các cổng, tường, móng... lúc này các cáp biên chỉ có một phía và các bản kẹp có thể là một tấm dài vì các liên kết này không đòi hỏi về độ mềm.

❖ **Liên kết xỏ lỗ chồng** dùng để nối các mảnh vỏ màng với nhau. Cả hai mảnh vỏ màng cần nối đều được gập lại dọc theo biên trên một dải rộng khoảng *60~80* mm, trên các dải đó đục các lỗ chính xác tương ứng cách nhau khoảng *10* đến *15* cm.



Hình 5.8. Liên kết cơ khí dùng bản nhôm siết ốc

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Qua các lỗ này người ta có thể luồn các sợi dây cáp nhân tạo hay cài các thanh cứng như cài khuy áo để liên kết vỏ màng. Các mối nối này có thể truyền lực tương đối liên tục giữa hai mảnh vỏ màng nhưng cường độ chịu lực thường thấp hơn cường độ chịu lực của vật liệu.

Trong trường hợp sử dụng liên kết bằng dây ta có được một mối nối mềm dẻo hơn nhưng cường độ chịu lực sẽ thấp, còn trường hợp sử dụng các thanh cứng để cài thì cường độ chịu lực của mối nối có thể đạt xấp xỉ cường độ của vật liệu. Có thể sửa đổi các liên kết này một chút để liên kết vỏ màng với biên cứng hay kết cấu khác, lúc này ta có thể luồn các ống cứng vào trong các mép gấp, khoảng cách các điểm nối phụ thuộc độ cứng khi uốn của ống và các điểm này được liên kết với nhau hay liên kết vào biên.

❖ **Liên kết đục lỗ luồn dây.** Tương tự như biện pháp trên, tại các biên của vỏ màng người ra gập mép và đục các lỗ cách đều nhau, gia cường các lỗ này bằng các vành nhôm, nhựa hay sắt mạ nhằm mục đích chống ăn mòn (thường gọi là các đinh ôgiê). Tác dụng của các vành gia cố này là bảo vệ vỏ màng. Qua các lỗ này người ta luồn dây qua lại và xiết lại theo kiểu luồn dây giày. Liên kết dạng này đơn giản, mềm dẻo và còn được sử dụng để điều chỉnh lực căng trong màng hay hiệu chỉnh các sai lệch về kích thước trong gia công. Tuy nhiên, thao tác của phương pháp này chậm, tốn nhân công và cường độ của chúng thấp, chỉ đạt khoảng *20%* cường độ kéo đứt của màng. Liên kết loại này không kín nước và không ngăn được gió vì thế chỉ thích hợp với một số kết cấu đỡ và thường cần có thêm một lớp phủ bảo vệ ở phía ngoài. Người ta cũng có thể chế tạo sẵn các móc tại biên cứng tương ứng với vị trí của lỗ trên vỏ màng, khi căng vỏ màng chỉ cần cài các lỗ trên mép vỏ màng vào các móc này. Trường hợp cần điều chỉnh lực căng trong vỏ hay điều chỉnh sự sai lệch về kích thước khi gia công, người ta sử dụng các lò xo hay các tăng đơ nhỏ làm trung gian, tất nhiên phía trên mối nối này cần có một lớp màng nữa để che mưa che nắng.

5.3.2 Các cơ cấu tạo lực căng trước trong vỏ màng

Trong các chương trước đã nói về tầm quan trọng của ứng suất căng trước theo hai phương trong mặt cong mái màng. Vỏ màng chỉ ở trạng thái căng trước mới có thể tiếp nhận được các tải trọng thay đổi phương, chiều mà không bị biến hình. Với kết cấu màng khí nén, áp suất bên trong luôn tạo ra ứng suất căng ổn định trong vỏ màng. Còn trong kết cấu màng căng cần sử dụng các cơ cấu riêng để tạo ứng lực căng vỏ màng, gọi là: "các cơ cấu tạo lực căng".

Nhiệm vụ chính của "cơ cấu tạo lực căng" trong kết cấu là tạo ra ứng suất trước trong vỏ màng. Bên cạnh nhiệm vụ này chúng còn có những

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

nhiệm vụ khác không kém phần quan trọng: đó là chỉnh sửa các sai lệch về kích thước khi xây dựng và các kích thước khi chế tạo vỏ màng trong công xưởng.

Trong quá trình chế tạo vỏ màng, để trừ hao các sai sót người ta thường để chừa ra khoảng vài cm (có khi đến *10* cm). Tương tự như vậy, việc thi công các kết cấu khác (móng, móng neo hay kết cấu đỡ) cũng có những sai số về kích thước. Các sai lệch kích thước này cần được triệt tiêu hoàn toàn khi lắp dựng vỏ mái. Ví dụ, thông qua các chi tiết phụ trợ, các cơ cấu tạo lực căng ta phải liên kết cho được vỏ màng vào các biên cứng, các kết cấu đỡ khác hoặc các móng neo, trong quá trình này cũng đồng thời tạo ra lực căng trong màng với trị số theo tính toán thiết kế.

Vấn đề nảy sinh là: sự mất mát ứng suất trước là khá lớn, vật liệu màng có môđun đàn hồi nhỏ, biến dạng đàn hồi cũng như biến dạng dư theo thời gian đều khá lớn. Vì vậy các cơ cấu tạo lực căng còn phải đảm nhận việc duy trì lực căng trong vỏ màng sau khi căng và có thể căng thêm trong quá trình sử dụng.

Tóm lại khi thiết kế, chế tạo các "cơ cấu tạo lực căng" cần đảm bảo là chúng không những chỉ tạo ra lực căng trong vỏ màng theo đúng trị số thiết kế mà còn phải triệt tiêu được các sai lệch kích thước cũng như độ dãn dài của vỏ màng. Thông thường, hành trình (chiều dài điều chỉnh) của cơ cấu tạo lực căng cần đạt đến khoảng cách vài chục cm, đôi khi đến hàng mét. Cơ cấu tạo ứng lực căng thường sử dụng trong kết cấu mái màng là các tăng đơ. Tăng đơ có ưu điểm là gọn, dễ lắp đặt và cố định, có thể căng liên tục và có độ tin cậy tốt.

Các tăng đơ chế tạo sẵn thường ít được sử dụng vì bước điều chỉnh của chúng ngắn, hai đầu được uốn móc nên dưới các tải trọng lớn hơn có thể bị duỗi ra. Để khắc phục các hạn chế này người ta sử dụng tăng đơ dạng chữ U. Cơ cấu tạo lực căng này cho đến nay được xem là khá hợp lý vì cơ cấu này cho phép tăng đơ và vỏ màng tự do xoay quanh điểm neo nên chúng luôn nằm theo phương của lực căng. Các cơ cấu này có thể căng vỏ màng trên một chiều dài liên tục nhưng lúc đó cần có kích thước lớn nên giá thành chế tạo sẽ đắt, khó điều chỉnh các sai lệch và kích thước quá lớn cũng làm mất thẩm mỹ. Người ta thường sử dụng nhiều tăng đơ để căng, mỗi cái chỉ chịu trách nhiệm trên một đoạn biên của vỏ màng.

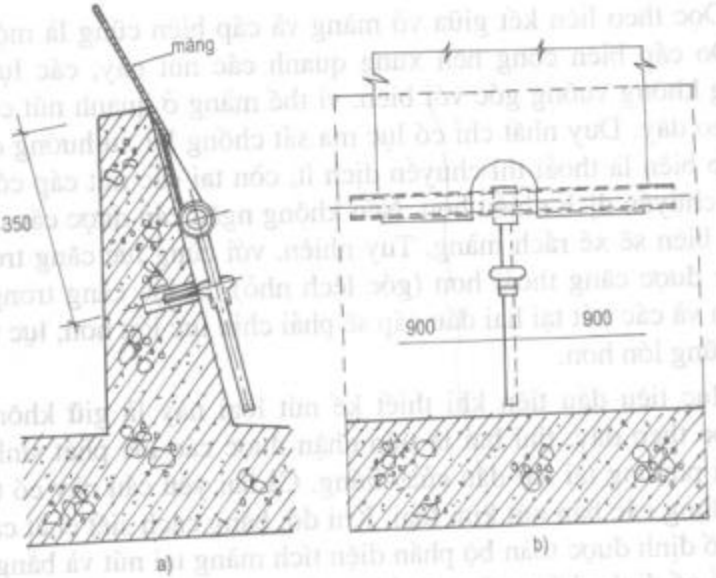
Một cơ cấu tạo lực căng khác đơn giản cũng hay được sử dụng để căng vỏ màng vào các tấm đế bê tông hay tường (hình 5.9).

Chi tiết này cho phép tăng chiều dài hành trình căng nếu cần song cũng có một số hạn chế như sau: khi căng các con ốc phải chịu lực cắt khá lớn; màng mỏng bị chà sát vào các góc cạnh của bêtông. Để khắc phục các

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

hạn chế này ta có thể sử dụng các thép góc để viền mép bê tông ở nơi cọ sát, tránh làm rách vỏ màng.

Cũng có thể lợi dụng các liên kết giữa vỏ màng và cáp biên để sử dụng cáp biên làm cơ cấu căng vỏ màng, khi kéo căng cáp biên (có thể thông qua các đỉnh trụ chân khớp) và neo xuống móng cũng đồng thời tạo ra ứng suất căng trong vỏ màng. Các tăng đơ có bước lớn được sử dụng để neo cáp biên xuống móng và cố định chúng.



Hình 5.9. Liên kết ngoài hiện trường để căng màng vào đế bêtông.

Khi thiết kế các cơ cấu tạo lực căng, ngoài việc tính toán đảm bảo độ bền, ổn định còn cần phải đảm bảo chống ăn mòn và tính thẩm mỹ cho công trình. Các chi tiết căng bao gồm các cơ cấu căng và các điểm nút cần bố trí tránh những lối người qua lại.

Hư hỏng của các chi tiết này đôi khi làm hỏng cả công trình. Các chi tiết nút và cơ cấu căng cần được làm từ kim loại không gỉ, trong trường hợp khó khăn có thể dùng các biện pháp bảo vệ khác như mạ, sơn hay kết hợp cả hai.

5.3.3. Các chi tiết nút trong kết cấu màng căng

Các vị trí giao nhau giữa các chi tiết của vỏ màng với các kết cấu đỡ khác như dây, kết cấu thép... được gọi là nút. Tại các nút, tính liên tục của vỏ

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

màng cũng như của hệ nội lực trong màng (trường ứng suất) bị gián đoạn, tạo ra sự tập trung ứng suất. Do sự chế tạo không chính xác hay do các tác động trong quá trình lắp đặt, tại các nút có thể phát sinh nội lực cục bộ lớn và làm rách vỏ màng. Như vậy, vỏ màng cần được tăng cường ở khu vực xung quanh nút để chịu được các lực phát sinh như đã nêu. Với các nút chịu các tác động không lớn có thể bổ sung một lớp màng hay một lớp vật liệu chống mài mòn để gia cường. Còn với các nút ở tại các góc lớn của vỏ mái, nơi các cáp biên thay đổi độ cong đột ngột, cần gia cường bằng cách lồng thêm vào giữa hai lớp màng một vành cong rộng *4-6* cm bằng polyester cường độ cao.

Dọc theo liên kết giữa vỏ màng và cáp biên cũng là một loại nút đặc biệt. Do cáp biên cong nên xung quanh các nút này, các lực truyền theo phương không vuông góc với biên, vì thế màng ở quanh nút có xu thế trượt dọc theo dây. Duy nhất chỉ có lực ma sát chống lại xu hướng chuyển vị này nếu cáp biên là thoải thì chuyển dịch ít, còn tại các nút cáp có góc nghiêng lớn thì chuyển dịch nhiều hơn. Nếu không ngăn cản được các chuyển vị này thì cáp biên sẽ xé rách màng. Tuy nhiên, với cùng lực căng trong vỏ màng, khi dây được căng thoải hơn (góc lệch nhỏ) thì lực căng trong cáp biên sẽ tăng lên và các nút tại hai đầu cáp sẽ phải chịu lực lớn hơn, lực truyền xuống móng cũng lớn hơn.

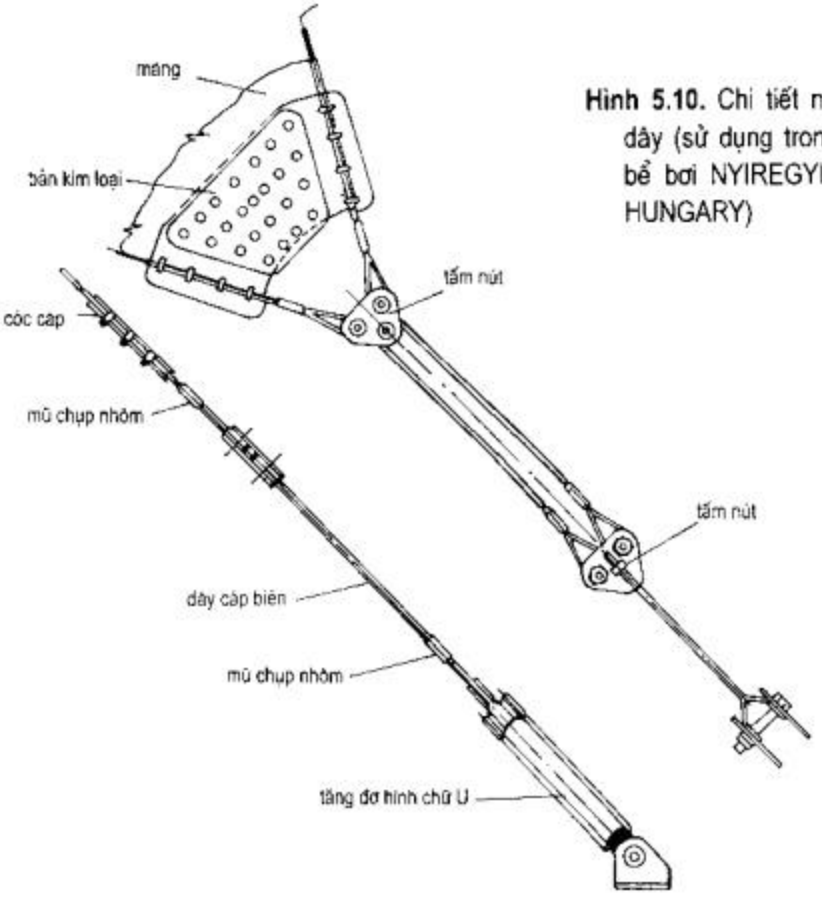
Mục tiêu đầu tiên khi thiết kế nút loại này là giữ không cho màng trượt dọc theo dây, thứ hai là tiếp nhận được các lực phát sinh do dây cáp thay đổi phương tại hai đầu của chúng. Cả hai yêu cầu này có thể thoả mãn nếu sử dụng các bản nút kim loại. Khi đó, bằng cách siết chặt các bu lông ta có thể cố định được toàn bộ phần diện tích màng tại nút và bằng các cóc cáp ta có thể cố định chúng vào cáp biên cũng như không cho các cáp biên tách xa nhau (hình 5.10).

Trong trường hợp các dây có góc hợp thành giữa chúng lớn hơn, việc cố định màng vào dây bằng các bản nút kim loại không còn đủ tác dụng, vì chúng không đủ khả năng để truyền các lực trượt lớn hơn. Lúc này bên cạnh từng sợi cáp cần hàn thêm dải gia cường và nối cố định vào vành gia cường polyester để chúng có thể tiếp nhận các lực trượt phân bố từ vỏ màng và truyền một lực tập trung vào tấm nút (hình 5.11).

Các dải gia cường thường dùng là dải làm từ sợi nhân tạo cường độ cao, không có lớp phủ, thường chịu được lực kéo từ *10* đến *100* kN tùy theo kích thước. Chúng có cấu tạo theo dạng vải dệt khá mềm nên cũng dễ uốn theo phương ngang và như vậy chúng có thể tự uốn theo độ cong của cáp biên và chống được xé rách khi các cáp biên có xu thế tách xa nhau. Vì các dải gia cường chỉ được may vào màng mà không có lớp phủ bảo vệ nên

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

chúng dễ bị ánh sáng làm lão hoá, do đó khi thi công cần chú ý đến biện pháp bảo vệ. Thông thường, các dải gia cường chỉ được may vào ở mặt dưới mái để tránh ánh nắng trực tiếp, có thể sử dụng chỉ và dải màu đen, các đường may cần quét nhựa phủ hay dán thêm một lớp vật liệu để bảo vệ.

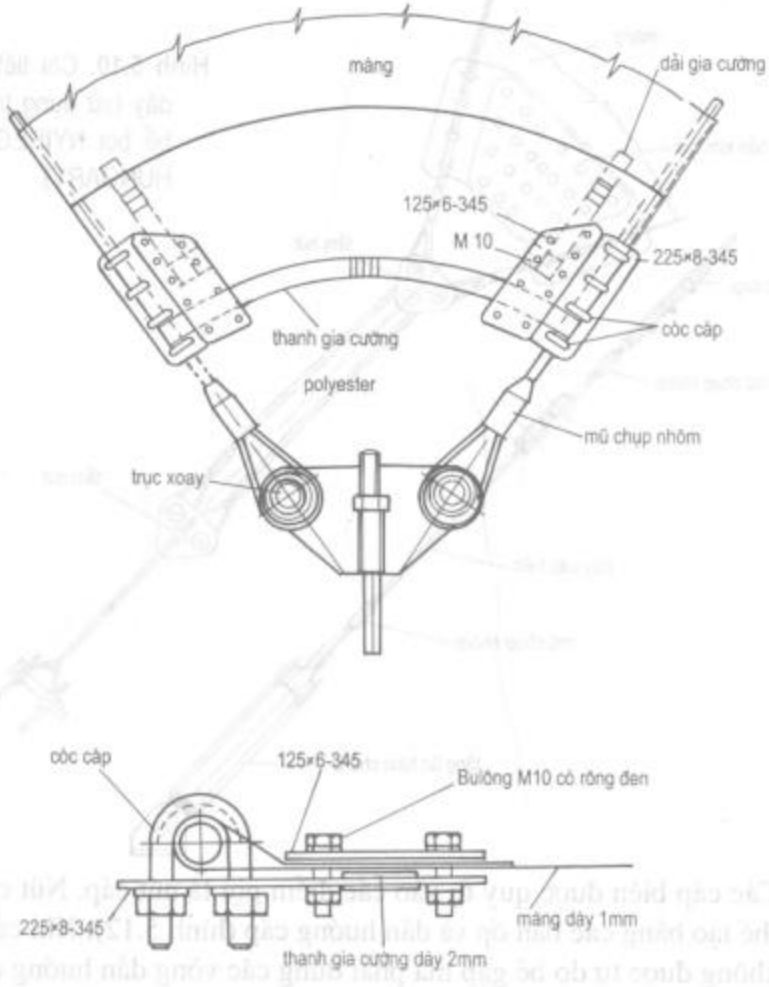


Hình 5.10. Chi tiết nút hai dây (sử dụng trong mái bể bơi NYIREGYHAZA, HUNGARY)

Các cáp biên được quy tụ vào các điểm gọi là nút cáp. Nút cáp thường được chế tạo bằng các bản ốp và dẫn hướng cáp (hình 5.12). Khi cần uốn cáp 180^0, không được tự do bẻ gập mà phải dùng các vòng dẫn hướng cáp và cóc cáp để bắt chặt đầu thừa của cáp. Đây là biện pháp đơn giản nhất để có thể tự do điều chỉnh chiều dài cáp song sẽ xấu và chỉ nên dùng ở những nơi không có yêu cầu về thẩm mỹ. Tại các nút cáp, cấu tạo đẹp nhất là cho các dây cáp vòng gập qua vành dẫn hướng cáp và được kẹp chặt bằng một mũ nhôm (xem hình 5.11). Các nút cáp được chế tạo từ hai nửa, được hàn chặt lại sau khi đã luồn và lắp cáp xong. Cần lưu ý là trong trường hợp này khó có thể điều chỉnh được chiều dài của đoạn cáp vì thế khi cắt cáp và chế tạo các mũ cáp cũng như các chi tiết nút cáp cần có độ chính xác cao.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Với các nút lớn, không dùng biên cáp mà thường sử dụng biên được chế tạo từ các thép ống lớn, khi thiết kế các nút cần chú ý là lực xé rách tại nút sẽ lớn hơn nhiều vì thế bề rộng nút ít nhất phải lớn hơn 5 lần đường kính thép ống, hoặc phải sử dụng các đường liên kết hàn theo tính toán để chịu lực.

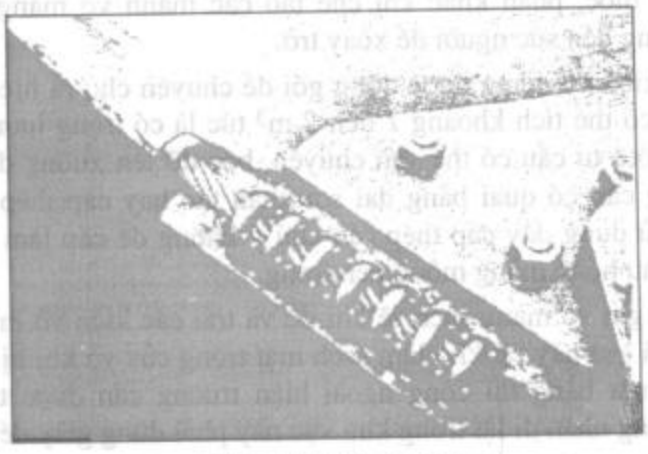


Hình 5.11. Nút dây cáp biên chịu lực neo lớn

Khi thi công công trình cần lưu ý đến các vị trí tiếp xúc trực tiếp với các kết cấu đỡ như: dây, vòm, dàn hay cột chống mà trong trong quá trình sử dụng sau này có khả năng cọ sát làm mài mòn và hư hại vỏ màng. Đặc biệt là dưới tác động của gió hay các tải trọng khác, vỏ màng chuyển vị qua lại tương đối so với kết cấu đỡ. Vì thế, không chỉ xung quanh các nút liên kết với kết cấu đỡ mà cả những nơi có khả năng cọ sát với nhau, vỏ màng cũng

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

cần được bảo vệ. Tại những nơi này người ta thường bố trí hai lớp màng hay thêm một lớp vật liệu chống mài mòn còn tại các cạnh của kết cấu đỡ cũng cần chế tạo trơn không sắc cạnh hoặc có thể lót thêm vật liệu mềm.



Hình 5.12. Nút cáp biên

5.4. Thi công lắp dựng kết cấu mái màng

Với các công trình mái màng kích thước nhỏ, việc lắp dựng khá đơn giản nên ở đây không đề cập đến, vì bất kỳ người công nhân kỹ thuật nào với các thiết bị thủ công cũng có thể thực hiện được. Với các công trình mái màng lớn, việc thi công lắp dựng trở nên phức tạp hơn nhiều. Đáng tiếc là về vấn đề này cho đến nay vẫn còn ít được nghiên cứu. Do mái màng là dạng kết cấu mới được sử dụng, hình thức kết cấu cũng như mục tiêu sử dụng rất đa dạng nên kinh nghiệm thực tế thi công chưa nhiều và hiện cũng chưa tổng hợp thành các tài liệu chuyên khảo (kể cả ở nước ngoài).

Sau đây chúng tôi chỉ nêu lên một số chú ý khi thi công.

Vì là kết cấu mới nên hiện nay ở nước ngoài cũng chưa có những nhà thầu chuyên lắp dựng các mái màng khẩu độ lớn. Thông thường, người thiết kế công trình cũng đồng thời đưa ra giải pháp thi công cho công trình tuỳ theo đặc điểm của công trình và ý tưởng thiết kế của mình.

Tuy nhiên cho đến nay công việc này cũng khá thành công, theo tổng kết trên thế giới thì cho đến năm 1985 hầu như không xảy ra bất kỳ sự cố thi công lớn nào đối với các công trình thuộc loại này. Với công tác chuẩn bị phù hợp trong một vài ngày người ta đã lắp dựng mái che có diện tích mặt bằng đến *1000* m^2. Cần nhắc lại là với đặc điểm của kết cấu màng, các sai sót trong chế tạo tại xưởng và các sai sót trong thiết kế có ảnh hưởng rất lớn đến thi công.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Sau đây là một số vấn đề cần chú ý khi thi công kết cấu màng mỏng (không phân biệt mái màng khí nén hay mái màng căng):

* Kích thước lớn nhất của một mảnh vỏ mái được chế tạo (hàn hay may) trong xưởng là khoảng *1000* đến *2000* m^2. Một phần do hạn chế về thiết bị, máy móc, phần khác khi chế tạo các mảnh vỏ màng trong công xưởng cần dùng đến sức người để xoay trở.

* Các kiện vỏ màng được đóng gói để chuyên chở ra hiện trường lắp dựng thường có thể tích khoảng *1* đến *2* m^3 tức là có trọng lượng khoảng *1* đến *2* tấn để ôtô tự cẩu có thể vận chuyển, bốc dỡ lên xuống dễ dàng. Các kiện vỏ màng cần có quai bằng đai sợi nhân tạo hay cáp thép để cẩu lắp. Trường hợp sử dụng dây cáp thép cần chú ý không để cáp làm hư hỏng vỏ kiện dẫn đến hư hỏng màng mỏng bên trong.

Cần giữ gìn vỏ màng sạch sẽ khi dỡ và trải các kiện vỏ màng ở ngoài hiện trường, vì sau này rất khó làm sạch mặt trong của vỏ khi bị bẩn. Thông thường, trên mặt bằng thi công ngoài hiện trường cần được trải một lớp nilông dày; công nhân đi lại trong khu vực này phải dùng giày dép sạch.

Với vỏ mái màng lớn và được nối từ nhiều mảnh mái, ta có thể tiến hành liên kết các mối nối hiện trường ngay dưới đất. Nhiều mối liên kết với biên hay với các nút cũng được thực hiện dưới đất. Công việc chuẩn bị này thường dùng sức người và có thể mất vài ngày. Do đó trong thời gian này cần chú ý là vỏ màng rất dễ chịu các ảnh hưởng xấu của thời tiết như: gió lớn có thể làm cho vỏ màng bị cuốn và rách dù còn đang ở dưới mặt đất; nước mưa có thể đọng, tích tụ trong vỏ màng. Với mái màng khí nén và một số mái màng căng khi lắp dựng có thể gây nguy hiểm nên cần có rào bảo vệ hiện trường trong suốt thời gian thi công.

Chú ý là ở điều kiện khí hậu lạnh hay khi bề mặt của vỏ màng bị ẩm ướt thì việc dỡ và dịch chuyển các mảnh màng sẽ khó khăn, do đó cần phải tăng nhân công để lắp dựng, thậm chí số người để hoàn thành cùng một công việc có thể tăng lên vài lần.

Công việc thi công lắp dựng vỏ màng cần được tuân thủ theo các nguyên tắc sau:

❖ *Nguyên tắc thứ nhất*: cần lựa chọn thời gian bắt đầu thi công để có thể thực hiện lắp và căng hoàn chỉnh một phần hay toàn bộ mái công trình trong ngày.

❖ *Nguyên tắc thứ hai*: cần chọn thời tiết tốt để tiến hành lắp dựng. Lắp dựng vỏ màng cần chọn ngày gió lặng, theo kinh nghiệm tốc độ gió tối đa không vượt quá *12* km/h để tránh nguy hiểm khi lắp dựng (điều này tất nhiên chỉ liên quan tới việc lắp dựng vỏ màng). Cần tránh ngày mưa trong khi đang

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

tiến hành lắp dựng mái, vì khi gặp mưa mà vỏ màng đang ở trạng thái chùng thì nước sẽ đọng trong vỏ và tụ thành các túi chứa ngày một nhiều, có thể làm hỏng cả kết cấu. Mặc dù tính chất cơ lý của vỏ màng ở nhiệt độ âm, dưới -10^0C cũng không bị ảnh hưởng (xem chương 2), song khi trời lạnh ($5-10^0$C) cũng không nên lắp dựng mái vì có thể gặp những bất tiện trong dịch chuyển để liên kết vỏ màng.

❖ *Nguyên tắc thứ ba* là không được cưỡng bức, căng kéo quá mức đối với vỏ màng để tránh làm rách vỏ màng. Bất kỳ vướng mắc nào xảy ra trong khi thi công, cần dừng ngay việc căng kéo và phải kiên nhẫn tìm nguyên nhân, loại bỏ các vật gây trở ngại trước khi tiếp tục công việc.

Cho đến nay, việc lắp dựng các mái màng có diện tích mặt bằng lớn hơn *600* m^2 thường được thực hiện theo một trong ba phương pháp sau: Một là lắp dựng và căng vỏ màng trên hệ kết cấu đỡ đã được lắp dựng hoàn chỉnh. Hai là các kết cấu đỡ bên dưới được nâng lên và lắp dựng đồng thời cùng với vỏ màng. Ba là lợi dụng các điểm tựa trên các sườn kết cấu đỡ đã dựng lắp để nâng và căng màng.

Ta sẽ xem xét tỉ mỉ ba phương pháp đã nêu trên.

✦ Cách thứ nhất thường được sử dụng khi các kết cấu đỡ bằng kim loại hoặc gỗ. Khi đó, việc lắp dựng kết cấu đỡ giống như khi thi công các kết cấu truyền thống khác. Ví dụ, với một kết cấu vỏ màng căng trên dãy vòm, các vòm đỡ thường có nhịp khoảng *12* đến *48* m còn bước của chúng có thể đến *15* m. Khi dựng lắp vòm đầu tiên ta cần sử dụng hệ giằng bằng cáp thép để giữ vòm ở cả hai phía; vòm tiếp theo được liên kết tạm với vòm đầu tiên, tạo thành một miếng cứng, cả miếng cứng này được giữ bởi các thanh giằng hay các dây neo xuống đất, các vòm còn lại có thể lắp tựa vào miếng cứng đã có. Khi nâng vỏ màng phải dùng đến cần cẩu. Khi cẩu, cần sử dụng các biện pháp để bảo vệ vỏ màng, ví dụ như các ống nhựa tròn để luồn phía dưới và nâng dần lên trên đỉnh vòm. Thông thường lắp và căng vỏ màng từ các bước vòm giữa. Sau khi nâng, vỏ màng được trải ra và phủ đều về hai bên vòm để liên kết vỏ vào vòm và căng vỏ màng xuống các móng neo ở hai bên, các công việc này chỉ cần hai ba người thực hiện. Khi căng xong theo phương ngang nhà, tuỳ theo ý đồ thiết kế ta có thể căng vỏ theo phương dọc nhà nhờ trọng lượng của các vòm biên và dây neo.

✦ Phương pháp thứ hai thường được áp dụng trong các công trình mái màng sử dụng kết cấu cột chống. Ngay từ ở dưới đất, vỏ màng đã được liên kết vào đầu các cột chính. Cần cẩu có thể nâng toàn bộ cả vỏ màng cùng cột chống và giữ cho đến khi lắp xong chân cột chống vào móng và cố định chúng bằng dây cáp neo, sau đó mới tiến hành căng vỏ màng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Cả hai phương pháp trên đều cần sử dụng đến các thiết bị nâng như cần cẩu để nâng vỏ màng hay cả hệ kết cấu và cần sử dụng các thiết bị phụ trợ để tránh làm hư hỏng vỏ màng.

✦ Phương pháp thứ ba là phương pháp có thể tiết kiệm chi phí về máy móc để nâng hạ vỏ màng. Vỏ màng được tháo dỡ tại mặt bằng công trình sau khi kết cấu đỡ dưới đã dựng xong. Vỏ màng được liên kết vào đỉnh cột và chân cột cũng được liên kết vào đế móng. Nhờ các đỉnh trụ của kết cấu đỡ thông qua hệ thống ròng rọc hay tời (tương tự như vai trò của cần cẩu) vỏ màng được kéo dần lên vị trí thiết kế, sau đó được cố định lại và neo màng xuống các biên dưới hay móng neo.

Sau khi nâng và liên kết vỏ màng vào hệ kết cấu đỡ, bước tiếp theo là liên kết và căng vỏ màng vào các biên dưới, tạo ứng suất trước trong vỏ màng. Việc liên kết và căng vỏ màng vào các kết cấu bê tông là đơn giản nhất, ví dụ như liên kết vào các đế bê tông.

Một phương pháp khác để căng tạo ứng suất trước trong vỏ màng tương tự như khi thi công các mái rạp xiếc: ta chỉ cần nâng cao cột lên bằng cách vặn trục vít hay kích thủy lực.

Trước khi căng, các điểm trên vỏ màng cần neo vào các nút liên kết thường không đạt đến vị trí các nút, vì vỏ màng sẽ còn bị biến dạng dãn dài khi căng. Khoảng cách này đã được tính toán ngay từ lúc thiết kế, với việc sử dụng các cơ cấu phụ trợ như ròng rọc hay palăng xích thì chỉ cần sức người là có thể dần dần kéo chúng vào vị trí cần thiết để cố định lại. Cần chú ý là việc căng kéo cần được thực hiện từ từ và đều đặn cả bốn phía của vỏ màng, không được kéo lệch hay kéo quá lực thiết kế.

Nếu việc tính toán thiết kế là đúng đắn, quá trình xây dựng các kết cấu đỡ dưới và gia công vỏ màng trong công xưởng là chính xác thì vỏ màng sẽ dần dần được căng vào đúng tất cả các vị trí đã định mà không có nơi nào bị nhăn.

Các sai lệch về kích thước của vỏ màng có thể được triệt tiêu thông qua các cơ cấu tạo lực căng hay các biên mềm. Trường hợp vỏ màng được liên kết trực tiếp vào các biên khá cứng (đế bê tông hay các chi tiết bê tông khác của công trình) thì các sai lệch này sẽ khó có thể được triệt tiêu, nhất là khi cần liên kết dọc theo chu vi kín của công trình. Ngay từ giai đoạn thiết kế ta cần nghiên cứu chọn giải pháp để sao có thể căng được vỏ màng xuống các chân đế, nhất là với các mái màng nhỏ và mặt bằng công trình kín. Các hạn chế nêu trên có thể được loại bỏ nhờ một cơ cấu trung gian như các tăng đơ ống hoặc một cơ cấu tương tự như ống nhòm có thể co dãn tuỳ theo độ dãn dài của vỏ màng và lực căng yêu cầu.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Với kết cấu màng căng có đoạn tường thẳng đứng, phần mái sẽ được căng nhờ ròng rọc trên các đỉnh trụ phụ tại đỉnh tường xuống đất, còn các tường có thể căng bởi các đoạn ống thép lồng trong biên dưới của của chúng.

Vấn đề phức tạp hơn cả là thực hiện căng vỏ mái màng có biên cáp hay kết cấu đỡ là hệ dây. Lúc này ta thường sử dụng chính dây làm cơ cấu tạo lực căng. Vì thế các nút dây cũng như chiều dài các đoạn dây cần được gia công rất chính xác, đồng bộ và cần phải lưu ý đến độ sai lệch về biến dạng của hai loại vật liệu khác nhau.

- Nếu chiều dài cáp biên ngắn hơn so với kích thước tính toán thì tại xung quanh các biên vỏ màng sẽ phải làm việc thay thế và có thể sẽ bị rách.
- Nếu chiều dài dây dài hơn cần thiết thì vỏ màng sẽ bị nhăn và không chịu được lực.

Việc thiết kế các nút có thể điều chỉnh được cũng là một giải pháp khắc phục. Khi thiết kế cần đảm bảo cho các dây cáp, nút cáp cũng như các chi tiết gia cường có thể điều chỉnh được một cách độc lập.

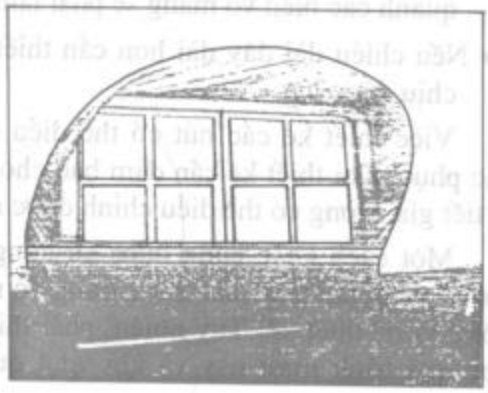
Một cách khác cũng được sử dụng là kéo và rút ngắn chiều dài cáp biên để căng tạo ứng suất trước trong vỏ màng, còn các nút cáp sẽ từ từ trượt xuống vị trí thiết kế. Tuy nhiên, phải thiết kế để sao cho có thể điều khiển được quá trình trượt này và khi vượt quá cũng có thể điều chỉnh kéo lên được.

Nhiệm vụ cuối cùng là điều chỉnh và căng kéo tạo ứng suất đều trong mái theo đúng trị số tính toán. Có nhiều phương pháp cố định vỏ màng và điều chỉnh lực căng trong thi công. Hoặc dùng kết cấu đỡ làm các điểm tựa cố định và căng các biên màng thông qua các tăng đơ, hoặc cố định các biên màng vào kết cấu đỡ dưới trước, sau đó nâng dần kết cấu đỡ lên để tạo ứng suất căng trong mái (như trường hợp mái có cột chống). Trong một công trình có thể sử dụng kết hợp cả hai phương pháp trên.

Một vấn đề đặt ra là làm sao có thể kiểm tra được lực căng trong mái màng? Điều này đòi hỏi các kỹ sư thi công có đủ kinh nghiệm để có thể kiểm tra ngay bằng mắt thường. Các dấu hiệu của sự căng đủ lực là: vỏ mái phẳng phiu không có điểm nào nhăn, các biên phẳng không có điểm nào đọng nước, gió không gây ra mất ổn định. Các dấu hiệu của sự căng quá lực có thể là: các sợi của vỏ màng bị phồng lên do các sợi dọc và sợi ngang của cốt vải đã trượt lên nhau. Phương pháp chính xác hơn là gắn các thiết bị đo để theo dõi các số liệu về lực và kích thước căng ngoài hiện trường và đối chiếu với các số liệu tương ứng được tính toán trong thiết kế (ví dụ sử dụng cờ lê đo lực để vặn đai ốc của các tăng đơ hoặc gắn thiết bị load cell). Việc đo ứng suất căng trong vỏ màng đã được đề cập đến trong chương 4.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Trong công trình màng mỏng còn có các chi tiết kiến trúc như cửa ra vào hay các cửa thoát hiểm. Người ta có thể sử dụng các tấm màng riêng để làm cửa, có thể vén lên lên hay sử dụng khoá kéo. Về mặt kết cấu, tại khu vực này vỏ màng bị gián đoạn trong khi cần phải giữ ứng lực căng cho các phần còn lại của vỏ màng. Trong trường hợp này ta cần đưa vào vỏ mái một sợi cáp xung quanh cửa như là một vành kín (biên cáp kín) (hình 5.13). Vì các dây cáp biên xung quanh cửa có dạng đường cong không gian nên tấm màng mỏng che cửa cần được đo chính xác tại hiện trường, trước khi cắt may.



Hình 5.13. Cửa ra vào sử dụng cáp biên.

Tại các lối vào chính ta có thể vừa sử dụng cáp biên vừa dựng các khung cửa cứng và có đoạn nối vỏ màng từ cáp biên vào khung cứng. Trong trường hợp này các cửa được cấu tạo giống như cửa thông thường.

Việc thi công lắp dựng các kết cấu màng mỏng khác như bể chứa chất lỏng hay các xilô là khá đơn giản nên không đề cập đến ở đây.

Phức tạp nhất là thi công lắp dựng các công trình màng mỏng có hai lớp, thậm chí giữa hai lớp còn có lớp cách nhiệt. Lúc này khó khăn nảy sinh là do lớp màng bên trong phải được dựng lên sau khi đã lắp dựng xong lớp vỏ ngoài. Ngoài ra cần đảm bảo sao cho hai lớp màng luôn cách đều nhau. Ở các nước xứ nóng, màng mỏng loại này thường ít được sử dụng.

Việc thi công công trình cũng bao gồm cả việc làm sạch vỏ màng và sửa chữa nhỏ. Thông thường để rửa mặt trong của vỏ có thể đi lại trên các dàn giáo, sử dụng vòi nước có áp để rửa. Khi thực hiện các công việc này cần có các hệ dây hay thiết bị an toàn, công nhân cũng cần có chuyên môn. Các vết rách nhỏ xảy ra khi thi công cần sửa chữa ngay tại hiện trường bằng keo dán cả phía trong và phía ngoài vỏ màng.

Để làm sạch mặt ngoài của vỏ màng thì dùng các vòi nước áp lực là không đủ thậm chí cả khi sử dụng cùng với các chất tẩy rửa. Người ta hay

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

dùng biện pháp nâng từng phần vỏ lên để hất bụi và các chất bẩn xuống khỏi mái. Công việc này thường thực hiện theo định kỳ vì các điểm gồ ghề trên mái có thể tiếp tục bị đọng bụi bẩn.

5.5. Kiểm tra, duy tu bảo dưỡng kết cấu mái màng

Với các công trình thông thường, trong quá trình sử dụng cũng cần được thường xuyên kiểm tra và duy tu bảo dưỡng. Với công trình màng mỏng, ngoài việc duy tu bảo dưỡng các kết cấu đỡ như các công trình truyền thống, mái màng còn có các đặc điểm riêng khác như cần duy trì thường xuyên ứng suất trước trong vỏ màng, hơn nữa biến dạng dư của vật liệu theo thời gian là đáng kể nên việc kiểm tra và căng lại vỏ màng trong quá trình sử dụng lại càng quan trọng. Một vấn đề được đặt ra là khi nào cần kiểm tra và căng lại vỏ màng?

Thông thường các nhà thiết kế quy định sau khi thi công xong một năm (tức là qua một chu kỳ nhiệt độ thấp nhất và nhiệt độ cao nhất trong năm), người ta tiến hành kiểm tra và căng lại mái, tiếp theo cứ khoảng 2 năm một lần thì kiểm tra và căng lại. Trong các chỉ dẫn kỹ thuật khi sử dụng công trình màng mỏng của Hungary và một số nước khác quy định là nếu trên bề mặt vỏ mái màng xuất hiện các vùng bị chùng hoặc nhăn thì cần tiến hành kiểm tra và căng lại vỏ mái màng.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ***Blumberg H.*** et al: *Kunststoffe*. 66 Nr 2. 97-103. 1976.
2. ***Beger G., Macher E.*** : *Results of wind tunnel test on some pneumatic structures*, Proc. 1st International colloquium on Pneumatic Structures. Stuttgart 1967.
3. ***DIN 4134.*** *Traugluftbauten. Berechnung, Ausführung und Betrieb*. Februar 1983.
4. ***DIN 4112.*** *Fliegende Bauten. Richtlinien für Bemessung und Ausführung*. Februar 1983.
5. ***Eichert U.*** : *Technical Properties of Coated Industrial Fabrics*. Ind. Fab. 81.
6. ***Enka AG ITG*** : *Long-time Properties of PVC-Coated and their Joints*. Eurofabric, 1977.
7. ***Enka AG ITG*** : *Comparative Tests on Common Tarpaulin Materials*, 1973.
8. ***Gáspár Z.*** : *Tartok statickaja Muegyetem*. Kiadó, Budapesti, 1993.
9. ***Hoechst ATA T.*** : *Lagerung von Flüssigkeiten in Behaeltern aus PVC-beschichteten und gummierten* TREVIRA — Hochfest — Geweben, 1977 (P4).
10. ***Hoechst ATA T.*** : *Bestaendigkeit von Schüttgutbehaeltern aus beschichteten* TREVIRA — Hochfest — Geweben gegen diverse Schüttgüter, 1978 (F 031).
11. ***Holstein L.*** : *Textil*, Nr. 5-6. 194-198. 1982.
12. ***Jagfeld P.*** : *Melliand Textilberichte*. Nr. 3. 349-354. 1970.
13. ***Kollár L.*** : *Ponyva szerkezetek*. Müszaki Könyvkiadó. Budapest, 1987
14. ***Krummheuer W.***: *Entwicklungsarbeiten des ITG für beschichtete und gummierte Geweben*. 1980.
15. ***Krummheuer W.***: *J. of Coated Fabrics*. No 8. 1. 54-78. 1978.
16. ***Krummheuer W.***: *Mechanical Behavior of PVC - Coated PES Fabrics and their joints under Continuous and Intermittent Stress*. 1982.
17. ***Lều Thọ Trình*** : *Cách tính hệ treo theo sơ đồ biến dạng*. Nhà Xuất bản Xây dựng. Hà Nội, 2003
18. ***Losch M. H.*** : *Bestimmung der mechanischen Konstanten für einen zweidimensionalen nichtlinearen, anisotropen, elastischen Stoff am Beispiel beschichtetet Gewebe*. Stuttgart, 1971.
19. ***Menges G.*** et al: *Gummi, Asbest, Kautschuk*. 30, Nr. 6. 392-397. 1977.
20. ***Menges G.*** et al: *Kunststoffe*. 66, Nr. 2. 97-103. 1976.
21. ***Mewes H.*** : *Bewitterungsergebnisse an Membranstoffen aus TREVIRA - Hochfest*. 1980.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

22. ***Mewes H.*** *: Adhesion and Tear Propagation of Coated PES and PA Fabrics.* 1979.

23. ***Miami H.*** et al: *J. of Coated Fabrics.* 11, No. 1. 24-40. 1981.

24. ***Niemann H. J*** *: Zur Windbelastung von traluftbauten Konstructive Ingenieurbau Benrichte.* Heft. 13. Institut fur konstructiven Ingennieurbau, Ruhr - Universitat Bochum, 1972

25. ***Niemann H. J*** *: Wind tunnel experiments on aeroelastic models of air-supported structures: Results and conclusions.* Proc. 2nd International Symposium on Pneumatic Structures, Delft 1972.

26. ***Rehm G.*** *: Zweiachsige Langzeit-Zugbeanspruche an PVC –beschich-teten PES - Geweben.* Stuttgart 1979.

27. ***Röhrens H.*** *: Enka Information.* 10, Nr. 2. 2-8. 1982.

28. ***Seaman R.*** et al.: *J. of Coated Fabrics.* 5, No. 4. 225-247. 1976.

29. ***Trần tuấn Sơn:*** *Xác định trạng thái ban đầu của kết cấu màng mỏng.* Tạp chí Khoa học và Công nghệ số 6 tập XXXIII, 1995.

30. ***Nguyễn Tài Trung, Trần Tuấn Sơn:*** *Kết cấu màng mỏng - ưu điểm và khả năng ứng dụng ở nước ta.* Hội nghị khoa học Công nghệ & ĐT lần thứ 12 trường đại học Kiến trúc Hà Nội 16-18/ 11/1996.

31. ***Trần Tuấn Sơn:*** *Kết cấu mái màng căng trước.* Tạp chí Giao thông Vận tải số 4-1997.

32. ***Trần Tuấn Sơn:*** *Tính toán kết cấu màng căng làm việc đồng thời với kết cấu đỡ.* Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị cơ học vật rắn biến dạng toàn quốc lần thứ V, 1996. Tr 499-505.

33. ***Strack D. I.*** *: Tragverhalten von PVC-beschichteten PES-Geweben und deren Nahtverbindungen bei Kurz- und Langzeitbelastung* 1., 2., 3. Part 1978.

34. ***Stühlen F.*** et al: *Kunststoffe.* 73, Nr. 1. 32-35, 1983.

35. ***Szabó J., Kollár L.*** *: Függötetök számitása.* Müszaki Könyvkiadó. Budapest, 1974.

36. ***Yokoo Y., Matsunaga H., Yokoyama Y.*** *: On the Behavior of Wrinkled Regions of Pneumatic Membranes in the Form of a Surface of Revolution under Symmetrical Loading.* Proc. 1971 IASS.

37. *Các sân vận động World cup 2002tại Hàn Quốc và Nhật Bản.* Nhà Xuất bản Kim Đồng, 2003.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

Mục lục

Lời nói đầu 3

Chương 1. Mở đầu 5

1.1 Khái niệm về kết cấu màng mỏng 5

1.2. Sự phát triển của vật liệu màng mỏng trong kết cấu 7

1.3. Phân loại kết cấu màng mỏng hiện đại 10

1.3.1. Phân loại theo công dụng 10

1.3.2. Phân loại theo phương pháp tạo ứng suất trước 10

Chương 2. Cấu tạo và tính năng của vật liệu màng mỏng 13

2.1. Khái niệm về vật liệu màng 13

2.1.1. Cấu tạo của vật liệu màng 13

2.1.2. Các loại vật liệu màng thông dụng 17

2.2. Các phương pháp liên kết vật liệu màng 18

2.2.1. Liên kết may 18

2.2.2. Liên kết dán 19

2.2.3. Liên kết hàn 20

2.2.4. Liên kết cơ khí 23

2.3. Tính năng cơ học của vật liệu màng mỏng 25

2.3.1. Sự dính bám giữa cốt vải và nhựa phủ trong màng mỏng 26

2.3.2. Cường độ kéo đứt và độ dãn dài của màng mỏng 27

2.3.3. Vật liệu màng dưới tác động của tải trọng dài hạn 31

2.3.4. Ảnh hưởng của sự lão hoá tới độ bền của vật liệu 34

2.3.5. Ảnh hưởng của tải trọng tác dụng lặp tới độ bền vật liệu - độ bền mỏi 34

2.3.6. Sự làm việc của vật liệu khi chịu trạng thái ứng suất theo hai phương 35

2.3.7. Cường độ chống xé rách của vật liệu 38

2.3.8. Độ bền của các mối nối vật liệu 40

2.4. Các tính năng khác của vật liệu 42

2.4.1. Các tính năng vật lý của vật liệu 42

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

2.4.2. Đặc tính quang học của vật liệu 44
2.4.3. Đặc tính nhiệt học của vật liệu 45
2.4.4. Đặc tính hoá học của vật liệu 46
2.4.5. Tuổi thọ của vật liệu màng 47
2.4.6. Đặc tính điện học của vật liệu màng 50
2.4.7. Tính bền vững với các vi sinh vật 50
Chương 3. Lý thuyết tính toán kết cấu màng mỏng 52
3.1. Tải trọng và tác động 52
3.1.1. Lực căng ngoài và áp suất bên trong kết cấu 52
3.1.2. Tải trọng do tuyết hay do nước đọng 53
3.1.3. Tải trọng gió 54
3.1.4. Tải trọng bản thân 65
3.1.5. Tác động của sự thay đổi nhiệt độ 65
3.1.6. Tải trọng tính toán đối với kết cấu bể chứa vật liệu 65
3.2. Chọn tiết diện kết cấu màng mỏng 65
3.2.1. Ứng suất giới hạn của vật liệu 65
3.2.2. Các yêu cầu về chọn tiết diện trong thiết kế kết cấu 68
3.3. Lựa chọn hình dạng kết cấu màng mỏng 72
3.3.1. Hình dạng của kết cấu màng căng 72
3.3.2. Hình dạng của kết cấu màng khí nén 76
3.3.3. Hình dạng hợp lý của kết cấu bể chứa 80
3.4. Xác định trạng thái ban đầu của kết cấu màng mỏng 84
3.4.1. Xác định trạng thái ban đầu theo lý thuyết vỏ phi mômen 85
3.4.2. Xác định trạng thái ban đầu theo mô hình hệ lưới dây 86
3.4.3. Biên của hệ lưới dây có mặt bằng trực giao 104
3.5. Tính toán trạng thái kết cấu màng mỏng chịu các tác động bên ngoài 117
3.5.1. Các giả thiết 118
3.5.2. Tính toán trạng thái thay đổi của hệ lưới dây có biên cứng 118
3.5.3. Tính toán trạng thái thay đổi của hệ lưới dây có biên đàn hồi 126
Chương 4. Một số chú ý trong thiết kế kết cấu màng mỏng 144
4.1. Quan điểm chung về thiết kế kết cấu màng mỏng 144
4.1.1 Các lưu ý trong thiết kế kết cấu màng mỏng 145

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

4.1.2. Tác động của thời tiết và các tác động khác đến kết cấu màng mỏng 151
4.1.3. Chế tạo kết cấu màng cong hai chiều và "thiết kế cắt may kết cấu màng mỏng" 152
4.1.4. Lựa chọn vật liệu màng mỏng 154
4.1.5. Tuổi thọ của kết cấu màng mỏng và các hư hỏng 155
4.1.6. Sự thay đổi hình dạng của kết cấu màng mỏng 156
4.2. Mô hình kết cấu màng mỏng 158
4.2.1. Một số kỹ thuật khi xây dựng mô hình kết cấu màng mỏng 158
4.2.2. Mẫu cắt và việc chuẩn bị mô hình 160
4.2.3. Ý nghĩa cơ học của mô hình kết cấu 161
4.3. Công xưởng hoá việc chế tạo kết cấu (chế tạo sẵn) 162
4.4. Lựa chọn màu sắc cho công trình 164
4.5. Tính thẩm mỹ của công trình 164
4.6. Chống ồn cho công trình 165
4.7. Phòng chống cháy cho công trình 165
4.8. Tính kinh tế của công trình 167
4.9. Các lĩnh vực ứng dụng của kết cấu màng mỏng 168
4.9.1. Công trình khí nén, bể chứa 168
4.9.2. Công trình từ kết cấu màng căng trước 168
Chương 5.Các kết cấu khác trong công trình mái màng - thi công và bảo dưỡng mái màng 170
5.1. Kết cấu đỡ của công trình mái màng 170
5.1.1. Các loại kết cấu đỡ của công trình mái màng 170
5.1.2. Kết cấu vòm và khung trong mái màng 170
5.1.3 Kết cấu dây trong mái màng 172
5.1.4 Kết cấu cột chống trong mái màng 176
5.2. Kết cấu móng của công trình mái màng 180
5.2.1. Móng neo trọng lực 180
5.2.2. Móng neo sâu 181
5.2.3. Móng neo áp lực 181
5.3. Các liên kết, chi tiết nút và cơ cấu tạo lực căng 182
5.3.1 Các hình thức liên kết màng mỏng 182

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

5.3.2 Các cơ cấu tạo lực căng trước trong vỏ màng 189
5.3.3. Các chi tiết nút trong kết cấu màng căng 191
5.4. Thi công lắp dựng kết cấu mái màng 195
5.5. Kiểm tra, duy tu bảo dưỡng kết cấu mái màng 201
Tài liệu tham khảo 202

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

KẾT CẤU MÀNG MỎNG

Chịu trách nhiệm xuất bản:

BÙI HỮU HẠNH

Sửa bản in : Đinh Bảo Hạnh

Chế bản : Trần Tuấn Sơn - Vũ Hồng Thanh

Bìa : Vũ Bình Minh

In 1000 cuốn khổ 17 x 24 cm tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 60/XB-QLXB-24 ngày 28-1-2004.In xong và nộp lưu chiểu tháng10-2004

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org

6X4.02
XD- 2004
60 - 2004

2001708

Giá : 30.000đ

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS
http://www.vietcons.org