

## **Chương 5**

### **CẦU VÒM (ARCH BRIDGES)**

#### **Cầu vòm đá**

##### ***Giới thiệu chung về cầu vòm đá***

Cầu vòm đá là cầu được xây bằng đá thiên nhiên với vữa xi măng. Trường hợp đặc biệt với khẩu độ rất nhỏ có thể xếp khan.

Các khối xây đá có khả năng chịu nén tốt, chịu kéo kém. Do đó khi thiết kế đối với kết cấu chịu lực chủ yếu bằng loại vật liệu này phải bảo đảm chịu nén là chính. Nghĩa là cầu luôn được làm thích hợp hơn cả là hệ thống vòm với bộ phận chịu lực chủ yếu là kết cấu bản vòm (hay vành vòm).

Cầu vòm đá so với những cầu được xây dựng bằng các vật liệu khác, có những đặc điểm nổi bật là:

Cầu vòm đá được xây dựng bằng loại vật liệu có độ bền cao. Do đó, khi được phòng nước tốt thì có thể sử dụng được rất bền lâu, hầu như không cần phải sửa chữa. Nhờ tính chất cấu tạo thành khối lớn, nặng nề, nên cầu ít chịu ảnh hưởng của tác dụng động lực do hoạt tải gây ra. Mặt khác cầu vòm đá có khả năng sử dụng vật liệu thiên nhiên (đá, cát) sẵn có ở nhiều nơi.

Cầu vòm đá có hình thức bên ngoài đẹp và dễ trang trí theo yêu cầu kiến trúc. Vì vậy loại cầu này thường được xây dựng trong thành phố, ở công viên, khu du lịch.

Nhược điểm chính của khối xây đá là chịu kéo kém. Trong cầu vòm đá có thể được khắc phục một phần nhờ sự điều chỉnh nhân tạo nội lực trong bản vòm. Việc điều chỉnh này, chủ yếu được thực hiện trong giai đoạn xây dựng cầu. Một nhược điểm đáng kể nhất của cầu vòm đá là: tốn nhiều công sức khi xây dựng, vì phải làm đá giáo phức tạp đòi hỏi chất lượng cao. Trong xây dựng, tất cả các công việc đều rất khó cơ giới hoá.

Trọng lượng bản thân rất lớn và vòm là một hệ thống có lực đẩy ngang, nên móng trụ phải có kích thước lớn.

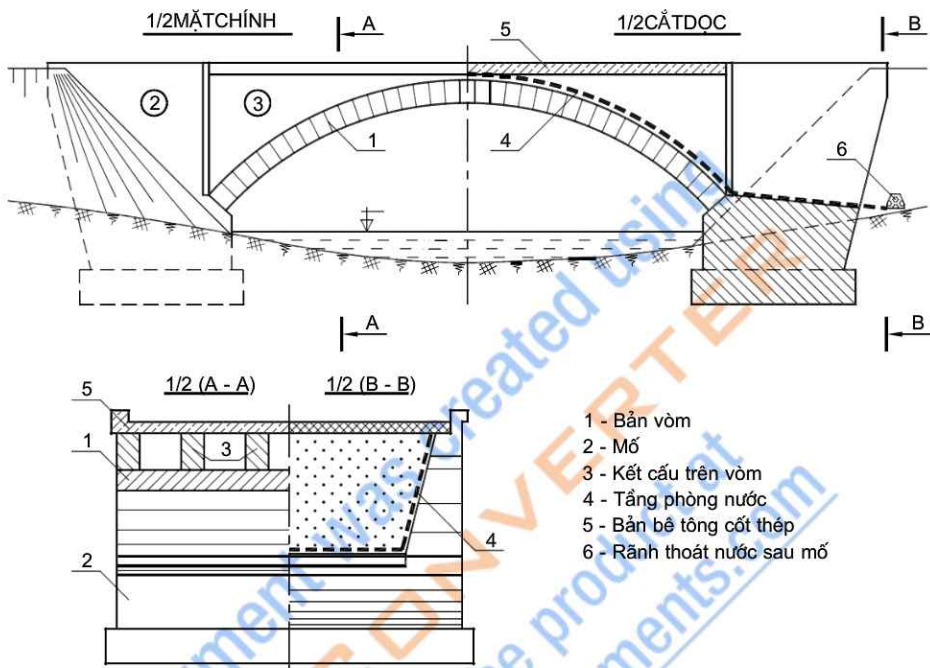
Trong bản vòm đá chỉ cho phép xuất hiện ứng suất kéo rất nhỏ, vì vậy phải được xây dựng nơi có nền đất tốt, rất ít lún. Nếu xây dựng bản vòm ba chốt, thì bản vòm là hệ tĩnh định, không xuất hiện ứng suất phụ bất lợi khi móng có chuyển vị ngang hoặc lún. Nhưng việc làm chốt cho bản vòm lại rất khó khăn, phức tạp, chi phí lớn. Vì lẽ đó, đối với cầu vòm đá thường chỉ áp dụng thích hợp với kết cấu cầu bản vòm không khớp. Cho nên xây dựng cầu vòm đá yêu cầu nơi có điều kiện nền đất tốt phải thường xuyên được đặt ra.

##### ***Cấu tạo chung về cầu vòm đá***

Hiện nay cầu vòm đá được xây dựng với khẩu độ nhỏ không quá 20m (hình 5.1). Bộ phận chịu lực chính của cầu vòm đá là bản vòm. Chỗ bản vòm tựa trên móng, trụ là mặt cắt chân vòm. Mặt cắt ngang cao nhất của bản vòm là mặt cắt đỉnh vòm. Đường tim bản vòm là đường hình học đi qua tất cả các trọng tâm của những mặt cắt ngang theo phương bán kính của bản vòm. Khoảng cách nằm ngang giữa hai tâm bản vòm ở mặt cắt chân vòm là khẩu độ tính toán của bản vòm ( $l$ ). Khoảng cách từ đường nằm ngang nối hai tâm mặt cắt chân vòm với tâm mặt

cắt đỉnh vòm là đường tên tính toán của bản vòm ( $f$ ). Tùy theo trị số của tỷ lệ giữa đường tên và khẩu độ ta có:

Khi  $f/l \geq 1/5$  gọi là bản vòm dốc và khi  $f/l < 1/5$  gọi là bản vòm thoải.



**Hình 5.1** Cấu tạo chung cầu vòm đá khẩu độ nhỏ

Đường trục vòm hợp lý phải trùng với đường cong áp lực do tĩnh tải gây ra, để trong vòm luôn có sự phân bố tốt nhất ứng suất tĩnh toán không những chỉ riêng của tĩnh tải mà của cả hoạt tải và sự thay đổi nhiệt độ. Vì vậy đường trục vòm thường được làm dưới dạng đường cong parabol bậc hai, nhưng để đơn giản trong thi công đối với những vòm khẩu độ nhỏ thường được làm theo đường cung tròn hay elip.

Bề dày bản vòm được tăng dần từ chân vòm đến đỉnh vòm để phù hợp với biểu đồ áp lực tác dụng của tải trọng bên trên. Nhưng thông thường cầu vòm đá được làm với khẩu độ nhỏ dưới 10m, nên để kết cấu được đơn giản và xây dựng dễ dàng, bản vòm được làm có bề dày không đổi trên suốt chiều dài khẩu độ.

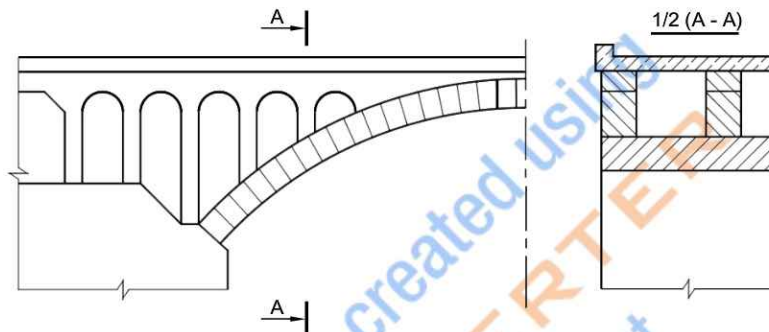
Bề rộng bản vòm được làm không đổi và ít nhất bằng bề rộng phần xe chạy của cầu. Khi cầu nhịp lớn và khổ rộng, bộ phận chịu lực chủ yếu của cầu vòm có thể được làm thành nhiều sườn vòm.

Để đỡ phần xe chạy và truyền áp lực của hoạt tải xuống bản vòm, phải có kết cấu trên bản vòm.

Kết cấu trên bản vòm có thể cấu tạo dưới dạng một khối vật liệu đắp (cát hạt to, sỏi sạn, đá dăm...) hay một khối vật liệu xây đặc (khối xây bằng đá thiên nhiên hoặc bê tông). Nếu kết cấu trên bản vòm là khối vật liệu đắp thì phải có tường xây trên bản vòm theo chiều dọc cầu ở hai bên mép bản vòm để giữ. Nếu kết cấu trên vòm là khối vật liệu xây thì có thể

xây đặc, nếu khẩu độ nhỏ, khi khẩu độ lớn hơn 10m để giảm trọng lượng bên trên và đỡ tốn vật liệu có thể được xây thành các tường dọc theo suốt chiều dài bản vòm.

Nếu khẩu độ cầu vòm đá lớn hơn 15m, thì phía trên bản vòm giữa kết cấu trên bản vòm và móng trụ phải có khe biến dạng làm suốt bề rộng cầu. Kết cấu bên trên bản vòm thường được xây bằng nhiều vòm nhỏ có đường tim là nửa cung tròn với khẩu độ 3m (hình 5.2), do đó kết cấu có những lỗ rỗng theo chiều dọc hay chiều ngang cầu, nhờ vậy mà trọng lượng kết cấu trên bản vòm được giảm đi nhiều so với khi làm đặc.



**Hình 5.2** Cấu tạo cầu vòm đá có phía trên bản vòm được xây bằng nhiều vòm nhỏ

Để tạo những lỗ rỗng theo chiều dọc ở kết cấu trên vòm, có hai cách là: cách thứ nhất: làm các vòm nhỏ tựa lên những bức tường dọc xây trên bản vòm chính, cách thứ hai được sử dụng nhiều là làm các bản bê tông cốt thép tựa lên các bức tường dọc được xây bằng nhiều vòm nhỏ trên vòm chính (hình 5.2). Như vậy vừa tạo lỗ rỗng theo chiều dọc và chiều ngang cầu.

Việc cần thiết phải giảm bề rộng bản vòm khi cầu rộng, có ý nghĩa rất lớn về mặt kinh tế. Khi đó ứng suất do trọng lượng kết cấu trên bản vòm và hoạt tải gây ra tăng lên, vì thế vật liệu để xây dựng bản vòm phải chịu lực hết khả năng. Trong khi đó lại giảm được phản lực gối do trọng lượng bản thân gây ra. Kết quả là khối lượng bản vòm và móng trụ giảm đi. Có nhiều biện pháp để giảm bề rộng của bản vòm để giảm nhẹ bớt kết cấu nhịp như làm hai hay nhiều vành vòm song song, các khoảng trống giữa các vành vòm được phủ bởi các vòm nhỏ. Nhưng như vậy vòm chính lại chịu lực đẩy ngang của các vòm nhỏ. Vì vậy biện pháp thường được sử dụng nhất là thay các vòm nhỏ bằng bản bê tông cốt thép, bản có thể làm gờ theo hai phương dọc và ngang và các gờ này được tựa vào đúng giữa bề rộng các vòm chính.

### **Cầu vòm bê tông cốt thép**

#### **Các sơ đồ cầu vòm bê tông cốt thép**

Cầu vòm bê tông cốt thép thường được xây dựng với khẩu độ lớn hơn nhiều so với cầu vòm đá. Kết cấu chịu lực chủ yếu trong cầu vòm bê tông cốt thép là kết cấu vòm có cấu tạo rất đa dạng (cuốn vòm, sườn vòm...). Nói chung nó là một thanh cong mà hai đầu được liên kết chốt hoặc liên kết ngàm với móng trụ cầu để chúng không thể chuyển vị theo hướng nằm ngang được. Dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng (tĩnh tải, hoạt tải) lên kết cấu nhịp, sẽ gây ra trong móng trụ các lực đẩy ngang và gây ra trong vòm lực nén, mômen uốn và lực cắt. Khi lựa chọn đường trục vòm hợp lý cho trùng với đường cong áp lực của nó thì hầu như tránh được mômen uốn và lực cắt. Tuy nhiên vì trên cầu có hoạt tải chạy qua, nên không thể tránh được mômen uốn do hoạt tải. Kết quả là mặt cắt vòm luôn chịu nén lệch tâm. Điều kiện đó tương đối phù hợp với tính chất chịu lực của bê tông là chịu nén tốt. Khi thiết kế một cách

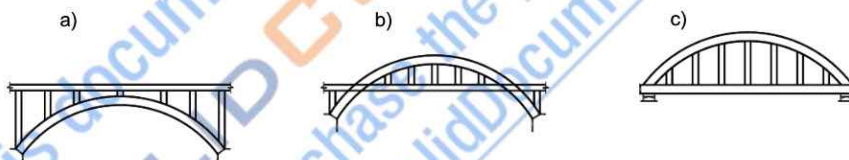
hợp lý thì trị số mômen uốn trong vòm không lớn. Do đó kết cấu nhịp vòm tiết kiệm vật liệu hơn các kết cấu nhịp dầm có cùng khẩu độ và tải trọng (xét riêng về mặt vật liệu làm kết cấu nhịp).

Tuy nhiên, các lực đẩy ngang ở chân vòm truyền lên móng trụ khá lớn, do đó phải tăng kích thước nền móng và tăng khối lượng vật liệu làm móng trụ. Trường hợp đất nền càng yếu thì phí tổn xây dựng móng trụ cầu vòm càng lớn. Như vậy nói chung khi lựa chọn phương án cầu phải xét toàn diện cả phần kết cấu nhịp và phần móng trụ.

Về sơ đồ kết cấu cầu vòm có thể áp dụng: vòm không khớp, vòm hai khớp và vòm ba khớp. Tiết kiệm nhất và cấu tạo đơn giản nhất là sơ đồ cầu vòm không khớp. Tuy nhiên đây là sơ đồ kết cấu siêu tĩnh bậc 3, nên có xuất hiện các nội lực phụ do co ngót, từ biến bê tông, do thay đổi nhiệt độ, đặc biệt là do lún khi nền đất không đủ vững chắc. Sơ đồ cầu vòm hai khớp (hai khớp ở chân vòm) có bậc siêu tĩnh là 1, nên các nội lực phụ cũng nhỏ hơn, chẳng hạn khi móng bị lún thẳng đứng thì trong vòm không xuất hiện mômen phụ. Sơ đồ cầu vòm 3 khớp (hai khớp ở chân vòm và một khớp ở đỉnh vòm) là sơ đồ kết cấu tĩnh định, nên không có các nội lực phụ nói trên. Việc thi công lắp ghép từ các nửa vòm đối xứng tương đối ít phức tạp. Vì vậy cầu vòm 3 khớp không đòi hỏi điều kiện địa chất thật vững chắc (nếu móng bị lún cũng không xuất hiện nội lực phụ trong vòm). Tuy nhiên do có cấu tạo khớp nên thi công khá phức tạp. Xét về mặt độ cứng thì cầu vòm không khớp là cứng nhất, cầu vòm 3 khớp là kém cứng nhất.

Tham số quan trọng nhất của sơ đồ cầu vòm là tỷ số giữa đường tên vòm ( $f$ ) và khẩu độ  $l$ . Tỷ số này càng nhỏ, vòm thoải thì lực đẩy ngang càng lớn và ngược lại. Trong thực tế nên dùng tỷ lệ:  $f/l = (1/4 - 1/6)$ , cá biệt đã có cầu vòm mà  $f/l = (1/10 - 1/16)$ .

Trị số mômen uốn trong vòm phụ thuộc chủ yếu vào hình dạng vòm. Nếu trục vòm trùng với đường cong áp lực do tĩnh tải và một nửa hoạt tải rải đều tương đương thì mômen là nhỏ nhất. Tuy nhiên cầu vòm bê tông cốt thép có đặt cốt thép nên có thể áp dụng dạng đường trục vòm là parabol. Trên vòm có các lực tập trung rất lớn tác dụng từ các cột.



**Hình 5.3** Các sơ đồ cầu vòm theo cao độ đường xe chạy

a) - Cầu đường xe chạy trên; b) - Cầu đường xe chạy giữa; c) - Cầu đường xe chạy dưới

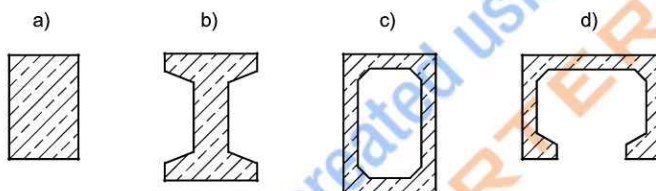
Căn cứ vào vị trí cao độ của mặt xe chạy so với cao độ đỉnh vòm có thể phân loại ra: cầu vòm đường xe chạy trên, cầu vòm đường xe chạy giữa, cầu vòm đường xe chạy dưới như trên hình 5.3. Nói chung, cầu vòm chạy trên là tiết kiệm vật liệu nhất vì khoảng cách giữa các sườn vòm có thể lấy nhỏ hơn so với bề rộng mặt cầu, kích thước móng trụ cũng lấy nhỏ hơn, cấu tạo mặt cầu đơn giản hơn, cao độ đỉnh trụ được hạ thấp xuống. Kết cấu cầu vòm chạy dưới chỉ hợp lý nếu điều kiện tổng thể cầu đòi hỏi chiều cao kiến trúc thấp và cần làm vòm có thanh căng để tạo vẻ đẹp kiến trúc.

Các vòm (sườn vòm, cuốn vòm) của một nhịp cầu vòm được nối với nhau bằng hệ liên kết ngang kiểu thanh để chịu các tải trọng nằm ngang như lực gió... Ngoài ra các liên kết ngang còn đảm bảo độ cứng ngang chung của kết cấu nhịp và độ ổn định của vòm khi xét uốn dọc ngoài mặt phẳng nằm ngang.

Kết cấu nhịp vòm bê tông cốt thép là một hệ thống kết cấu không gian phức tạp gồm nhiều bộ phận cùng tham gia chịu lực chung. Chẳng hạn, trong cầu vòm thì phần hệ dầm và hệ bản mặt cầu cùng với các cột chống có tham gia chịu lực với vòm chủ. Mức độ tham gia đó tùy theo mức độ liên kết giữa các bộ phận đó, đặc biệt là liên kết đầu trên cột với dầm dọc và đầu dưới cột với vòm.

### **Các dạng cấu tạo cầu vòm bê tông cốt thép**

Kết cấu chịu lực chính trong cầu vòm thông thường có các dạng sườn vòm hoặc các cuốn vòm. Mỗi sườn vòm thường không đủ độ cứng ngang, nên cần phải có vài sườn vòm được liên kết ngang với nhau. Mỗi cuốn vòm thường đủ rộng nên cũng có đủ ổn định ngang. Mỗi nhịp cầu vòm có thể chỉ có một cuốn vòm với mặt cắt hình chữ nhật đặc.



**Hình 5.4** Các mặt cắt ngang sườn vòm bê tông cốt thép

a) - Mặt cắt chữ nhật; b) - Mặt cắt chữ I; c và d) - Mặt cắt hình hộp

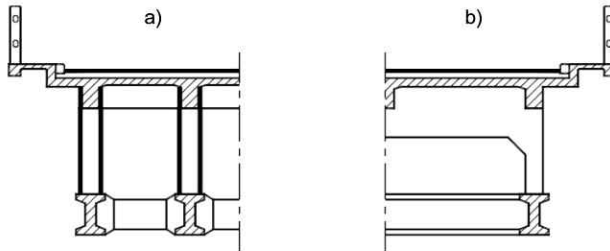
Mặt cắt ngang sườn vòm có thể là hình chữ nhật đặt đứng, hình chữ I, hình hộp (hình 5.4). Nếu nhịp vòm lớn nên dùng dạng mặt cắt chữ I hoặc mặt cắt hình hộp để chịu mômen uốn tốt. Chiều cao sườn vòm có thể lấy sơ bộ trong khoảng  $(1/30 - 1/60)l$  nếu mặt cắt hình chữ nhật và trong khoảng  $(1/25 - 1/40)l$  nếu dùng mặt cắt chữ I hoặc mặt cắt hình hộp.

Dạng mặt cắt hình hộp đúc bê tông tại chỗ được áp dụng ở các cầu vòm nhịp rất lớn, vì cần có đủ kích thước cho người đi lại bên trong lòng hộp để tháo dỡ ván khuôn và theo dõi duy tu cầu. Nếu cầu vòm được thi công lắp ghép thì có thể dùng mặt cắt hình hộp ở các chiều dài cỡ trung bình 100 đến 150m.

Chiều cao mặt cắt sườn vòm thường lấy thay đổi theo dọc nhịp. Trong cầu vòm ba khớp, trị số mô men lớn nhất tại  $1/4$  nhịp, do đó mặt cắt tại đó có chiều cao lớn nhất, từ đây chiều cao mặt cắt giảm dần về phía gần trụ và về phía gần đỉnh vòm. Trong cầu vòm hai khớp thì mômen ở  $1/4$  nhịp lớn hơn chút ít mômen ở đỉnh vòm, nhưng để giữ vẻ đẹp kiến trúc của vòm người ta không làm giảm chiều cao mặt cắt đỉnh vòm. Chiều cao mặt cắt của vòm không khớp thường lấy giảm dần từ 1,2 đến 1,5 lần kể từ chân vòm đến đỉnh vòm.

Khí chế tạo hàng loạt các khối lắp ghép, nên chọn chiều cao vòm là không đổi trên từng đoạn dài hoặc toàn chiều dài nhịp. Đối với vòm lắp ghép có bán kính cong lớn thì nên làm các khối lắp ghép có đường trục dọc riêng của mỗi khối là đường thẳng để dễ chế tạo. Lúc lắp ghép các khối đó xong sẽ tạo ra vòm có đường trục là đường gấp khúc gần giống với dạng đường cong lý thuyết đã dự kiến của trục vòm.

Để bảo đảm đủ độ cứng ngang, chiều rộng các cuốn vòm hoặc khoảng cách giữa các sườn vòm biên phải được chọn không nhỏ hơn  $1/20l$  và không nhỏ hơn  $(1/5 - 1/6)f$ . Trong các cầu ô tô thường có chiều rộng phần xe chạy lớn hơn các trị số nói trên, do đó trong mặt cắt ngang kết cấu nhịp phải có vài sườn vòm. Bên trên chúng là các cột (hình 5.5a). Để tiết kiệm vật liệu và công lao động có thể chỉ cần làm hai sườn vòm (hình 5.5b).



**Hình 5.5** Các sơ đồ bố trí kết cấu trên vòm  
a) - Khi có nhiều sườn vòm; b) - Khi có hai sườn vòm

Bản mặt cầu làm việc theo hướng ngang, chỉ nên có chiều dài nhịp tính toán khoảng 2,5m đến 3m. Do đó nếu cự ly các sườn vòm lớn hơn trị số nói trên thì nên bố trí dầm ngang, dầm dọc phụ trong hệ dầm mặt cầu (hình 5.5).

Hệ dầm và bản mặt cầu kết hợp với hệ cột chống tạo thành hệ khung không gian của kết cấu trên vòm. ở khu vực gần đỉnh vòm phải đặt khe co giãn có tách biệt phần đỉnh vòm với kết cấu trên vòm (hình 5.5). Khoảng cách các cột trên vòm có thể lấy bằng  $(1/10 - 1/12)l$  và tùy thuộc kích thước các khối lắp ghép sao cho dễ dàng vận chuyển và cầu lắp.

Trong các kết cấu nhịp cầu vòm chạy dưới (hình 5.3c) đều bố trí thanh căng để chịu lực kéo do lực đẩy ngang ở chân vòm gây ra. Do vậy mô trụ làm việc giống như mô trụ ở các cầu hệ dầm. Có ba loại cầu vòm có thanh căng là:

- Cầu vòm cứng - dầm cứng (có  $EI_{vòm} \approx EI_{dầm}$ ).
- Cầu dầm cứng - vòm mềm (có  $EI_{dầm} \geq 80EI_{vòm}$ ).
- Cầu vòm cứng - dầm mềm (có  $EI_{vòm} \geq 80EI_{dầm}$ ).

Nói chung, trong bất kỳ dạng nào đều có mômen uốn xuất hiện trong dầm cũng như trong vòm. Tuy nhiên hệ thống dầm - vòm liên hợp này thực tế chịu lực phụ thuộc vào độ cứng của dầm và vòm. Nếu độ cứng của dầm quá nhỏ so với độ cứng của vòm (vòm cứng - dầm mềm) khi đó dầm mềm (thanh căng) làm nhiệm vụ chịu kéo là chủ yếu còn vòm chịu nén và uốn (nén lệch tâm).

Nếu độ cứng của dầm rất lớn so với độ cứng của vòm thì đó là hệ thống dầm cứng - vòm mềm. Trong đó vòm chịu nén đúng tâm còn dầm chịu kéo và mômen uốn (kéo lệch tâm).

Trường hợp các độ cứng của dầm và của vòm không chênh lệch nhau quá 80 lần thì đó là hệ thống dầm cứng - vòm cứng. Có thể giả thiết gần đúng rằng mômen uốn phân bố giữa dầm và vòm một cách tỷ lệ với độ cứng của mỗi phần đó. Đây là dạng kết cấu tốn ít vật liệu hơn cả so với hai dạng trên.

### **Cấu tạo mô trụ cầu vòm**

#### **Trụ cầu vòm**

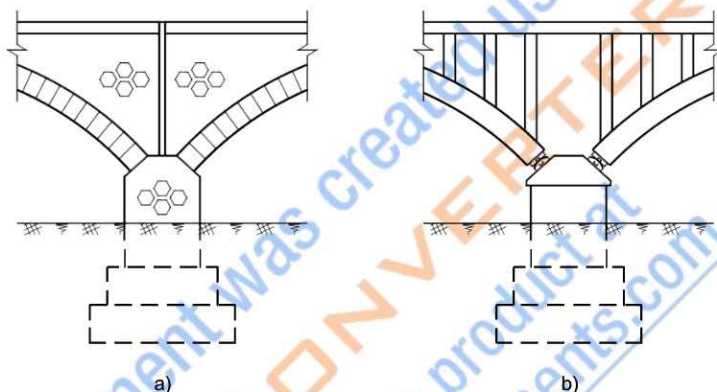
Vật liệu làm trụ thường bằng đá xây, bê tông và bê tông cốt thép. Tùy theo vật liệu làm kết cấu vòm, cấu tạo trụ có thể chia ra làm các nhóm sau:

- Trụ đặt giữa hai nhịp có chiều dài bằng nhau hoặc khác nhau.
- Trụ có phần trên chân vòm đặc hoặc rỗng.

Ngoài ra còn phụ thuộc vào sơ đồ tĩnh học của vòm (vòm có chốt hoặc không chốt), vật liệu vòm, vị trí phần xe chạy cũng ảnh hưởng đến cấu tạo trụ nhưng ở mức độ nhỏ. Trụ cầu vòm thường có kích thước lớn theo phương dọc cầu vì chịu tác dụng lực đẩy một phía của vòm.

Ở đây ta chỉ đề cập đến trường hợp trụ đặt giữa hai nhịp có chiều dài bằng nhau (hình 5.6) hình dạng trụ luôn đối xứng. Dưới tác dụng của tĩnh tải vòm và trụ, trụ làm việc theo nén đúng tâm. Trụ làm việc bất lợi nhất khi có hoạt tải tác dụng trên một nhịp hoặc với tải trọng thi công khi chỉ mới xây dựng xong một nhịp vòm.

Khi kết cấu vòm khẩu độ nhỏ được làm bằng đá xây thì trụ cũng được làm bằng vật liệu tương tự (hình 5.6a) để đơn giản cho thi công. Khi kết cấu vòm khẩu độ lớn được làm bằng bê tông cốt thép thì trụ có thể được làm bằng đá xây hoặc bê tông, nhưng mũ trụ phải bằng bê tông cốt thép (Hình 5.6b). Tuy nhiên lại tùy thuộc kết cấu vòm bên trên dạng khớp hay có khớp mà mũ trụ phải làm khác nhau để phù hợp với cấu tạo của vòm và kết cấu trên vòm. Nếu vòm không khớp, kết cấu trên vòm làm đặc, thì mũ trụ chỉ là chỗ cho chân vòm tựa trực tiếp lên, nhưng ở trên phải có khe biến dạng. Nếu chân vòm có khớp, kết cấu trên vòm làm các cột chống, thì mũ trụ phải có bộ kê gối để lắp đặt khớp liên kết với bản vòm.

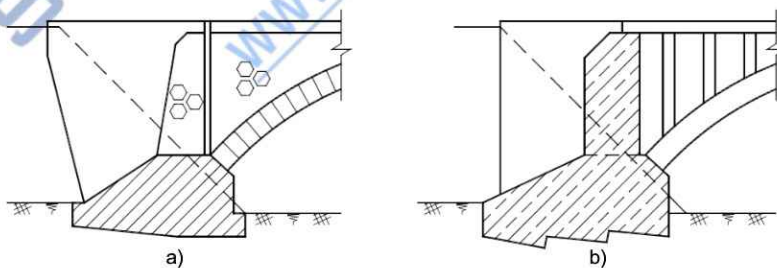


**Hình 5.6** Cấu tạo trụ cầu vòm

a) - Trụ cầu vòm đá không khớp; b) - Trụ cầu vòm BTCT ba khớp

### Mố cầu vòm

Trong cầu vòm, mố cầu nhiều khi không phải là điểm kết thúc của cầu (theo phương dọc cầu) bởi vì có thể ngoài phần cầu vòm còn có thể có các đoạn cầu dẫn khác. Như vậy mố cầu vòm ở đây chỉ là điểm kết thúc của phần vòm.



**Hình 5.7** Cấu tạo mố cầu vòm

a) - Mố cầu vòm đá; b) - Mố cầu vòm BTCT

Mố cầu vòm thường có dạng phù hợp với đường cong áp lực sao cho mặt đáy của móng mố vuông góc với đường cong áp lực. Khi xây dựng trên nền đá, đáy móng mố có thể làm thành bậc để chống trượt. Nếu địa chất không tốt, móng mố có thể làm móng cọc, cọc có thể có cọc thẳng và cọc xiên và phải được đóng vuông góc với móng.

Đối với cầu vòm đá, do khẩu độ nhỏ và đường xe chạy trên nền chiều cao đất đắp thường không lớn (khoảng từ 4 đến 8m). Lực đẩy ngang không lớn lắm, mố có thể làm tường cánh như mố cầu dầm, phía trên bản vòm thường làm đặc bằng vật liệu đắp hoặc vật liệu xây, vì vậy cần phải làm khe co giãn để ngăn cách giữa mố và kết cấu trên vòm (hình 5.7a).

Đối với cầu vòm bê tông cốt thép, do khẩu độ lớn hơn cầu vòm đá, nên lực đẩy ngang lớn. Chiều cao đất đắp lớn, vì vậy kết cấu trên vòm làm rộng thường là các cột chống bằng bê tông cốt thép tựa lên các sườn vòm, phía trên cùng được đặt bản xe chạy bằng bê tông cốt thép, do vậy khe co giãn chỉ được làm ở phần bản mặt cầu xe chạy (hình 5.7b) đáy móng mố có thể làm nhiều bậc để tăng khả năng chống trượt.

### CÂU HỎI ÔN TẬP

37. Cầu vòm đá có những đặc điểm gì?
38. Hãy trình bày cấu tạo chung của một cầu vòm đá khẩu độ nhỏ và nêu tác dụng của các bộ phận chính của cầu vòm đá.
39. Sơ đồ cầu vòm bê tông cốt thép (theo sơ đồ tĩnh học, theo vị trí đường xe chạy) thường được áp dụng có những loại nào? Trong thực tế loại nào thường được hay áp dụng. Tại sao?
40. Mặt cắt sườn vòm bê tông cốt thép có những loại nào? Tại sao chúng lại khác so với các mặt cắt ngang dầm chủ của cầu dầm?
41. Tại sao với cầu vòm có đường xe chạy dưới, người ta lại làm theo hệ thống dầm - vòm liên hợp. Theo độ cứng được chia ra như thế nào? Cho biết rõ tính chất chịu lực của từng loại.
42. Trình bày cấu tạo chung trụ cầu vòm đặt giữa hai nhịp bằng nhau. Với cầu làm theo kiểu dầm - vòm liên hợp có cần làm trụ như vậy không. Tại sao?
43. Trình bày cấu tạo chung mố cầu vòm. Với cầu làm theo kiểu dầm - vòm liên hợp có cần làm mố như vậy không. Tại sao?

**Phần thứ ba**  
**CẦU THÉP (STEEL STRUCTURES BRIDGES)**  
**Chương 6**  
**GIỚI THIỆU CHUNG VỀ CẦU THÉP**

**Các đặc điểm chủ yếu của cầu thép**

Kết cấu nhịp cầu thép có các ưu điểm sau:

- Chiều cao kiến trúc nhỏ (ngay cả đối với cầu thiết kế với hoạt tải nặng).
- Thời gian xây dựng ngắn vì các cấu kiện đã được chế sẵn định hình trong nhà máy với công nghệ hiện đại, đảm bảo độ chính xác cao, áp dụng các phương pháp lắp tiên tiến.
- Trọng lượng bản thân kết cấu nhịp thép thường nhỏ hơn so với khi làm bằng các loại vật liệu khác. Các chỉ tiêu về cường độ chịu lực và mô đun đàn hồi của thép rất cao. Do đó cầu thép có khả năng vượt được các nhịp lớn.
- Không cản trở hoặc ít cản trở giao thông trên đường (cầu vượt đường) hoặc giao thông đường thủy bên dưới cầu trong thời gian xây dựng cầu.
- Dễ dàng và chính xác khi lắp ghép các cấu kiện bằng liên kết đinh tán hoặc bulông thường, bulông cường độ cao. Ưu điểm này đặc biệt quan trọng đối với lĩnh vực quốc phòng. Các cầu dùng trong quân sự chủ yếu làm bằng thép để dễ tháo lắp và vận chuyển.
- Dễ dàng tăng cường và nâng cấp, sửa chữa kết cấu nhịp khi cần thiết. Tuổi thọ trung bình của cầu thép từ 70 đến 100 năm với điều kiện được duy tu bảo quản tốt.

Tuy nhiên cầu thép có nhược điểm cơ bản là: dễ bị môi trường xâm thực nên chống bị gỉ, vì vậy phải có biện pháp phòng và chống gỉ thường xuyên ngay từ lúc thiết kế, xây dựng và trong suốt quá trình khai thác cầu. Mặt khác thép là loại vật liệu có giá thành cao.

**Đặc điểm vật liệu dùng trong cầu thép**

Đề phù hợp với tính chất làm việc phức tạp dưới tác dụng của tải trọng như: xung kích, môi v.v... Thép dùng trong xây dựng cầu thép cần phải đảm bảo các yêu cầu cơ bản sau:

- Có cường độ cao, độ dẻo, dễ gia công cơ khí (rèn, dập, dát mỏng), độ đàn hồi tốt.
- Có độ bền cao khi thay đổi nhiệt độ, không giòn, không bị phá hoại của môi trường xung quanh và có tính dễ hàn.

Trong các công trình cầu thép thường được dùng các loại: Thép cacbon, thép hợp kim thấp, thép cường độ cao.

### **Thép cacbon**

Thép cacbon được dùng phổ biến trong cầu thép, đặc điểm nổi bật của loại thép này là: có hàm lượng cacbon thấp, do đó dễ gia công cơ khí. Loại thép này có mác là CT3 cầu được dùng cho các bộ phận chủ yếu của kết cấu nhịp tán nổi. Ngoài ra còn có loại M16C chuyên dùng cho các cầu liên kết hàn. Hai loại thép trên tương đương với thép C38/23 của Nhật Bản. Thép CT2 và CT1 dùng trong cầu chủ yếu là đỉnh tán vì nó mềm hơn và có độ dẫn dài lớn hơn thép CT3 cầu. Thép M16C hiện tại ít dùng vì về mặt kinh tế nó không cạnh tranh nổi với thép hợp kim thấp. Một số đặc trưng cơ học của thép cacbon cho ở bảng 6.1.

**Bảng 6.1**

**ĐẶC TRƯNG CƠ HỌC CỦA THÉP CACBON**

| Mác thép | Giới hạn bền lớn nhất (kG/cm <sup>2</sup> ) | Giới hạn chảy nhỏ nhất (kG/cm <sup>2</sup> ) | Độ dẫn dài nhỏ nhất (%) | Cường độ tính toán                                     |                                               | Dùng cho chi tiết      |
|----------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|
|          |                                             |                                              |                         | Chịu kéo dọc trục R <sub>0</sub> (kG/cm <sup>2</sup> ) | Chịu uốn R <sub>a</sub> (kG/cm <sup>2</sup> ) |                        |
| CT3 cầu  | ≥3800                                       | ≥2400                                        | 22                      | 1900                                                   | 2000                                          | Các thành phần chủ yếu |
| M16C     | ≥3800                                       | ≥2400                                        | 22                      | 1900                                                   | 2000                                          |                        |
| BCT5     | ≥4000                                       | ≥2500                                        | 21                      | 2000                                                   | 2100                                          |                        |
| CT2      | ≥3400                                       | ≥2100                                        | 26                      | 1700                                                   | 1800                                          | Đỉnh tán               |

### **Thép hợp kim thấp**

Trong quá trình luyện thép người ta đưa thêm một số chất phụ gia làm tăng một số tính chất tốt của thép do từng loại kết cấu đòi hỏi. Các chất này thường là: Đồng (Cu) làm tăng độ dẻo và khả năng chống gỉ của thép; Crom (Cr) Mangan (Mn); Niken (Ni) và Silic (Si) làm tăng cường độ của thép.

Thép hợp kim thấp có cường độ lớn gấp 1,4 đến 1,5 lần thép CT3 cầu. Với tính chất như vậy, thép hợp kim thấp được sử dụng rộng rãi. Trong xây dựng cầu hiện nay dùng loại thép này có mác sau: 15XCHĐ; C50/35; 10XCHĐ; C55/40; 12ΓMΦT; C60/45.

### **Thép cường độ cao**

Do áp dụng tiến bộ khoa học trong công nghệ luyện thép, hiện nay đã sản xuất được nhiều thép cường độ cao từ thép cacbon hay thép hợp kim bằng cách xử lý nhiệt. Thép cường độ cao thường có ứng suất kéo đứt lớn gấp 2 đến 3 lần thép hợp kim và gấp 3 đến 4 lần thép cacbon. Tuy nhiên giá thành loại thép này thường khá cao do đòi hỏi công nghệ gia công phức tạp.

**Bảng 6.2**

**TÍNH CHẤT CỦA THÉP CƯỜNG ĐỘ CAO**

| Quy trình sản xuất, thiết kế | Mác thép                 | Giới hạn kéo đứt (kG/cm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|
| BCH - 133 - 66 - Liên xô cũ  | 40X - Thép hợp kim       | 11000 - 13000                          |
| CM - 299 - 64 - Liên xô cũ   | CT35, CT40 - Thép cacbon | ≥ 8900                                 |
| A - 325 - Mỹ                 | Thép cacbon              | ≥ 8400                                 |
| A - 490 - Mỹ                 | Thép hợp kim             | 10500 - 12600                          |
| 10K - CHLB Đức               | Thép hợp kim             | ≥ 10000                                |

Thép cường độ cao có hàm lượng cacbon lớn hơn thép cacbon 1,5 đến 2 lần. Vì vậy tính giòn cao, khó gia công cơ khí. Loại thép này chưa được dùng rộng rãi trong các bộ phận chủ yếu của kết cấu nhịp cầu mà chỉ làm bulông cường độ cao. Bảng 6.2 cho biết một số tính chất của thép cường độ cao hiện nay hay dùng được sản xuất theo công nghệ của Liên xô cũ, Mỹ và CHLB Đức.

### **Thép đúc**

Thép đúc được chế tạo trong lò Mactanh, thép có chứa 0,22 - 0,30%C và một lượng nhỏ Silic và Mangan. Tính chất cơ học của thép này có giới hạn bền  $4000\text{kG/cm}^2$ ; giới hạn chảy  $2400\text{kG/cm}^2$ ; độ giãn dài tương đối 19%; môđun đàn hồi  $E_t = 2,1 \times 10^6\text{kG/cm}^2$ .

Thép đúc được sử dụng dùng cho gối cầu, khớp và một vài bộ phận đặt biệt khác. Loại thép này hiện nay đang dùng loại thép có mức 25JL.

### **Thép làm dây cáp, que hàn**

Trong cầu treo thường dùng loại cáp tròn không có lõi, bên bằng các sợi thép cán nguội có giới hạn bền từ 12000 đến 180000kG/cm<sup>2</sup>.

Trong cầu dầm đặc liên kết hàn thì chất lượng que hàn ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng mối hàn. Khi hàn tự động hay bán tự động các thanh thép M16C thường dùng que hàn bằng thép cacbon có số hiệu CB - 08A hoặc CB - 08RA. Khi hàn thép hợp kim thấp dùng que hàn CB - 08RA; CB - 08RC; CB - 10R2. Khi hàn tay thép M16C dùng que hàn loại E - 42A, còn khi hàn thép hợp kim dùng loại E - 50A.

### **Thép hình**

Trong xây dựng cầu thép, thường sử dụng một số loại thép cán định hình sau: Thép góc, thép chữ I, thép hình máng, thép bản, thép ống và một số loại thép hình đặc biệt để làm mặt cầu (hình 6.1).

#### **a. Thép bản (hình 6.1a)**

Thép bản có hai loại là thép bản rộng và thép bản vắn năng.

Thép bản rộng do Liên xô cũ sản xuất có chiều dài 8 - 12m, chiều rộng loại lớn 2000 - 3600mm, chiều rộng loại nhỏ 160 - 1050mm, chiều dày của thép bản từ 4 đến 60mm.

Trong cầu thép, thép bản sử dụng cho bộ phận chịu lực chủ yếu với chiều dày ít nhất 10 - 12mm, các giằng liên kết chiều dày ít nhất 8mm và các bản đệm chiều dày nhỏ nhất 4mm.

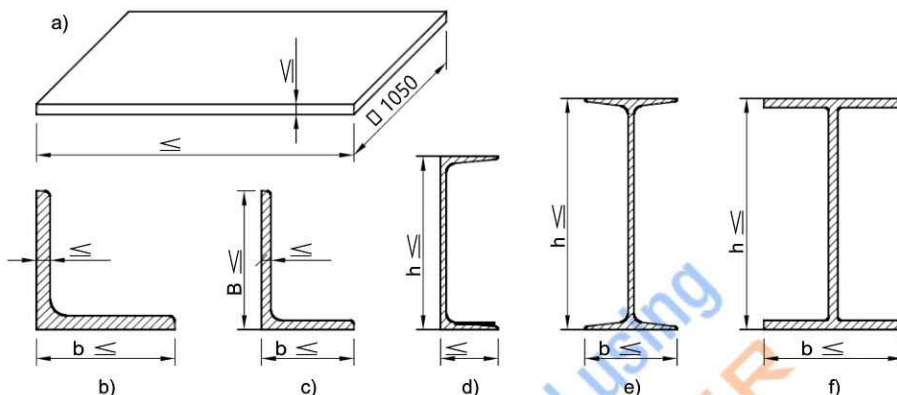
#### **b. Thép góc (hình 6.1b và 6.1c)**

Thép góc có hai loại là thép góc cánh đều và loại cánh không đều.

Thép góc cánh đều (hình 6.1b) có chiều rộng các cánh bằng nhau. Các cánh có mép song song, góc trong hai cánh có lượn tròn để dễ cán và bảo đảm độ bền. Chiều rộng cánh từ 20 đến 250mm, chiều dày cánh phụ thuộc vào chiều rộng và có độ dày từ 3 - 4mm đến 20 - 25mm.

Thép góc cánh không đều (hình 6.1c) có chiều rộng cánh không bằng nhau. Cánh dài gấp khoảng 1,5 lần cánh ngắn. Kích thước lớn nhất của thép góc không đều cánh là  $250 \times 160 \times 20\text{mm}$ .

Thép góc được sản xuất có chiều dài từ 12 đến 19m. Trong kết cấu nhịp cầu thép không dùng thép góc thấp hơn  $100 \times 100 \times 10\text{mm}$  cho các bộ phận chính và không nhỏ hơn  $80 \times 80 \times 8\text{mm}$  cho các thanh liên kết và không nhỏ hơn  $63 \times 63 \times 6\text{mm}$  để liên kết các cấu kiện ghép.



**Hình 6.1** Một số dạng thép hình

- a) - Thép bản; b) - Thép góc đều cạnh; c) - Thép góc không đều cạnh  
d) - Thép hình máng; e) - Thép I cánh hẹp; f) - Thép I cánh rộng

*c. Thép chữ I (hình 6.1e và 6.1f)*

Thép chữ I có hai loại là: thép I cánh rộng và thép I cánh hẹp.

Thép I cánh rộng (hình 6.1f) có chiều rộng cánh khá lớn, chiều dày cánh không thay đổi, do đó thuận tiện cho việc liên kết đỉnh tán. Thép I cánh rộng có hai loại là: kiểu dầm và kiểu cột.

Thép I cánh rộng kiểu dầm, có tỷ lệ bề rộng cánh và chiều cao khoảng 0,35 - 0,60 chiều cao tới 1m. Thép I cánh rộng kiểu cột có bề rộng cánh rộng hơn thép I cánh rộng kiểu dầm.

Thép I cánh hẹp (hình 6.1e) có chiều cao từ 10 đến 70cm. Chiều dày cánh thường lớn hơn chiều dày bản bụng để tăng mômen quán tính. Mặt dưới của bản cánh I có độ dốc khoảng 12%.

Khi cần tăng cường thêm bản tấp cho cánh bằng thép bản và thực hiện liên kết hàn. Thép cán hình I dùng trong cầu thép có thể dùng cho dầm dọc chủ, dầm ngang, thanh dầm và hệ dầm mặt cầu.

*d. Thép hình máng (hình 6.1d)*

Thép hình máng, cánh có độ dốc nhỏ hơn 10%. Bề rộng cánh tương đối rộng, do đó có thể tán đỉnh lên cánh được. Các thép hình máng có chiều cao từ 50 đến 400mm, chiều dài thép tới 19m. Thép hình máng được dùng trong cầu thép để làm các thanh giằng, chi tiết của thanh dầm và làm sườn tăng cường hoặc có thể làm hệ dầm mặt cầu.

Ngoài các loại thép hình kể trên còn có một số loại thép hình khác như thép hình ống... dùng cho một số cấu kiện đặc biệt. Các kích thước và các đặc trưng hình học của tiết diện các loại thép hình trên đều có các bảng tra sẵn ở sổ tay thiết kế hoặc các tài liệu khác.

**Các liên kết dùng trong cầu thép (Connection elements)**

***Liên kết hàn (Welded splices)***

Trong các kết cấu chịu lực chính của cầu thép, người ta dùng mối hàn đối đầu và mối hàn góc (hàn chính diện và hàn cạnh) để liên kết, nhưng tránh dùng các mối nối hỗn hợp vừa hàn đối đầu vừa tăng cường thêm các bản thép hàn ốp ngoài theo các cạnh, vì cường độ loại mối liên kết này bị giảm nhiều khi chịu tác dụng của lực thay đổi.

Hàn tiếp xúc điểm chỉ được dùng trong các mối liên kết không chịu lực.

Trên bản vẽ cần ghi rõ:

- Loại và kích thước tất cả các mối hàn và ký hiệu những mối hàn tại nhà máy, những mối hàn tại công trường.
- Phương pháp hàn (tự động, nửa tự động hay hàn tay) và trình tự hàn, yêu cầu về gia công mép và hình thức gia công.
- Khu vực cần phải hàn thấu suốt chiều dày.
- Hình dạng các chi tiết với những kích thước cần cho việc gia công cơ khí các mối hàn và khu vực ứng suất tập trung, những kiến nghị về phương pháp thực hiện, cùng tất cả những chỗ cần gia công kết cấu.

*a. Mối hàn đối đầu (hình 6.2a và 6.2b)*

Thông thường được hàn từ cả hai bên không kể hình dạng mép được gia công như thế nào. Trong những trường hợp không thể hoặc khó hàn từ cả hai bên (chẳng hạn trong điều kiện lắp ráp) thì dùng mối hàn đối đầu hàn từ một bên, nhưng phải hàn thấu suốt. Đối với các mối hàn làm việc chịu kéo thì sau đó cần phải gia công cơ khí mối hàn.

Bề dày mối hàn không được nhỏ hơn bề dày tấm thép cần nối.

Cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán của thép mối hàn các loại (hàn tự động, nửa tự động và hàn tay) lấy như đối với thép cơ bản của phân tổ đem hàn. Cho nên nếu tiết diện dầm hàn đã tính theo cường độ thì không cần tính toán kiểm tra mối hàn nữa.

*b. Mối hàn góc (hình 6.2c và 6.2d)*

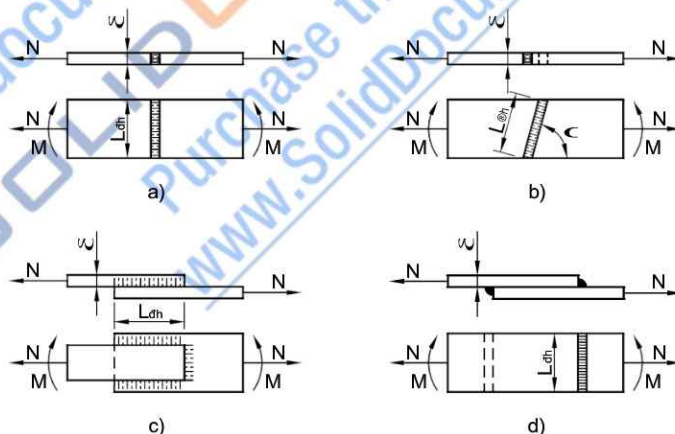
Thường phải có bề mặt cong lõm và chỗ chuyển tiếp sang thép cơ bản phải vuốt đều.

Tuy nhiên mối hàn góc ở hai bên cạnh mà làm việc với lực dọc thì có thể có bề mặt bất kỳ: phẳng, lồi hoặc lõm.

Đối với các mối hàn chính diện, tỷ số hai cạnh của mối hàn lấy bằng 2 đến 2,5 và cạnh dài phải nằm dọc theo phương chịu lực (hình 6.2c).

Kích thước cạnh của mối hàn góc không được nhỏ hơn những quy định trong bảng

6.3.



**Hình 6.2** Liên kết hàn dùng trong cầu thép  
a và b) - Mối hàn đối đầu; c và d) - Mối hàn cạnh

Chiều dài các mối hàn góc (hàn cạnh và hàn chính diện) không được nhỏ hơn 60mm và 6 lần cạnh mối hàn.

Chỗ chuyển từ mối hàn chính diện sang thép cơ bản trong phân tổ chịu kéo thường được gia công cơ khí toàn bộ hoặc một phần.

**Bảng 6.3**  
QUY ĐỊNH VỀ KÍCH THƯỚC CHO PHÉP CỦA CẠNH MỐI HÀN GÓC

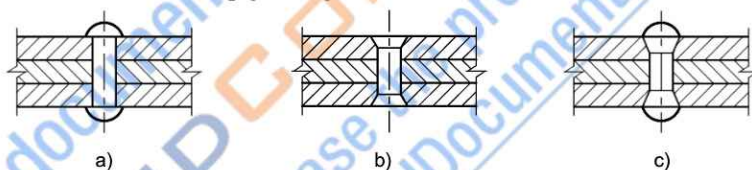
| Bề dày của tấm thép đem hàn (mm) | Kích thước nhỏ nhất cho phép của cạnh mối hàn góc (mm) trong kết cấu làm từ loại thép |                   |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                  | Thép cacbon                                                                           | Thép hợp kim thấp |
| $\leq 14$                        | 6                                                                                     | 8                 |
| 15 - 25                          | 8                                                                                     | 10                |
| 26 - 40                          | 10                                                                                    | 12                |
| $\geq 41$                        | 12                                                                                    | -                 |

### Liên kết đinh tán

Liên kết đinh tán là loại liên kết các bộ phận phổ biến được dùng trong cầu thép. Liên kết đinh tán có ba loại (hình 6.3), nhưng trong cầu thép được dùng nhiều nhất loại đinh mũ nổi (hình 6.3a) vì có cấu tạo đơn giản, dễ tán nổi. Trong cầu thép người ta dùng đinh tán đường kính 17, 20, 23, 26 và 29mm (theo đường kính lỗ đinh). Thường dùng nhất là đinh tán đường kính 23mm, khi bề dày ghép lớn thì dùng đinh 26mm.

Đường kính đinh tán trên cánh thép góc của các thanh chủ yếu không được vượt quá  $1/4$  bề rộng của cánh thép góc.

Trong những trường hợp bắt buộc, đối với các thanh hệ liên kết, sườn tăng cường, bản chắn ngang v.v... cho phép tán đinh đường kính 23mm trên cánh thép góc rộng 80mm, và đường kính 26mm trên cánh thép góc rộng 90mm.

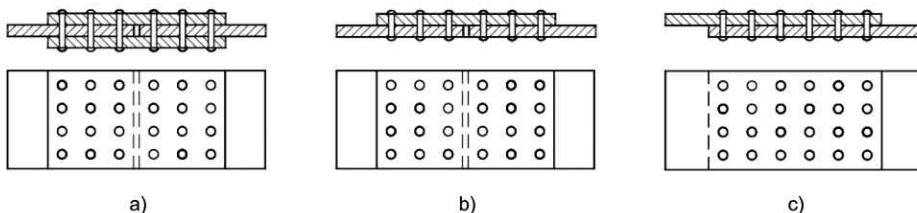


**Hình 6.3** Liên kết đinh tán dùng trong cầu thép

a) - Kiểu đinh tán mũ nổi; b) - Kiểu đinh tán mũ chìm; c) - Kiểu đinh tán mũ cao

Số loại đường kính đinh tán khác nhau trong bất kỳ kết cấu nhịp nào cũng không nên quá hai loại.

Khi bề dày tán ghép vượt quá 3,5 lần đường kính lỗ đinh người ta dùng loại đinh tán có thân hình côn và mũ đinh cao hơn (loại mũ cao trên hình 6.3c).



**Hình 6.4** Các dạng nối ghép bằng liên kết đinh tán

**Bảng 6.4**  
**KHOẢNG CÁCH CHO PHÉP VỀ BƯỚC ĐÌNH TRONG LIÊN KẾT ĐÌNH TÁN**

| Kích thước quy định |            | Hàng đỉnh tán                 | Chiều so với nội lực  | Dạng nội lực | Khoảng cách cho phép      |           |
|---------------------|------------|-------------------------------|-----------------------|--------------|---------------------------|-----------|
|                     |            |                               |                       |              | Tối đa                    | Tối thiểu |
| Giữa tâm các đỉnh   |            | Hàng ngoài cùng trên tấm thép | Dọc theo              | Bất kỳ       | Trị số nhỏ giữa 7d và 16đ | 3d        |
|                     |            | Hàng ngoài cùng trên thép góc |                       | Nén          | 160mm                     |           |
|                     |            | Hàng giữa                     |                       | Kéo          | 16đ                       |           |
|                     |            |                               |                       | Bất kỳ       | 24đ                       |           |
|                     |            | Bất kỳ                        | Ngang Chéo            | Bất kỳ       | 24đ                       | 3,5d      |
| Từ tâm đỉnh đến mép | Mép bất kỳ | Hàng ngoài cùng               | Dọc theo              | Bất kỳ       | -                         | 2d        |
| Mép cắt             | Ngang      |                               | Trị số nhỏ giữa 8d và |              | 1,5d                      |           |
| Mép cán             |            |                               |                       |              |                           |           |

*Chú thích cho bảng 6.4*

d - Đường kính lỗ đỉnh.

Đ - Bề dày của phần tổ mỏng nhất tại liên kết tán ghép.

Bề dày lớn nhất (chiều dài thân đỉnh sau khi đã tán ghép) cần phải theo quy định sau:

- Không được vượt quá 4,5 lần đường kính lỗ đỉnh khi tán bằng một búa, đồng thời số lượng tập bản tán ghép không được quá 7 (với đỉnh tán đường kính 23mm) hoặc 8 (với đỉnh tán đường kính 26mm).

- Không được vượt quá 5,5 lần đường kính lỗ đỉnh khi tán bằng máy hoặc hai búa hơi ép, hoặc dùng dùng đệm đỡ bằng hơi ép, đồng thời số lượng tập bản tán ghép không được quá 8 (với đỉnh tán đường kính 23mm) hoặc 9 (với đỉnh tán đường kính 26mm).

Phân bố đỉnh tán tại các mối nối liên kết bằng đỉnh tán (hình 6.4) nên bố trí đối xứng với trục của phân tổ. Bố trí đỉnh tán cần phải xét tới bước đỉnh giới hạn cho phép (Bảng 6.4). Tại mỗi nối và các nút (tiết điểm) dãn, đỉnh tán phải bố trí với khoảng cách tối thiểu. Các đỉnh tán nối ghép thường bố trí theo khoảng cách tối đa.

#### ***Liên kết bulông (Bolted connections)***

Trong kết cấu cầu thép người ta dùng các loại bulông tinh chế (gia công tiện) có kích thước chính xác: bulông thô làm từ các thanh thép tròn; bulông cường độ cao làm từ thép hợp kim số hiệu 40X, được nhiệt luyện với cường độ tức thời không thấp hơn 14000kg/cm<sup>2</sup> để làm bulông và êcu.

Bulông cường độ cao được xiết chặt đến mức sao cho trong quá trình sử dụng sẽ chỉ truyền lực nhờ ma sát giữa các bề mặt tiếp xúc.

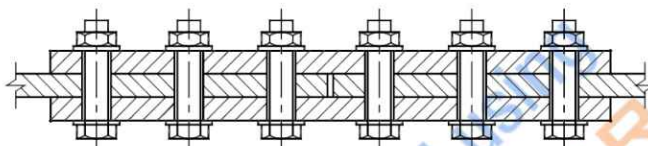
Xuất phát từ đặc điểm làm việc đó người ta còn gọi bulông cường độ cao là bulông ma sát.

Trong những mối liên kết bình thường người ta dùng bulông đường kính 16, 20, 22, 24, 27 và 30mm.

Đường kính lỗ của bulông tinh chế phải thích ứng với đường kính bulông. Để cho việc lắp ráp được thuận tiện, cho phép bulông thô và bulông cường độ cao có đường kính nhỏ hơn

lỗ đến 2,5mm. Ưu điểm chính của bulông thô và bulông cường độ cao về phương diện chế tạo là sự dễ dàng tạo thành mũ đỉnh. Bulông thô chỉ được phép dùng để liên kết các phần tử thứ yếu (lan can, thanh liên kết tạm thời, kết cấu dùng để duy tu bảo quản...) và những phần tử cần bảo đảm có khả năng chuyển vị dọc.

Bulông để thay thế đỉnh tán và bulông để liên kết với các bộ phận bằng thép đúc phải là bulông tinh chế. Vòng đệm dưới êcu của bulông tinh chế phải dày ít nhất là 6mm. Êcu phải được cố định bằng êcu hãm các chốt chẻ, các vòng đệm đàn hồi hoặc bằng cách hàn xung quanh để không bị lỏng ra.



**Hình 6.5** Sơ đồ mối nối bằng bulông cường độ cao dùng trong cầu thép

Bulông cường độ cao (hình 6.5) là hình thức liên kết tiên tiến. Nó có tất cả các ưu điểm của liên kết bulông khi lắp ráp, lại không kém gì liên kết bằng đỉnh tán về phương diện chất lượng làm việc trong quá trình sử dụng.

Hiện nay người ta thường dùng bulông cường độ cao có đường kính 18, 22 và 24mm ứng với lỗ đỉnh 20, 24 và 26mm, xiết bulông phải dùng cò lê lực.

Bulông bố trí theo cùng một quy định như đối với đỉnh tán, chỉ khác ở chỗ khoảng cách tối thiểu giữa tâm các bulông không được nhỏ hơn 3,5d và không được nhỏ hơn kích thước cần thiết để đặt cò lê lực vận êcu lúc xiết bulông. Đường kính ngoài của loại cò lê lực vận có lỗ bằng khoảng 2,5d, của loại cò lê lực vận kiểu mở khoảng 4 - 4,5d.

Bulông thường (thô và tinh chế) tính toán khả năng chịu lực là chịu cắt và chịu ép mặt như đỉnh tán. Bulông cường độ cao tính toán dựa vào nội lực tại mỗi liên kết truyền qua lực ma sát. Cường độ tính toán của (khả năng chịu lực) của một bulông cường độ cao có thể xác định theo công thức:

$$[S_b] = 0,78kN_0f$$

Trong đó:

k - Số mặt phẳng ma sát giữa các phần tử cần liên kết tại mối nối.

$N_0$  - Nội lực kiểm tra tiêu chuẩn xiết bulông; đối với bulông cường độ cao đường kính 18, 22 và 24mm nội lực đó lấy tương ứng bằng 13, 20 và 24 tấn.

f - Hệ số ma sát giữa các bề mặt tiếp xúc; nếu những bề mặt đó được làm sạch bằng máy phun cát thì lấy bằng 0,4 cho thép cacbon và 0,45 cho thép hợp kim thấp.

0,78 - Hệ số tổng hợp kể đến khả năng các trị số  $N_0$  và f có thể khác với trị số tiêu chuẩn, và cũng kể đến cả hệ số điều kiện làm việc chung  $m_1 = 0,9$ .

Trị số cường độ tính toán  $[S_b]$  tính theo công thức trên khi k = 1 được lấy như sau (bảng 6.5):

**Bảng 6.5**

**CƯỜNG ĐỘ TÍNH TOÁN CỦA BULÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO**

| Đường kính bulông<br>(mm) | Cường độ tính toán $S_b$ (Tấn) đối với kết cấu |                   |
|---------------------------|------------------------------------------------|-------------------|
|                           | Thép cacbon                                    | Thép hợp kim thấp |
| 18                        | 4,1                                            | 4,6               |
| 20                        | 6,2                                            | 7,0               |
| 24                        | 7,5                                            | 8,4               |

### Bộ phận mặt cầu của cầu thép

Bộ phận mặt cầu làm nhiệm vụ tiếp nhận tác động lực của hoạt tải và truyền đến các bộ phận chịu lực chính của kết cấu nhịp.

Do các cầu có chiều rộng rất khác nhau, có thể chỉ 3,5m cũng có khi tới 20m hoặc hơn nữa. Vị trí tác dụng của tải trọng do hoạt tải không cố định trên mặt cắt ngang cầu. Mặt khác đoàn xe ô tô thực tế qua cầu thường khác nhiều so với đoàn ô tô tiêu chuẩn được xét trong lúc thiết kế. Do đó mặt cầu có cấu tạo rất đa dạng và được dùng kết hợp với dạng kết cấu chịu lực chính một cách rất linh hoạt.

Bộ phận mặt cầu gồm có:

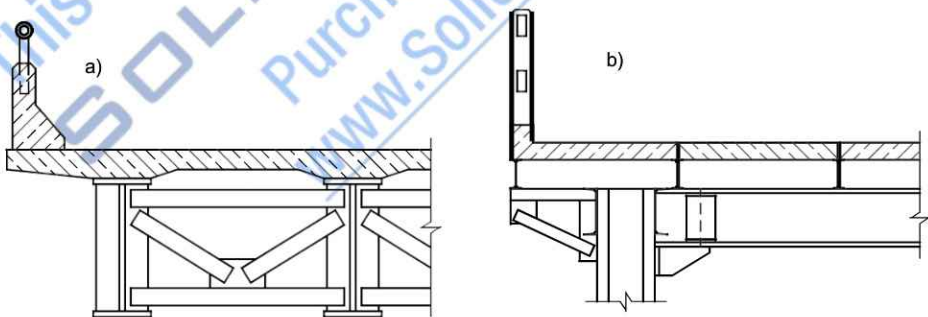
- Mặt cầu, là bộ phận trực tiếp chịu áp lực từ bánh xe của hoạt tải.
- Hệ thống dầm mặt cầu, có nhiệm vụ đỡ mặt cầu và truyền lực xuống kết cấu chịu lực chính (dầm chủ, dàn chủ...). Riêng ở các cầu dầm đặc có thể mặt cầu được liên kết trực tiếp với dầm chủ.

### Mặt cầu

Yêu cầu đối với mặt cầu là phải ít bị hao mòn, bằng phẳng, không gây xung kích khi xe chạy qua, có trọng lượng bản thân nhẹ, bền lâu. Mặt cầu thường gồm hai phần: bên trên là các lớp phủ và phần bên dưới là kết cấu bản chịu lực. Trên mặt cầu có tạo dốc ngang và dốc dọc để thoát nước. Trong cầu thép hiện nay thường dùng mặt cầu có bản bê tông cốt thép chịu lực và loại mặt cầu là các bản thép có sườn tăng cường để giảm tính tải.

#### a. Mặt cầu có bản bê tông cốt thép (hình 6.6) (Concrete deck slabs)

Các bản bê tông cốt thép này có thể đúc tại chỗ hoặc lắp ghép. Bên trên mặt bản bê tông cốt thép là các lớp phủ mặt cầu tính từ trên xuống dưới là: lớp bê tông nhựa dày 4 đến 6cm; lớp bê tông bảo vệ cho lớp phòng nước, dày 4cm bằng bê tông cốt thép; lớp phòng nước bằng giấy dầu hoặc bao tải tẩm nhựa đường, dày 1cm; lớp đệm bằng vữa xi măng tạo dốc ngang cầu 1,5 - 2% để thoát nước, được tạo ra bằng cách thay đổi bề dày bản bê tông cốt thép đối với bản bê tông cốt thép đúc tại chỗ hoặc thay đổi bề dày lớp đệm với bản bê tông cốt thép lắp ghép. Có thể thay các lớp phủ trên bằng một lớp bê tông xi măng mác 300. Khi đó vẫn phải có lớp phòng nước.



**Hình 6.6** Bản mặt cầu bê tông cốt thép

a) - Bản mặt cầu BTCT đổ tại chỗ trên các dầm chính; b) - Bản mặt cầu BTCT lắp ghép

Loại mặt cầu có bản bê tông cốt thép đúc tại chỗ (hình 6.6a) đòi hỏi phải có đà giáo, ván khuôn và kéo dài thời gian thi công để chờ bê tông đủ cường độ. Tuy nhiên loại này có ưu điểm là tiết kiệm cốt thép, không đòi hỏi cần cầu và liên khối với dầm thép nên tham gia chịu lực chung tốt, mặt khác độ cứng ngang của cả kết cấu nhịp cũng được tăng lên.

Nếu khoảng cách giữa các dầm chủ không lớn quá 2,5m thì có thể để bản bê tông cốt thép kê trực tiếp lên chúng. Khi đó bản làm việc theo sơ đồ bản liên tục nhiều nhịp theo hướng ngang cầu. Các dầm chủ đỡ bản có thể bị võng xuống do đó bản bê tông cốt thép coi như được kê trên các gối đàn hồi. Các mặt cắt bản có chỗ chịu mômen dương, có chỗ chịu mômen âm, do đó phải đặt cốt thép kép trong bản.

Nếu khoảng cách giữa các dầm chủ khá lớn, phải có hệ thống dầm mặt cầu đỡ bản. Lúc đó bản bê tông cốt thép làm việc theo sơ đồ bản kê trên 4 cạnh, cốt thép bố trí phức tạp hơn theo cả hai hướng.

Bản mặt cầu bê tông cốt thép lắp ghép (hình 6.6b), có thể áp dụng cho cầu có đường xe chạy trên hoặc cầu có đường xe chạy dưới. Các tấm bản lắp ghép được kê lên hệ dầm mặt cầu. Bản có mặt cắt hình chữ nhật hoặc khi khẩu độ lớn dùng bản có sườn.

Cần bảo đảm áp sát chặt khít bản bê tông cốt thép với dầm thép đỡ nó. Các khe nối bản cần cầu tạo sao cho xe chạy qua êm thuận, không gây xung kích phá hỏng lớp phủ mặt cầu. Giữa đáy bản và mặt trên của bản cánh dầm thép phải rải một lớp vữa xi măng trước khi đặt bản. Nếu cần tăng diện tích gối bản lên dầm cũng có thể đổ bê tông bọc luôn cả cánh trên của dầm thép.

Các mối nối dọc và mối nối ngang của bản mặt cầu nên bố trí vào đúng bên trên các dầm thép để bảo đảm độ võng của mép bản đều nhau khi có hoạt tải tác dụng lên.

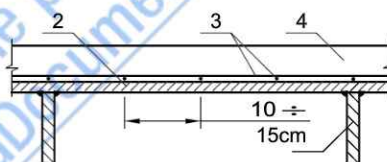
Mặt cầu có bản bê tông cốt thép thường khá nặng ( $600 - 800\text{kG/m}^2$ ). Có thể áp dụng loại bê tông nhẹ hoặc dạng bản bê tông cốt thép dự ứng lực để giảm tĩnh tải. Ưu điểm của loại mặt cầu này là chịu lực tốt, bền lâu, an toàn và êm thuận cho xe chạy.

#### *b. Mặt cầu bằng thép (Orthotropic steel decks)*

Trên bản thép của mặt cầu người ta rải một lớp bê tông nhựa hay bê tông xi măng. Bản thép dày 10 - 12mm có các sườn tăng cường cũng bằng dải thép hàn liên kết vào mặt đáy bản (hình 6.7). Phần mặt cầu này có tham gia chịu lực chung với dầm chủ. Trên mặt bản thép có hàn dính một lưới cốt thép để cho lớp bê tông nhựa dính bám tốt với bản thép. Lưới này gồm các cốt thép  $\Phi 6\text{mm}$  hàn thành các ô lưới vuông có cạnh từ 10 đến 15cm.

Để tăng cường hơn nữa độ cứng của bản có sườn, người ta thay các sườn dải thép bằng các sườn thép hình đặc biệt (hình 6.8).

Loại mặt cầu bản thép có sườn là loại mặt cầu tiên tiến, rất tiết kiệm thép cho cả kết cấu nhịp. Trọng lượng rải đều khoảng  $230 - 250\text{kG/m}^2$ . Loại mặt cầu này đã được áp dụng ở cầu Thăng Long.



**Hình 6.7** Mặt cầu có bản thép

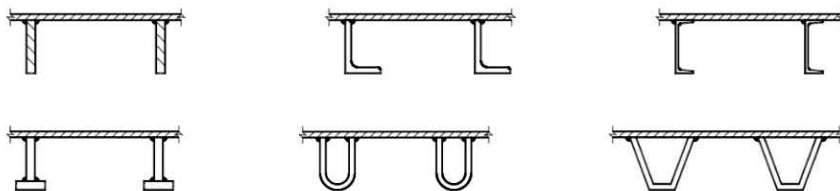
1 - Sườn tăng cường

2 - Bản thép dày 10 ÷

12mm 3 - Lưới cốt thép

$\Phi 6$

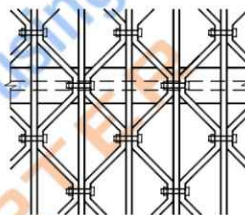
4 - Lớp bê tông asphalt



**Hình 6.8** Một số dạng bản có sườn tăng cường

Một số cầu thép còn dùng dạng sàn mặt cáo rỗng làm mặt cầu (hình 6.9). Loại mặt cầu này có trọng lượng rất nhẹ khoảng  $130 - 150 \text{ kg/m}^2$ , bảo đảm tốt về cường độ, độ bám, không cần hệ thống thoát nước, nhưng rất đắt, không cho các loại xe có xúc vật kéo qua lại, xe đạp đi cũng khó.

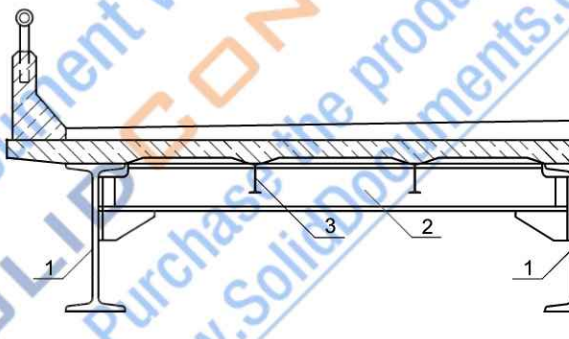
Một số dạng cầu quân sự có mặt cầu bằng hợp kim nhôm để giảm tĩnh tải, thuận tiện cho công tác vận chuyển và lắp ráp, nhưng giá thành rất cao.



**Hình 6.9** Mặt cầu kiểu sàn thép lưới mắt cáo

#### **Hệ thống dầm mặt cầu**

Hệ dầm mặt cầu gồm các dầm dọc, các dầm ngang có nhiệm vụ đỡ bộ phận mặt cầu (hình 6.10).



**Hình 6.10** Sơ đồ hệ dầm mặt cầu

1 - Dầm chủ; 2 - Dầm ngang; 3 - Dầm dọc

Đối với các cầu nhỏ, các dầm chủ đặt gần nhau nên không cần có hệ dầm mặt cầu nữa.

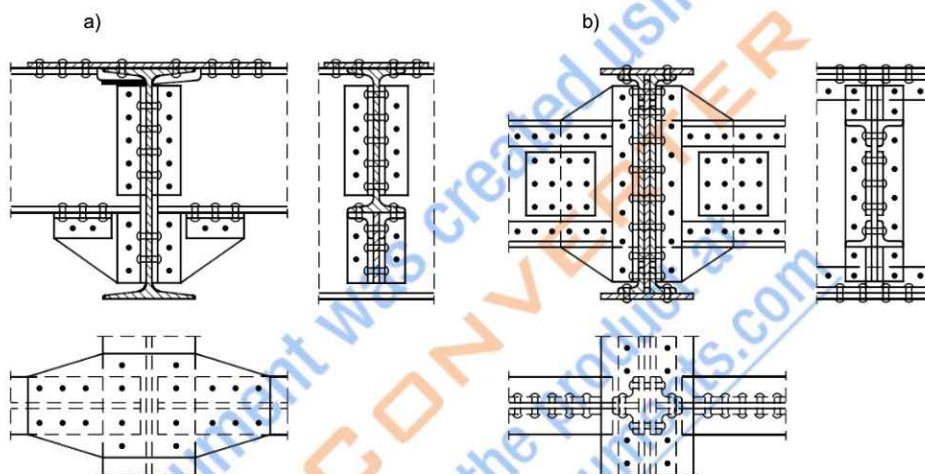
Trong các cầu mà khoảng cách giữa các dầm chủ (hoặc dàn chủ của cầu dàn có đường xe chạy dưới) lớn hơn 2,5m có thể chỉ làm các dầm ngang rồi đặt bộ phận mặt cầu bằng thép hay bê tông cốt thép lên trên chúng.

Đối với các nhịp lớn, để giảm chiều dài nhịp của kết cấu mặt cầu, có thể làm hệ dầm dọc và dầm ngang của mặt cầu. Trong cầu dàn thường bố trí dầm ngang tại các nút dàn, sau đó đặt dầm dọc lên trên các dầm ngang.

Khoảng cách giữa các dầm dọc thường từ 1 đến 2,5m, tùy theo loại mặt cầu sử dụng, đôi khi có thể tới 3m với bản mặt cầu bằng bê tông cốt thép.

Dầm mặt cầu thường có mặt cắt chữ I, khi nhịp ngắn và tải trọng nhẹ có thể dùng thép hình I. Các nhịp lớn hơn thường dùng dầm ghép bằng hàn hoặc đinh tán. Chiều cao dầm so với chiều dài nhịp vào khoảng  $1/8$  đến  $1/12$  nếu là dầm thép hình I, bằng  $1/7$  đến  $1/10$  nếu là dầm ghép. Sau khi chọn sơ bộ kích thước, các mặt cắt dầm được hiệu chỉnh lại qua tính toán. Các dầm quá cao cần có sườn tăng cường đứng và đôi khi phải có cả sườn tăng cường dọc để tăng cường ổn định cho sườn dầm.

Mặt cắt dầm ngang thường lớn hơn mặt cắt dầm dọc. Đôi khi nếu nội lực trong dầm ngang lớn quá thì có thể dùng loại dầm. Hình thức bố trí các dầm mặt cầu có nhiều cách, nếu đặt dầm dọc chồng lên dầm ngang thì cấu tạo đơn giản, nhưng lại làm tăng chiều cao kiến trúc của cầu, vì vậy phương pháp này ít dùng. Hình thức bố trí hệ dầm mặt cầu để vừa dễ liên kết và bảo đảm các yếu tố khác hiện nay thường dùng hai cách thể hiện trên hình 6.11.



**Hình 6.11** Liên kết các dầm mặt cầu

a) - Dầm dọc và dầm ngang đặt cùng cao độ; b) - Dầm dọc đặt thấp hơn dầm ngang

Theo phương pháp liên kết trên hình 6.11 thì chỗ giao nhau của các dầm sẽ có một dầm bị gián đoạn. Thông thường dầm ngang có tiết diện lớn hơn dầm dọc, nên dầm ngang được làm liên tục còn dầm dọc làm gián đoạn. Sườn dầm ngang tại chỗ liên kết với dầm dọc phải có sườn tăng cường để liên kết với bản bụng dầm dọc và tăng cường độ ổn định. Trường hợp thứ nhất (hình 6.11a) thì phía trên bản cánh của dầm dọc và dầm ngang phải có thêm tấm thép bản để liên kết bản cánh. Trường hợp thứ hai (hình 6.11b) thì trục của sườn dầm dọc thường được đặt trùng với tim của sườn dầm ngang để khoảng cách trên và dưới bằng nhau cho đơn giản và dễ liên kết. Nếu chiều cao dầm dọc thấp hơn nhiều so với chiều cao của dầm ngang thì người ta thường đặt thêm vào phía trên và dưới dầm dọc một bản thép (bản cá) đỡ dầm dọc và tránh sự tập trung ứng suất cũng như tăng cường khả năng ổn định cho sườn dầm dọc và dầm ngang.

#### CÂU HỎI ÔN TẬP

44. Trình bày ưu nhược điểm chung của cầu thép.
45. Trình bày các đặc điểm của các loại thép hình và phạm vi sử dụng của nó dùng trong cầu thép.