

NGUYỄN TẤN QUY - NGUYỄN THIÊN RUÊ

# GIÁO TRÌNH CÔNG NGHỆ BÊ TÔNG XI MĂNG

TẬP MỘT

EBOOKBKMT.COM  
Tài liệu kỹ thuật miễn phí



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

**GS. TS NGUYỄN TẤN QUÝ (chủ biên)**  
**GVC. TS NGUYỄN THIÊN RUỆ**

**GIÁO TRÌNH**  
**CÔNG NGHỆ**  
**BÊ TÔNG XI MĂNG**

**TẬP MỘT**

***Lý thuyết bê tông***

*(Tái bản lần thứ hai)*

**EBOOKBKMT.COM**  
**Tài liệu kỹ thuật miễn phí**

**NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC**

## LỜI NÓI ĐẦU

Lý thuyết bê tông là một trong hai phần liên quan chặt chẽ với nhau của giáo trình Công nghệ các sản phẩm đúc sẵn bằng bê tông và bê tông cốt thép. Nó nghiên cứu các dạng bê tông khác nhau, thành phần cấu tạo, tính chất của chúng và những nhân tố quyết định những tính chất này.

Việc nghiên cứu lý thuyết bê tông nhằm mục đích tìm hiểu tính chất và yêu cầu kỹ thuật của nguyên liệu, tỷ lệ phối hợp hợp lý giữa chúng, nguyên lý rần chắc và phát triển cường độ của các loại bê tông và các biện pháp cải thiện tính năng kỹ thuật của chúng phù hợp với yêu cầu của công nghệ thành hình cấu kiện và điều kiện sử dụng.

Trong phạm vi giáo trình này chỉ nghiên cứu các loại bê tông chế tạo từ các chất kết dính vô cơ như xi măng, vôi silic, các loại xỉ quặng, thạch cao...

Giáo trình này dùng cho sinh viên đại học ngành Công nghệ vật liệu và cấu kiện xây dựng, ngoài ra còn dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên các ngành khác cần hiểu biết sâu hơn về vật liệu bê tông.

Tham gia biên soạn giáo trình này gồm :

- GS. TS. Nguyễn Tấn Quý - chủ biên và viết các chương 1, 2, 3, 4, 5.
- GVC. TS. Nguyễn Thiện Ruệ viết các chương 6, 7, 8.

Do trình độ tác giả có hạn, chắc chắn giáo trình này không tránh khỏi những thiếu sót và trong khuôn khổ một giáo trình

cũng không thể đề cập đầy đủ đến các vấn đề chuyên sâu trong lĩnh vực bê tông.

Các tác giả mong nhận được sự góp ý của người đọc và các bạn đồng nghiệp để lần xuất bản sau chất lượng được hoàn hảo hơn.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn TS. Bạch Đình Thiên đã đọc và góp nhiều ý kiến quý báu cho lần biên soạn giáo trình này.

CÁC TÁC GIẢ

## Chương 1

# MỞ ĐẦU

### 1.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI

Bê tông là vật liệu đá nhân tạo do hỗn hợp của các chất kết dính vô cơ (xi măng, vôi silíc, thạch cao...) nước và các hạt rời rạc của cát, sỏi, đá dăm (được gọi là cốt liệu) nhào trộn theo một tỷ lệ thích hợp rắn chắc lại mà thành. Cũng có thể dùng chất kết dính hữu cơ như bi tum guđrông chế tạo nên bê tông atphan, hoặc chất dẻo (pôlime) chế tạo bê tông pôlime. Trong giáo trình này chỉ nghiên cứu bê tông chế tạo từ các chất kết dính vô cơ.

Trong bê tông, ngoài các thành phần cơ bản trên (chất kết dính, nước, cốt liệu) có thể thêm vào những chất phụ gia nhằm cải thiện các tính chất của bê tông như tăng tính lưu động của hỗn hợp bê tông, giảm lượng dùng nước và xi măng, điều chỉnh thời gian ninh kết và rắn chắc, nâng cao tính chống thấm của bê tông...

Bê tông là loại vật liệu rất quan trọng được sử dụng trong xây dựng cơ bản phục vụ cho mọi ngành kinh tế quốc dân như trong xây dựng dân dụng, công nghiệp, thủy lợi, cầu đường... vì có các ưu điểm sau :

- Có cường độ nén biến đổi trong phạm vi rộng và có thể đạt giá trị từ 100 ; 200 đến 900 ; 1000 daN/cm<sup>2</sup>.
- Có thể tạo mọi hình dáng công trình khác nhau.
- Tính chịu lửa tốt.
- Giá thành tương đối hạ vì sử dụng rộng rãi nguồn nguyên liệu địa phương.

Có nhiều cách phân loại bê tông, thường theo 3 cách.

### 1.1.1. Phân loại theo khối lượng thể tích (dung trọng)

Đây là cách phân loại thường được dùng nhất vì khối lượng riêng của các thành phần tạo nên bê tông gần như nhau (đều là các khoáng chất vô cơ) nên khối lượng thể tích của bê tông phản ánh độ đặc chắc của nó. Theo cách phân loại này có thể chia bê tông thành 4 loại :

1) **Đặc biệt nặng** :  $m_v > 2500 \text{ kg/m}^3$ , chế tạo bằng các cốt liệu đặc chắc và từ các loại đá chứa quặng. Bê tông này ngăn được các tia X và tia  $\gamma$ .

2) **Bê tông nặng** : (còn gọi là bê tông thường)  $m_v = 1800 \div 2500 \text{ kg/m}^3$  chế tạo từ các loại đá đặc chắc và các loại đá chứa quặng. Loại bê tông này được sử dụng phổ biến trong xây dựng cơ bản và dùng sản xuất các cấu kiện chịu lực.

3) **Bê tông nhẹ** :  $m_v = 500 \div 1800 \text{ kg/m}^3$ , gồm bê tông chế tạo từ cốt liệu rỗng thiên nhiên, nhân tạo và bê tông tổ ong không cốt liệu, chứa một lượng lớn lỗ rỗng kín giống dạng tổ ong.

4) **Bê tông đặc biệt nhẹ** : Bê tông cách nhiệt có  $m_v < 500 \text{ kg/m}^3$  có cấu tạo tổ ong với mức độ rỗng lớn, hoặc chế tạo từ cốt liệu rỗng nhẹ có độ rỗng lớn (không có cát).

### 1.1.2. Phân loại theo chất kết dính dùng trong bê tông

1) **Bê tông xi măng** : Chất kết dính là xi măng và chủ yếu là xi măng pooclang và các dạng khác của nó.

2) **Bê tông silicat** : Chế tạo từ nguyên liệu vôi và cát silic nghiền, qua xử lý chưng hấp ở nhiệt độ và áp suất cao.

3) **Bê tông thạch cao** : Chất kết dính là thạch cao hoặc xi măng thạch cao.

4) **Bê tông xi** : Chất kết dính là các loại xi lò cao trong công nghiệp luyện thép hoặc xi nhiệt điện, có thể không dùng clanhke xi măng, phải qua xử lý nhiệt ẩm ở áp suất thường hay áp suất cao.

5) *Bê tông pôlime* : Chất kết dính là chất dẻo hóa học và phụ gia vô cơ.

### 1.1.3. Phân loại theo phạm vi sử dụng

1) *Bê tông công trình* : Sử dụng ở các kết cấu và công trình chịu lực, yêu cầu có cường độ thích hợp và tính chống biến dạng.

2) *Bê tông công trình cách nhiệt* : Vừa yêu cầu chịu được tải trọng vừa cách nhiệt, dùng ở các kết cấu bao che như tường ngoài, tấm mái.

3) *Bê tông cách nhiệt* : Bảo đảm yêu cầu cách nhiệt của các kết cấu bao che có độ dày không lớn.

4) *Bê tông thủy công* : Ngoài yêu cầu chịu lực và chống biến dạng, cần có độ đặc chắc cao, tính chống thấm và bền vững dưới tác dụng xâm thực của nước môi trường.

5) *Bê tông làm đường* : Dùng làm tấm lát mặt đường, đường băng sân bay..., loại bê tông này cần có cường độ cao, tính chống cọ mòn lớn và chịu được sự biến đổi lớn về nhiệt độ và độ ẩm.

6) *Bê tông ổn định hóa học* : Ngoài yêu cầu thỏa mãn các chỉ tiêu kỹ thuật khác, cần chịu được tác dụng xâm thực của các dung dịch muối, axit, kiềm và hơi của các chất này mà không bị phá hoại hay giảm chất lượng sử dụng.

7) *Bê tông chịu lửa* : Chịu được tác dụng lâu dài của nhiệt độ cao trong quá trình sử dụng.

8) *Bê tông trang trí* : Dùng trang trí bề mặt công trình, có màu sắc yêu cầu và chịu được tác dụng thường xuyên của thời tiết.

9) *Bê tông nặng chịu bức xạ* : Dùng ở các công trình đặc biệt, hút được bức xạ của tia  $\gamma$  hay bức xạ nơtron.

## 1.2. KHÁI NIỆM VỀ BÊ TÔNG CỐT THÉP

Bê tông là một loại vật liệu giòn, cường độ chịu nén lớn, nhưng khả năng chịu kéo thấp, chỉ bằng 1/10 đến 1/15 cường

độ chịu nén. Nhưng trong rất nhiều công trình, nhiều bộ phận làm việc ở trạng thái chịu kéo, do đó tại phần chịu kéo của các kết cấu làm bằng bê tông sẽ bị nứt rạn, khả năng chịu lực giảm và có thể dẫn đến phá hoại hoàn toàn.

Qua rất nhiều nghiên cứu và thực tế sử dụng người ta đã phối hợp hai loại vật liệu bê tông và thép tạo nên bê tông cốt thép, có khả năng chịu nén, chịu kéo đều tốt, mở rộng phạm vi sử dụng loại vật liệu này trong mọi lĩnh vực xây dựng cơ bản.

Sở dĩ có thể phối hợp được hai loại vật liệu bê tông và cốt thép tạo nên thứ vật liệu ưu việt "bê tông cốt thép" vì ba đặc điểm sau.

### **1.2.1. Lực bám dính giữa bê tông và cốt thép rất lớn**

Có thể đạt đến  $40 \text{ daN/cm}^2$  của bề mặt tiếp xúc giữa bê tông và cốt thép (một thanh thép có  $\phi = 30 \text{ mm}$  chôn sâu trong bê tông  $30 \text{ cm}$ , có thể treo một trọng tải trên  $10 \text{ tấn}$ ). Nhờ sự bám dính tốt này, cốt thép không những làm tăng khả năng chịu kéo của bê tông mà còn làm tăng khả năng chịu nén nữa, do đó trong các bộ phận chủ yếu chịu nén (như cột) người ta vẫn đặt cốt thép và nhờ đó có thể rút nhỏ tiết diện và giảm được khối lượng cấu kiện (cứ mỗi  $\text{cm}^2$  tiết diện cốt thép có thể thay  $15 \text{ cm}^2$  tiết diện bê tông).

### **1.2.2. Bê tông bảo vệ được thép khỏi rỉ**

Sắt thép trong môi trường không khí và nước thường bị rỉ do bị oxy hóa. Quá trình oxy hóa này càng mạnh mẽ khi sắt thép tiếp xúc với axit và thường bắt đầu ở nơi có rỉ sẵn. Nhưng quá trình này có thể bị hạn chế và giảm chậm lại trong môi trường kiềm. Độ kiềm càng mạnh thì tác dụng bảo vệ càng lớn. Hỗn hợp bê tông là môi trường kiềm nên bảo vệ được cốt thép không bị rỉ, thậm chí có khi cốt thép đã bị rỉ nhẹ đặt vào bê tông, rỉ không những không phát triển nữa mà còn mất đi.



Điều cần chú ý là khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông chỉ có được khi bê tông bọc quanh cốt thép rất đặc chắc và có chiều dày ít nhất là 2cm. Nếu lớp bê tông bảo vệ bị rỗ, xốp, có nứt nẻ thì hơi ẩm có thể xâm nhập vào làm rỉ cốt thép, phá hoại lực bám dính giữa nó với bê tông, có thể làm hủy hoại kết cấu.

### 1.2.3. Độ dẫn nở nhiệt của hai loại vật liệu bê tông và cốt thép gần bằng nhau

Đối với phần lớn các loại bê tông khi bị đốt nóng đến  $100^{\circ}\text{C}$  hệ số dẫn dài trung bình  $10 \cdot 10^{-6}$ , của cốt thép là  $12 \cdot 10^{-6}$  vì vậy khi bị đốt nóng chúng có độ dẫn nở tương đối đồng đều, bê tông không bị nứt vỡ, bảo đảm sự bám dính tốt.

## 1.3. KHÁI NIỆM VỀ BÊ TÔNG CỐT THÉP ỨNG SUẤT TRƯỚC

Mặc dù bê tông cốt thép đã đạt được đỉnh cao trong sự phát triển của nó, nhưng vì năng lực chịu kéo quá kém, nên bê tông trong các phần chịu kéo của kết cấu bê tông cốt thép chỉ có tác dụng là lớp bảo vệ cốt thép và không có khả năng chịu lực. Mặt khác mặc dù kỹ nghệ luyện thép đã sản xuất được nhiều loại thép có cường độ cao, nhưng trong bê tông cốt thép vẫn phải dùng thép có cường độ thấp, độ dẫn dài khi kéo bé, xấp xỉ với độ dẫn dài của bê tông để bê tông không bị đứt vỡ, do đó trong sản xuất bê tông cốt thép đã không lợi dụng được tiến bộ kỹ thuật của luyện thép để tiết kiệm sắt thép.

Để khắc phục những hạn chế trên, người ta tìm cách tăng khả năng chịu kéo của bê tông bằng biện pháp kéo trước cốt thép rồi buông ra để gây tác dụng nén trước trong bê tông, tạo nên trong bê tông ứng suất nén trước, tức là làm cho bê tông tiềm tàng một thế năng chịu kéo. Khi kết cấu chịu tác dụng của ngoại lực gây nên lực kéo thì đầu tiên bê tông để mất đi phần ứng suất nén trước, đã có khi bị nén rồi mới chịu kéo, do đó khả năng chịu kéo của bê tông tăng lên đáng kể, có thể xấp xỉ cường độ chịu nén. Người ta gọi loại vật liệu mới này là bê tông ứng suất trước (dự ứng lực).

Cốt thép dùng trong bê tông ứng suất trước là thép sợi có cường độ cao được căng trước bằng thiết bị đặc biệt (sẽ giới thiệu ở phần công nghệ). Hiện nay có hai phương pháp chế tạo bê tông ứng suất trước.

### 1.3.1. Phương pháp căng trước

Theo phương pháp này, người ta kéo căng trước cốt thép, sau đó mới đổ bê tông. Khi bê tông đã rắn chắc, thả kích căng cốt thép ra. Cốt thép khi mất lực căng sẽ co lại và do lực bám dính của bê tông và cốt thép, bê tông sẽ bị nén, tạo nên ứng suất nén trước trong bê tông.

### 1.3.2. Phương pháp căng sau

Theo phương pháp này, khi đúc bê tông người ta đặt những ống nhỏ trong khuôn cấu kiện và luồn cốt thép qua những ống này, rồi đổ bê tông lấp lên các ống. Sau khi bê tông đã rắn chắc, người ta kéo căng cốt thép và neo đầu các cốt thép này vào bản neo tì vào đầu cấu kiện bê tông. Cũng như trường hợp trước, cốt thép sau khi bỏ lực căng sẽ co lại ép chặt vào bản neo, truyền lực nén cho cấu kiện bê tông, gây nên ứng suất nén trước trong bê tông (các khe hở trong ống luồn cốt thép sẽ được lấp kín bằng cách phụt vữa xi măng mác cao vào).

Bê tông ứng suất trước có khả năng chống nứt, chống va chạm cao hơn, đồng thời tiết kiệm nguyên vật liệu, giảm nhẹ khối lượng cấu kiện so với bê tông thường.

## 1.4. SƠ LƯỢC VỀ CẤU KIỆN BÊ TÔNG ĐÚC SẴN

Ở những thế kỷ trước, công tác xây dựng cơ bản ít phát triển, tốc độ xây dựng chậm vì chưa có một phương pháp xây dựng tiên tiến, chủ yếu thi công bằng tay, mức độ cơ giới thấp và một nguyên nhân quan trọng là công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng chưa phát triển.

Những năm 30-40 của thế kỷ 19, công nghiệp sản xuất xi măng poocăng ra đời tạo ra một chuyển biến cơ bản trong xây

dụng. Nhưng cho đến những năm 70-80 của thế kỷ này bê tông cốt thép mới được sử dụng vào các công trình xây dựng và từ đó chỉ một thời gian tương đối ngắn, loại vật liệu có nhiều tính ưu việt này đã được phát triển nhanh chóng và chiếm vị trí quan trọng trong các loại vật liệu xây dựng.

Trong quá trình sử dụng, cùng với sự phát minh ra nhiều loại bê tông và bê tông cốt thép mới, người ta càng hoàn thiện phương pháp tính toán kết cấu, càng phát huy được tính năng ưu việt và hiệu quả sử dụng của chúng, do đó càng mở rộng phạm vi sử dụng của loại vật liệu này.

Đồng thời với việc sử dụng bê tông và bê tông cốt thép toàn khối, đổ tại chỗ, không bao lâu sau khi xuất hiện bê tông cốt thép, cấu kiện bê tông đúc sẵn cũng ra đời. Vào những năm đầu của nửa cuối thế kỷ 19, người ta đã đúc những chiếc cột đèn đầu tiên bằng bê tông với lõi gỗ và những tà vẹt đường sắt bằng bê tông cốt thép xuất hiện lần đầu vào những năm 1877. Những năm cuối của thế kỷ 19, việc sử dụng những cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn có kết cấu đơn giản như cột, tấm tường bao che, khung cửa sổ, cầu thang... đã tương đối phổ biến. Những năm đầu của thế kỷ 20, kết cấu bê tông cốt thép đúc sẵn được sử dụng dưới dạng những kết cấu chịu lực như sàn gác, tấm lát vỉa hè, dầm và tấm lát mặt cầu nhịp bé, ống dẫn nước có đường kính không lớn.

Những sản phẩm này thường được chế tạo bằng phương pháp thủ công với những mẻ trộn bê tông nhỏ bằng tay hoặc với những máy trộn loại bé và do đó việc sản xuất cấu kiện chưa có tính chất công nghiệp, việc thi công lắp ghép các cấu kiện cũng chủ yếu bằng thủ công, trình độ khoa học về xây dựng nói chung còn thấp nên việc sản xuất và sử dụng các cấu kiện đúc sẵn bằng bê tông cốt thép còn bị hạn chế, cho đến trước năm 1930 vẫn chưa có ảnh hưởng đáng kể tới sự phát triển và hiện đại hóa ngành xây dựng cơ bản.

Trong 10 năm từ 1930 ÷ 1940, việc sản xuất cấu kiện bê tông cốt thép bằng thủ công đã dần dần được thay bằng phương pháp cơ giới và việc nghiên cứu thành công dây chuyền công

nghệ sản xuất các cấu kiện bê tông cốt thép được áp dụng, tạo điều kiện ra đời những nhà máy sản xuất cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn đầu tiên.

Cũng trong 10 năm này nhiều loại máy trộn bê tông xuất hiện, đồng thời nhiều phương thức đầm chặt bê tông bằng cơ giới như chấn động, cán, cán rung, li tâm, hút chân không cũng được sử dụng phổ biến trong các cơ sở sản xuất cấu kiện bê tông đúc sẵn và một thành công quan trọng cho phép rút ngắn đáng kể quá trình sản xuất cấu kiện bê tông đúc sẵn là các phương pháp dưỡng hộ nhiệt (hơi nước, buồng chưng áp, dưỡng hộ điện) cùng các biện pháp hóa học sử dụng phụ gia làm rắn nhanh bê tông cũng như việc sử dụng xi măng rắn nhanh (xi măng aluminát).

Từ sau đại chiến thế giới lần thứ hai, nhu cầu phục vụ cho sự phát triển xây dựng các công trình dân dụng và công nghiệp trở nên rất cấp bách, thúc đẩy phát triển nhanh chóng các cơ sở sản xuất cấu kiện bê tông đúc sẵn và ngành công nghiệp này đã chiếm một ưu thế, một vị trí rất quan trọng trong xây dựng cơ bản.

Mấy chục năm gần đây, những thành tựu nghiên cứu về lý luận cũng như về phương pháp tính toán bê tông cốt thép trên thế giới càng thúc đẩy ngành công nghiệp sản xuất cấu kiện bê tông cốt thép phát triển và đặc biệt là thành công của việc nghiên cứu bê tông ứng suất trước được áp dụng vào sản xuất cấu kiện là một thành tựu có ý nghĩa to lớn. Nó cho phép tận dụng bê tông sở hiệu cao, cốt thép cường độ cao, tiết kiệm được bê tông và sắt thép, nhờ đó có thể thu nhỏ kích thước cấu kiện, giảm nhẹ khối lượng, nâng cao năng lực chịu tải và khả năng chống nứt của cấu kiện bê tông cốt thép.

Ngày nay ở những nước phát triển, cùng với việc công nghiệp hóa ngành xây dựng, cơ giới hóa thi công với phương pháp thi công lắp ghép, cấu kiện bằng bê tông cốt thép và bê tông ứng suất trước được sử dụng hết sức rộng rãi, đặc biệt trong ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp với các loại cấu kiện có hình dáng, kích thước và công dụng khác nhau như

cột nhà, móng nền, dầm cầu chạy, vì kèo, tấm lợp, tấm tường, tấm lát nền. Ở nhiều nước có những nhà máy sản xuất đồng bộ các cấu kiện cho từng loại nhà theo thiết kế định hình.

Ngoài ra cấu kiện đúc sẵn bằng bê tông cốt thép cũng được sử dụng ngày càng rộng rãi vào các ngành xây dựng cầu đường, thủy lợi, sân bay, các loại cột điện, các dầm cầu nhịp lớn 30 + 40m, cọc ống dài, các loại ống dẫn nước không áp và có áp, tấm ghép cho các đập nước.

Ngày nay với những trang bị kỹ thuật hiện đại có thể cơ giới hóa toàn bộ và tự động hóa nhiều khâu của dây chuyền công nghệ trong các cơ sở sản xuất cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn và do đó càng đáp ứng được nhu cầu to lớn của xây dựng cơ bản.

Sở dĩ cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn được sử dụng ngày càng rộng rãi trong xây dựng cơ bản vì những ưu điểm cơ bản sau đây.

1) Tạo điều kiện công nghiệp hóa ngành xây dựng với phương pháp thi công lắp ghép cơ giới hóa, đẩy nhanh tốc độ xây dựng, đồng thời giảm được số lượng công nhân xây dựng và cán bộ kỹ thuật các ngành chuyên môn khác nhau.

2) Bảo đảm kế hoạch sản xuất và chất lượng sản phẩm cũng như công trình xây dựng.

- Với điều kiện sản xuất tập trung trong nhà máy, có thể lựa chọn nguyên vật liệu đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật và khống chế chặt chẽ các thao tác kỹ thuật trong dây chuyền công nghệ để thỏa mãn các yêu cầu khác nhau về tính năng kỹ thuật của cấu kiện, đảm bảo chất lượng sản phẩm.

- Do được sản xuất trong nhà máy nên kế hoạch sản xuất, chất lượng sản phẩm cũng như công tác xây dựng nói chung không bị ảnh hưởng đáng kể của thời tiết, tạo khả năng cho việc triển khai công tác xây dựng trong toàn năm.

- Do loại bỏ quá trình dưỡng hộ tự nhiên, rút ngắn chu trình sản xuất không cần phải chờ đợi công trình đủ sức chịu tải nên có thể sớm đưa công trình vào sử dụng phục vụ sản xuất.

3) Tiết kiệm được nguyên vật liệu bê tông, gỗ, sắt thép. Dựa theo tính toán chính xác và do việc sử dụng bê tông số hiệu cao, thép chất lượng tốt có thể tiết kiệm được rất nhiều bê tông, sắt thép (so với phương pháp sản xuất cũ có thể giảm từ 1/4 đến 1/3 bê tông, 5 ÷ 20% sắt thép và nếu dùng bê tông ứng suất trước có thể tiết kiệm được tới 60 ÷ 70% sắt thép), hạn chế được việc dùng một lượng khá lớn gỗ để làm ván khuôn, giàn giáo, có thể giảm 60 ÷ 90% lượng gỗ so với đổ bê tông tại chỗ. Mặt khác cũng giảm bớt trình trạng đổ vương vãi một cách lãng phí nguyên vật liệu trong sản xuất và thi công ở các công trường xây dựng.

4) Cải thiện điều kiện làm việc của công nhân xây dựng, hạn chế lao động thi công nặng nhọc, giảm được lao động ngoài trời và do cơ giới hóa được các khâu của dây chuyền sản xuất nên nâng cao được năng suất lao động.

5) Do những ưu điểm trên, việc sử dụng cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn cùng với việc cơ giới hóa ngành xây dựng ảnh hưởng tới việc giảm giá thành sản phẩm nói riêng và các công việc xây dựng nói chung.

Tuy nhiên việc sản xuất và sử dụng cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn kèm theo yêu cầu vận chuyển khá lớn để đưa nguyên vật liệu đến nhà máy và thành phẩm đến khu xây dựng. Do đó một trong những yêu cầu cơ bản khi xây dựng các nhà máy cấu kiện bê tông là căn cứ vào yêu cầu cung cấp vật liệu và bán kính tiêu thụ sản phẩm để chọn phương án về địa điểm nhà máy hợp lý nhất, giảm chi phí về vận chuyển. Mặt khác cần giảm nhẹ khối lượng sản phẩm bằng cách sử dụng bê tông cường độ cao để rút nhỏ kích thước của cấu kiện, hoặc sử dụng bê tông nhẹ chất lượng cao và đồng thời tính toán xác định kích thước và dạng kết cấu hợp lý nhất cho các cấu kiện (đơn giản hóa về mặt kết cấu, phát huy đầy đủ khả năng chịu lực và hiệu quả sử dụng chúng). Đối với những cấu kiện lớn, có thể giảm nhẹ khối lượng bằng cách sử dụng những kết cấu không gian mỏng với độ cong một hoặc hai chiều.

Cần chú ý là yêu cầu giảm nhẹ khối lượng sản phẩm không hạn chế việc tăng độ lớn, kích thước của từng cấu kiện đúc sẵn nhằm giảm số lượng đơn vị lắp ghép trong thi công, giảm số mối nối, nhờ đó đẩy nhanh tốc độ xây lắp công trình, sử dụng tốt nhất công suất các cần trục dùng trong xây lắp.

Việc môđun hóa và tiêu chuẩn hóa các cấu kiện lắp ghép cho phép sản xuất hàng loạt những cấu kiện cùng loại, tăng hiệu suất sử dụng các thiết bị, tạo điều kiện đơn giản hóa và hiện đại hóa dây chuyền công nghệ, nâng cao chất lượng sản phẩm, giảm hao phí lao động và hạ giá thành.

Việc sản xuất và sử dụng cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn tuy có nhiều tính ưu việt như vậy, nhưng từ một nền xây dựng có tính chất cổ truyền, mức độ cơ giới hóa thấp chuyển sang một nền xây dựng mang tính chất công nghiệp, hiện đại sẽ gặp những khó khăn lớn sau đây đòi hỏi những nỗ lực toàn diện để khắc phục.

1) Việc xây dựng đồng bộ một đội ngũ cán bộ kỹ thuật và công nhân xây dựng lành nghề cho các cơ sở sản xuất các cấu kiện đúc sẵn bằng bê tông cốt thép và cho các đơn vị thi công lắp ghép đòi hỏi nhiều thời gian và công sức đào tạo.

2) Trang thiết bị toàn bộ và phụ tùng máy móc cho các xí nghiệp cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn và các đơn vị thi công lắp ghép đòi hỏi có một nền công nghiệp cơ khí mạnh và đồng bộ.

3) Trình độ quản lý sản xuất và tổ chức thi công phải có những tiến bộ nhanh và vững chắc, tạo được sự phối hợp chặt chẽ và nhịp nhàng giữa các khâu của dây chuyền công nghệ và tiến độ thi công mới bảo đảm được kế hoạch sản xuất và chất lượng công trình. Mặt khác việc công nghiệp hóa ngành xây dựng cơ bản theo phương thức thi công lắp ghép các loại cấu kiện đúc sẵn đòi hỏi cấp bách sự thống nhất các tiêu chuẩn về kích thước cấu kiện, định hình hóa thiết kế các đơn nguyên xây lắp.

4) Việc giải quyết mối nối giữa các cấu kiện và các bộ phận công trình với nhau, cũng như vấn đề độ cứng của công

trình vẫn còn là những vấn đề kỹ thuật phức tạp cần được nghiên cứu với sự phối hợp nhiều bộ môn chuyên môn khác nhau.

Tuy còn những khó khăn chưa có thể sớm khắc phục, đưa tới sự hạn chế nhất định trong việc hiện đại hóa ngành xây dựng cơ bản, nhưng nhu cầu xây dựng trước mắt và trong tương lai lâu dài vẫn đòi hỏi sự phát triển mạnh mẽ và nhanh chóng những nhà máy và các cơ sở sản xuất cấu kiện đúc sẵn bằng bê tông cốt thép.



## Chương 2

# HỖN HỢP BÊ TÔNG

### 2.1. TÍNH CHẤT CƠ LÝ VÀ ĐẶC TRƯNG LƯU BIẾN CỦA HỖN HỢP BÊ TÔNG

#### 2.1.1. Hai yêu cầu cơ bản của hỗn hợp bê tông

Các thành phần tạo nên bê tông (cốt liệu, chất kết dính, nước, các phụ gia) được phối hợp theo một tỷ lệ hợp lý, được nhào trộn đồng đều nhưng chưa bắt đầu quá trình ninh kết và rắn chắc được gọi là hỗn hợp bê tông.

Việc xác định tỷ lệ cấp phối và yêu cầu chất lượng của hỗn hợp bê tông không những nhằm bảo đảm các tính năng kỹ thuật của bê tông ở những tuổi nhất định mà còn phải thỏa mãn những yêu cầu công nghệ sản xuất, liên quan đến việc lựa chọn thiết bị tạo hình, đổ khuôn, đầm chặt và các chế độ công tác khác.

Bất cứ loại hỗn hợp bê tông nào và việc tạo hình sản phẩm theo phương pháp công nghệ nào, hỗn hợp bê tông cũng cần thỏa mãn hai yêu cầu cơ bản sau.

1. Tính đồng nhất của hỗn hợp bê tông có được khi nhào trộn phải được duy trì trong quá trình vận chuyển, đổ khuôn và đầm chặt. Nó đảm bảo cho hỗn hợp bê tông có sự liên kết nội bộ tốt, không bị phân tầng tách nước.

2. Tính công tác tốt (hay tính dễ đổ khuôn) phù hợp với phương pháp và điều kiện thành hình sản phẩm. Hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt sẽ dễ dàng và nhanh chóng lấp đầy

khuôn, giữ được sự liên kết toàn khối và sự đồng nhất về mặt cấu tạo của bê tông.

Tính công tác của hỗn hợp bê tông thể hiện khả năng lưu động (chảy) và mức độ dẻo của hỗn hợp tức là khả năng chảy lấp đầy khuôn một cách liên tục và không rạn nứt bề mặt hỗn hợp.

### **2.1.2. Thành phần và nội lực tương tác**

Hỗn hợp bê tông mới nhào trộn, khi mới bắt đầu các tác dụng hóa học giữa chất kết dính và nước là một hệ phân tán nhiều thành phần phức tạp khác nhau về kích thước, hình dáng và tính chất :

- Những hạt phân tán của chất kết dính.
- Những hạt tương đối lớn của cốt liệu.
- Nước.
- Chất phụ gia.
- Không khí.

Trong hệ thống tồn tại những nội lực tác dụng lẫn nhau giữa những hạt phân tán của pha rắn và nước : lực dính phân tử, sức căng bề mặt của nước trong mao quản (lực mao dẫn), lực ma sát nhớt, ma sát khô, nên hỗn hợp bê tông có thể được xem là một thể vật lý thống nhất có những tính chất cơ lý và những đặc trưng lưu biến nhất định, phụ thuộc vào thành phần hỗn hợp cũng như cấu tạo và tính chất của vật liệu tạo nên hỗn hợp.

Hệ thống này không ngừng biến đổi kết cấu nội bộ, do quá trình thủy hóa các chất kết dính, làm giảm lượng nước tự do và thay đổi dạng liên kết trong hệ. Các sản phẩm thủy hóa xuất hiện ban đầu dưới dạng hạt keo, sau đó kết tụ lại tạo nên những mầm kết tinh và hỗn hợp sẽ đặc dần lại. Quá trình biến đổi này dẫn đến sự thay đổi không ngừng tính chất và đặc trưng lưu biến của hỗn hợp bê tông.

### **2.1.3. Sự hình thành độ nhớt kết cấu và tính xúc biến của hỗn hợp bê tông**

Thành phần cơ bản tạo nên cấu trúc trong hỗn hợp bê tông là hồ xi măng. Hồ xi măng là hỗn hợp giữa nước với chất

kết dính và những hạt rắn phân tán khác của các chất phụ gia vô cơ nghiền mịn cho vào hỗn hợp bê tông và cả những hạt sét, bụi bám vào cốt liệu. Hồ xi măng cũng là hệ phân tán, cùng với sự phát triển của quá trình thủy hóa, bề mặt phân chia pha phát triển nhanh, sẽ sinh ra một số lượng lớn những hợp chất mới làm tăng độ phân tán của những hạt pha rắn trong hồ xi măng, dẫn đến sự tăng lượng nước hấp phụ trong hệ, sự phát triển lực dính phân tử giữa các hạt xi măng làm tăng năng lực dính kết và tính dẻo của hồ xi măng, tăng cường vai trò liên kết của nó trong hỗn hợp bê tông. Mặt khác, do tác dụng của lực dính phân tử giữa những hạt được màng nước bao bọc tạo nên kết cấu không gian liên tục tạo cho hồ xi măng có một cường độ kết cấu ban đầu và được gọi là độ nhót kết cấu.

Cường độ kết cấu ban đầu này phụ thuộc vào nồng độ hạt xi măng trong hỗn hợp, thời gian kể từ lúc nhào trộn xi măng với nước và nhiệt độ môi trường.

Một hỗn hợp bê tông với một lượng hồ xi măng đủ để tạo nên một môi trường liên tục trong đó các hạt cốt liệu nhỏ và lớn được phân bố sao cho chúng không tiếp xúc nhau sẽ có được những tính chất của thể nhót, dẻo và những đặc trưng lưu biến như hồ xi măng.

Một hỗn hợp bê tông dẻo là trung gian giữa vật thể rắn và lỏng (nhót). Nó khác với vật thể rắn ở chỗ không có tính đàn hồi dưới tác dụng của những tải trọng không lớn và khác với thể lỏng ở chỗ có cường độ kết cấu (độ nhót kết cấu) nhờ nội lực ma sát nhót mà thể lỏng thực không có.

Độ nhót kết cấu khác về thực chất với độ nhót thực của thể lỏng. Độ nhót của thể lỏng không thay đổi theo thời gian và không phụ thuộc vào trị số ứng suất cắt hay áp lực tác dụng lên nó (độ nhót này chỉ có thể thay đổi khi biến đổi nhiệt độ) còn độ nhót kết cấu thay đổi phụ thuộc vào ứng suất cắt tác dụng lên hệ và vận tốc biến dạng cắt.

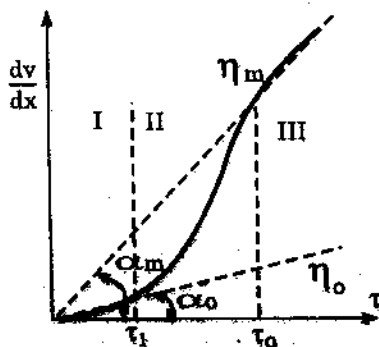
Khi vận tốc cắt tiến đến một giá trị tới hạn, kết cấu ban đầu của hệ bị phá hoại, độ nhót và sức chống cắt có thể tiến đến một giá trị rất bé, kết quả là hỗn hợp ít lưu động trở nên có tính chảy. Chỉ khi nào sự rung động hoặc dao động kích thích cường

bức dừng lại, hỗn hợp mới trở về trạng thái ban đầu, trở nên ít lưu động và phục hồi cường độ ban đầu của kết cấu.

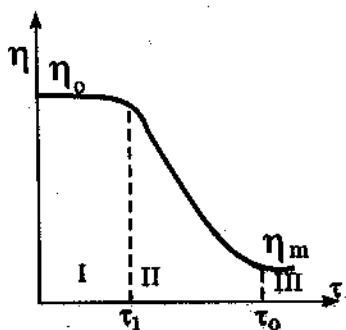
Khả năng của hệ có thể thay đổi đặc trưng lưu biến dưới ảnh hưởng của tác dụng cơ học và phục hồi lại sau khi ngừng tác dụng được gọi là *tính xúc biến*.

Trong thực tế, tính xúc biến này được lợi dụng để làm hóa lỏng hỗn hợp bê tông ít lưu động hoặc cứng ở các giai đoạn công nghệ (nhào trộn, vận chuyển, đổ khuôn, đầm chặt). Cho đến nay, người ta cũng chưa giải thích được bản chất của hiện tượng xúc biến, có giả thiết cho rằng bản chất của xúc biến là chuyển động nhiệt của các hạt dạng keo.

a)



b)



$$a) \frac{dv}{dx} = f(\tau)$$

$$b) \eta = \Phi(\tau)$$

- $\eta_0$  - độ nhớt kết cấu ban đầu ;
- $\eta_m$  - độ nhớt dẻo khi kết cấu của hệ bị phá hoại ;
- $\alpha_0 ; \alpha_m$  - góc dốc trung cho giá trị hệ số nhớt của hệ thống ;
- $\tau$  - ứng suất cắt ;
- $\frac{dv}{dx}$  - gradien vận tốc biến dạng cắt.

Hình 2-1

Sự biến đổi độ nhớt kết cấu của hệ thống hay vận tốc biến dạng cát phụ thuộc vào ứng suất cát có thể biểu thị bằng đường cong biến thiên ứng suất - biến dạng.

Trên trục hoành có thể phân làm 3 khu vực ứng với những giá trị ứng suất cát tới hạn.

- *Khu vực I* : Kết cấu của hệ chưa phá hoại, độ nhớt kết cấu ban đầu có giá trị cực đại  $\eta_0$ , ứng với lúc đạt tải trọng và cùng với sự tăng ứng suất cát, hỗn hợp bị biến dạng với một giá trị vận tốc tỷ lệ với sự tăng ứng suất, nhưng giá trị của độ nhớt không thay đổi, kết cấu chưa phá hoại. Ứng suất tới hạn của khu vực này  $\tau_1$ , tương ứng với giới hạn chảy của hệ ; đạt đến giá trị ứng suất này, kết cấu bắt đầu phá hoại.

- *Khu vực II* : Cùng với sự tăng của ứng suất, kết cấu ban đầu của hệ bị phá hoại và cho đến khi ứng suất đạt đến giá trị  $\tau_0$  thì kết cấu bị phá hoại hoàn toàn. Độ nhớt kết cấu trong khu vực này được gọi là độ nhớt hữu ích. Nó giảm rất nhanh cùng với sự tăng của ứng suất và tương ứng với sự phát triển của gradien vận tốc ( $dv/dx$ ).

- *Khu vực III* : Cấu trúc ban đầu của hệ bị phá hoại hoàn toàn. Độ nhớt đạt đến giá trị cực tiểu và được gọi là độ nhớt dẻo. Độ nhớt này tương tự độ nhớt thực của thể lỏng và không biến đổi, không phụ thuộc vào trị số ứng suất tác dụng lên hệ. Nó có thể được xem như là hệ số tỷ lệ giữa ứng suất cát và vận tốc chảy của hỗn hợp.

Mô hình lưu biến của hệ ở trạng thái chảy ổn định tuân theo phương trình :

$$\tau = \tau_0 + \eta_m \frac{dv}{dx}$$

trong đó :  $\tau$  - ứng suất cát ( $\text{daN/cm}^2$ ) ;

$\tau_0$  - ứng suất cát tới hạn ( $\text{daN/cm}^2$ ) ;

$\eta_m$  - độ nhớt dẻo của hệ với kết cấu đã bị phá hoại

tính bằng poase ( $\frac{1}{10} \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$ )

$\frac{dv}{dx}$  - gradien vận tốc biến dạng cát.

Trong hỗn hợp bê tông với một hàm lượng lớn cốt liệu thô, bên cạnh ma sát nhớt, còn xuất hiện ma sát khô giữa các hạt cốt liệu tiếp xúc nhau và trạng thái lưu biến của hỗn hợp có thể biểu diễn theo phương trình Culông :

$$\tau = \sigma \tan \varphi + C$$

trong đó :  $\sigma$  - ứng suất trong hỗn hợp (daN/cm<sup>2</sup>) ;

$\varphi$  - góc nội ma sát khô ;

C - độ nhớt kết cấu của hệ.

Ứng dụng hiệu quả của việc hóa lỏng xúc biến có thể dùng biện pháp chấn động với cường độ thích hợp cho từng loại hỗn hợp bê tông để phá hoại hoàn toàn kết cấu ban đầu của hệ, đồng thời làm giảm nội ma sát đến giá trị cực tiểu để hỗn hợp bê tông ít lưu động trở nên trạng thái chảy nhớt với độ nhớt dẻo có giá trị không đổi. Ở trạng thái này, tính chất lưu biến của hỗn hợp bê tông tuân theo phương trình lưu biến của Niuton :

$$\tau = \eta_m \frac{dv}{dx}$$

Tóm tắt : Hỗn hợp bê tông được đánh giá qua những chỉ tiêu về tính chất cơ lý và những đặc trưng lưu biến.

1) Cường độ kết cấu ban đầu được đo bằng giá trị của ứng suất cắt tới hạn  $\tau_0$  (daN/cm<sup>2</sup>). Đạt đến giá trị này, kết cấu hoàn toàn bị phá hoại và hỗn hợp mang tính chất của một thể lỏng nhớt.

2) Độ nhớt dẻo (đo bằng poa dơ) : Đặc trưng cho tính chất chảy nhớt của hỗn hợp khi kết cấu đã bị hoàn toàn phá hoại.

3) Mô đun đàn hồi tức thời (daN/cm<sup>2</sup>) cho phép đánh giá tính chất đàn hồi của hỗn hợp bê tông khi chịu tác dụng ngoại lực.

## **2.2. CÁC LOẠI HỖN HỢP BÊ TÔNG VÀ ĐẶC TRƯNG CÔNG NGHỆ CỦA CHÚNG**

### **2.2.1. Hai loại hỗn hợp bê tông**

Dựa vào tính chất của hỗn hợp bê tông mới nhào trộn có thể chia hỗn hợp bê tông thành hai loại sau :

- Hỗn hợp bê tông lưu động : Nhào trộn tương đối nhẹ nhàng và có thể lấp đầy khuôn dưới tác dụng của khối lượng bản thân hoặc chỉ cần bổ sung một ngoại lực bé (ứng với hỗn hợp ít lưu động).

- Hỗn hợp bê tông cứng : Do có nội lực ma sát và lực dính kết lớn, có giá trị ứng suất cắt lớn nên khi đổ khuôn và đầm chặt nhất thiết phải cần tác dụng cơ học.

Hai loại hỗn hợp bê tông này khác nhau về thành phần cấu tạo và dạng bên ngoài. Một hỗn hợp lưu động được nhào trộn tốt là một hỗn hợp dẻo có đặc tính liên tục về cấu tạo, cốt liệu trong hỗn hợp ở trạng thái "lơ lửng" trong môi trường liên tục của hồ xi măng. Một cấu tạo như thế bảo đảm tính dính kết, tính không phân tầng của hỗn hợp bê tông và tính lưu động cao.

Trong hỗn hợp bê tông cứng, lượng nước không đủ để cấu tạo nên một mạng liên tục những màng nước bao bọc xung quanh hạt xi măng và các thành phần hạt mịn khác, do đó hỗn hợp bê tông cứng là hỗn hợp xộp rời (tính liên tục kém) gồm các thành phần rời rạc của hạt cốt liệu được gắn với nhau bằng keo xi măng đặc, nội lực ma sát khô lớn. Hỗn hợp bê tông cứng chỉ có thể đầm chặt dưới tác dụng mạnh mẽ của ngoại lực.

*So với hỗn hợp bê tông lưu động, hỗn hợp bê tông cứng có ưu điểm :*

- Để đạt cùng một cường độ, trong hỗn hợp bê tông cứng, hàm lượng nước, chất kết dính và cốt liệu bé ít hơn, hàm lượng cốt liệu lớn được tăng lên tạo nên một khung cốt liệu vững chắc phát huy được khả năng chịu lực của cốt liệu, giảm được lượng dùng xi măng, nâng cao độ đặc chắc, tính bền vững, khả năng chống thấm của bê tông.

• Hỗn hợp bê tông cứng rắn chắc nhanh, nhất là ở thời kỳ đầu, cho phép rút ngắn thời gian dưỡng hộ 4+5 lần, nếu dưỡng hộ tự nhiên và 2+3 lần nếu dưỡng hộ nhiệt ẩm so với hỗn hợp bê tông lưu động, cho phép rút ngắn chu trình sản xuất, nâng cao hiệu suất ván khuôn, máy móc, thiết bị tạo hình, dưỡng hộ.

Tuy nhiên việc sử dụng hỗn hợp bê tông cứng cũng gặp khó khăn về trang thiết bị trong nhà trộn, đầm chặt nên vốn đầu tư ban đầu để xây dựng nhà máy sẽ cao. Mặt khác yêu cầu giám sát về mặt kỹ thuật trong dây chuyền công nghệ rất chặt chẽ, lượng dùng nước phải cân đúng chính xác mới đảm bảo chất lượng sản phẩm.

Cùng với việc sử dụng phổ biến phụ gia tăng dẻo và siêu dẻo, tính lưu động của hỗn hợp bê tông được cải thiện rõ rệt, khắc phục mặt hạn chế của hỗn hợp bê tông cứng, nâng cao phẩm chất sử dụng của vật liệu bê tông.

Trong sản xuất cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn, khi chọn loại hỗn hợp bê tông và chỉ tiêu tính lưu động hoặc độ cứng của hỗn hợp cần phải căn cứ vào điều kiện cụ thể của việc nhà trộn hỗn hợp, phương thức thành hình sản phẩm cũng như kích thước, tiết diện cấu kiện, tính chất và mật độ phân bố cốt thép trong sản phẩm để quyết định.

### 2.2.2. Cách xác định tính công tác

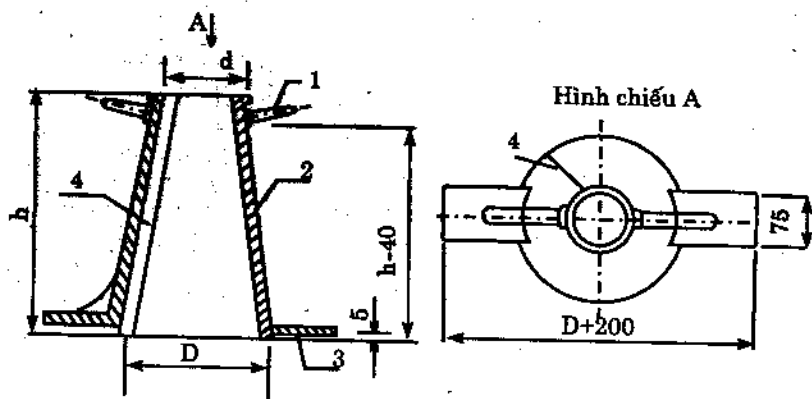
1) Chỉ tiêu tính công tác của hỗn hợp bê tông lưu động được xác định bằng độ sụt (tính bằng cm) của khối hỗn hợp bê tông hình nón cụt có kích thước tiêu chuẩn, thành hình theo phương pháp tiêu chuẩn (xem TCVN 3106 - 1993).

Khuôn hình nón cụt tiêu chuẩn (hình 2-2) có kích thước như sau :

Loại khuôn (hỗn hợp)	Kích thước (mm)		
	d	D	h
N <sub>1</sub>	100 ± 2	200 ± 2	300 ± 2
N <sub>2</sub>	150 ± 2	300 ± 2	450 ± 2



Khuôn  $N_1$  dùng cho hỗn hợp bê tông có cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu ( $D_{max}$ ) là 10, 20, 40mm ; khuôn  $N_2$  dùng khi  $D_{max}$  bằng 70 hoặc 100 mm.



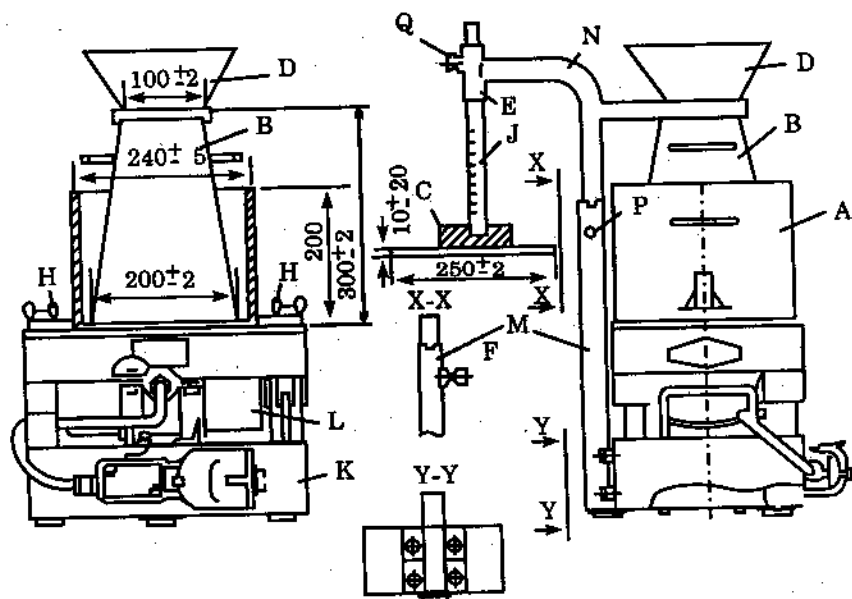
Hình 2-2. Khuôn hình nón cắt tiêu chuẩn

2) Chỉ tiêu tính công tác của hỗn hợp bê tông cứng được gọi là độ cứng, xác định bằng nhót kế kỹ thuật Vebe (hình 2-3). (Xem TCVN 3107 - 1993).

Nhót kế Vebe được làm bằng thép gồm một thùng hình trụ đáy kín A, bên trong đặt một khuôn hình nón cắt tạo hình hỗn hợp bê tông B và một phễu D để đổ hỗn hợp vào khuôn. Phía trên thùng có một đĩa mica tròn, phẳng C. Đĩa này có thể trượt tự do theo phương thẳng đứng nhờ thanh J trượt trong ống trượt E gắn vào tay đỡ N. Tay đỡ N quay tròn được quanh ống M bắt cố định với đế bàn rung K. Thanh trượt J có thể giữ cố định bằng vít hãm Q.

Nhót kế được gá chặt vào bàn rung và khi chưa có hỗn hợp bê tông phải đảm bảo có tần số rung  $2900 \pm 100$  lần/phút và biên độ rung  $0,5 \pm 0,01$ mm.

Độ cứng của hỗn hợp bê tông còn có thể xác định bằng phương pháp Skramtaev là thời gian tính bằng giây để khối hỗn hợp bê tông hình nón cắt tiêu chuẩn chảy dần bằng trong khuôn hình lập phương  $20 \times 20 \times 20$  cm dưới tác dụng của bàn chấn động. (Xem phụ lục của TCVN 3107 - 1993).



Hình 2-3. Nhót kế kỹ thuật Vebe.

## 2.3. CÁC NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA HỖN HỢP BÊ TÔNG

Tính chất của hỗn hợp bê tông chịu ảnh hưởng của các nhân tố sau :

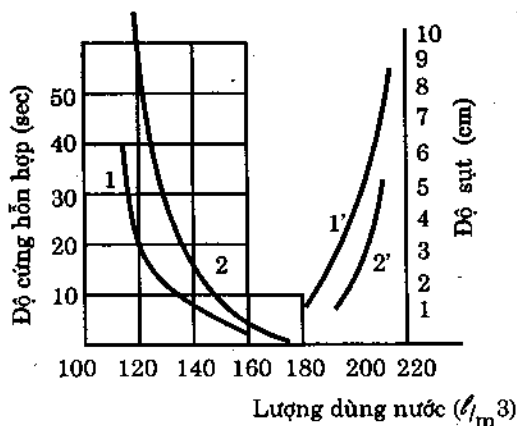
1. Hàm lượng nước ban đầu của hỗn hợp
2. Lượng dùng xi măng và tính chất hồ xi măng
3. Cấp phối hạt của hỗn hợp cốt liệu và tính chất cốt liệu
4. Chất phụ gia hoạt tính bề mặt
5. Tác dụng của gia công chấn động.

### 2.3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng nước ban đầu

Lượng nước nhào trộn có ảnh hưởng đến những đặc trưng lưu biến của hỗn hợp bê tông (hình 2-4).

Giả thiết lượng nước ban đầu trong hỗn hợp bê tông bé, nước chỉ đủ bao bọc mặt ngoài hạt xi măng và tạo nên màng nước hấp phụ. Màng nước này liên kết rất bền chắc với hạt xi

màng, có tính đàn hồi, tính chịu kéo, cường độ chống cắt và độ nhớt.



Hình 2-4

- 1 - hỗn hợp cứng ngay sau khi nhào trộn ;
- 2 - hỗn hợp cứng 1 giờ sau khi nhào trộn
- 1' - hỗn hợp lưu động ngay khi nhào trộn ;
- 2' - hỗn hợp lưu động 1 giờ sau khi nhào trộn.

Nếu lượng nước tăng lên, màng nước hấp phụ dày thêm và do sức căng bề mặt của nước (lực mao dẫn) nước sẽ dịch chuyển trong các đường mao quản làm cho hỗn hợp bê tông có tính dẻo.

Tiếp tục tăng lượng nước sẽ hình thành nước tự do phân bố vào các ống mao quản thông nhau, cũng như các hốc rỗng và có thể dịch chuyển dễ dàng trong các phần rỗng dưới tác dụng của trọng lực. Phần thừa của nước tự do trong hỗn hợp bê tông sẽ thâm nhập vào các khe nứt của những hạt rắn và làm dày thêm màng nước bọc quanh chúng. Lực hút phân tử sẽ giảm đáng kể, lực mao dẫn mất đi, độ nhớt của hồ xi măng cũng như của hỗn hợp bê tông giảm đi nhanh chóng. Đối với mỗi hỗn hợp bê tông tồn tại một giới hạn trên của lượng nước tự do mà với giới hạn đó, mối liên kết trong hỗn hợp không bị phá hoại, hỗn hợp không bị phân tầng, tách nước có những

tính chất của thể dẻo. Giới hạn đó được gọi là *khả năng giữ nước* của hỗn hợp bê tông. Nó phụ thuộc vào khả năng giữ nước của chất kết dính và các thành phần nghiền mịn khác của hỗn hợp và hàm lượng của chúng. Theo số liệu của I. N. Nakhoverđáp thì khả năng giữ nước của xi măng poóc-lăng không vượt quá 1,65 lượng nước tiêu chuẩn.

Khí lượng nước tự do vượt quá khả năng giữ nước của hỗn hợp sẽ xảy ra hiện tượng phân tầng và tách ra lượng nước thừa. Theo định luật Stok, vận tốc lắng xuống của hạt phụ thuộc vào kích thước hạt rắn và khối lượng riêng của chúng. Đầu tiên xảy ra hiện tượng lắng xuống thấy được bằng mắt thường của các hạt lớn của cốt liệu vì độ nhớt của vữa không đủ để giữ những hạt của cốt liệu lớn ở trạng thái lơ lửng và một thời gian ngắn tiếp đó là sự lắng xuống của những hạt cát và những hạt bé của cốt liệu lớn vì độ nhớt của hồ xi măng không ngăn được sự lắng xuống này. Cùng với sự lắng xuống của hạt cốt liệu, nước là một thành phần nhẹ nhất sẽ nổi lên trên, làm cho lớp trên sản phẩm bảo hòa nước, trở nên xốp, yếu.

Quá trình phân tầng và tách nước của hỗn hợp xảy ra trong một thời gian ngắn sẽ được thay thế bằng quá trình trầm lắng dài hơn và không nhìn thấy được. Đó là sự lắng xuống, dưới tác dụng của trọng lực của những hạt chất kết dính, những hạt phân tán của phụ gia nghiền mịn và bụi sét trong cát. Quá trình trầm lắng xảy ra trong những khoảng không gian thể tích bé giữa những hạt cốt liệu lớn và kéo dài cho đến khi lượng nước còn lại bé hơn khả năng giữ nước của hồ xi măng.

Trong quá trình trầm lắng, do sự xích gần lại của những hạt rắn, nước thoát ra có xu hướng dâng lên, chảy quanh hạt cốt liệu tạo nên một mạng lưới các đường mao quản thông nhau trong bê tông.

Dưới những hạt cốt liệu lớn và những thanh cốt thép, nước có thể được tập trung và giữ lại tạo nên những hốc nước, sau đó sẽ bốc hơi để lại những hốc khí làm giảm bề mặt tiếp xúc giữa đá xi măng với cốt liệu và cốt thép, làm giảm lực dính

kết giữa chúng. Những đường mao quản và hốc rỗng thông nhau tạo nên những đường "lọc" nước làm giảm tính chống thấm của bê tông. Tuy nhiên sự trầm lắng cũng tạo khả năng phân bố lại những hạt của chất kết dính, cải thiện sự tiếp xúc giữa chúng và đẩy ra ngoài một phần thừa của nước, giảm bề dày màng nước. Quá trình trầm lắng có thể điều chỉnh được, hạn chế sự tách nước bằng cách giảm lượng dùng nước ban đầu trong hỗn hợp mà không làm xấu đi tính công tác và khả năng tạo hình nhờ lựa chọn vật liệu thành phần làm giảm lượng cần nước của hỗn hợp.

### 2.3.2. Ảnh hưởng của loại, lượng dùng và tính chất của xi măng

Nếu trong hỗn hợp bê tông có một lượng hồ xi măng đủ để bao bọc các hạt cốt liệu và lấp đầy phần rỗng cốt liệu làm cho các hạt cốt liệu ít có cơ hội tiếp xúc nhau, lực ma sát khô sẽ giảm, tính lưu động của hỗn hợp sẽ tăng; nếu lượng hồ xi măng ít, lực ma sát khô tăng, hỗn hợp sẽ kém lưu động. Tuy nhiên không thể tăng lượng dùng xi măng lên nhiều quá vì giá thành bê tông sẽ đắt.

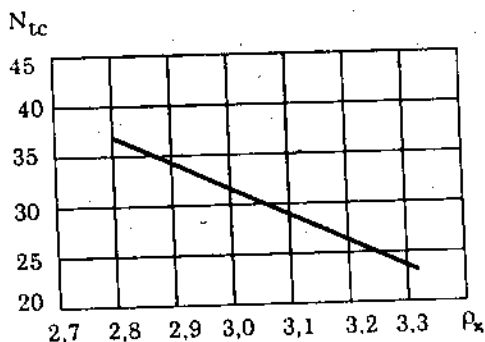
Mặt khác, với cùng một lượng nước nhào trộn, người ta thấy với lượng dùng xi măng thay đổi trong phạm vi từ  $250-400 \text{ kg/m}^3$  bê tông, tính công tác của bê tông không bị ảnh hưởng đáng kể và khi tăng lượng dùng xi măng quá  $400 \text{ kg/m}^3$  độ nhớt của hồ xi măng tăng, tính lưu động của hỗn hợp bê tông hạ thấp và khi đó muốn giữ cho tính lưu động không đổi phải tăng lượng dùng nước.

Tính lưu động của hỗn hợp bê tông cũng thay đổi phụ thuộc vào loại xi măng và các loại phụ gia vô cơ nghiền mịn trong xi măng. Ví dụ: so với xi măng poóc-lăng thì xi măng poóc-lăng pudolan và poóc-lăng xỉ quặng có độ nhớt của hồ xi măng lớn hơn nên để hỗn hợp bê tông có cùng một độ lưu động phải dùng nước nhiều hơn.

Chỉ tiêu tổng hợp thể hiện mức độ ảnh hưởng của xi măng đối với tính chất của hỗn hợp bê tông là lượng nước tiêu chuẩn

của xi măng. Khi xi măng có lượng nước tiêu chuẩn lớn thì với một lượng nước nhào trộn nhất định, độ nhớt của hồ xi măng sẽ tăng và độ lưu động của hỗn hợp bê tông sẽ kém.

Lượng nước tiêu chuẩn thay đổi phụ thuộc vào độ mịn và thành phần khoáng vật của xi măng (thể hiện qua khối lượng riêng  $\rho$  của xi măng).



Hình 2-5. Quan hệ giữa lượng nước tiêu chuẩn ( $N_{tc}$ ) và khối lượng riêng của xi măng ( $\rho_x$ ).

Giả thiết hạt xi măng có dạng hình cầu thể tích là :  $\frac{\pi}{6} \Delta^3$  và khối lượng mỗi hạt là :

$$m = \frac{\pi}{6} \Delta^3 \cdot \rho$$

Số hạt xi măng trong một đơn vị khối lượng :

$$N = \frac{1}{\frac{\pi}{6} \Delta^3 \rho} = \frac{6}{\pi \Delta^3 \cdot \rho}$$

Diện tích xung quanh của toàn bộ hạt xi măng trong 1 đơn vị khối lượng là :

$$S_{xq} = \pi \Delta^2 \cdot N = \frac{6}{\Delta \rho}$$

Như vậy khi  $\rho$  tăng, số hạt xi măng trong một đơn vị khối lượng giảm, tổng diện tích xung quanh giảm, lượng nước tiêu chuẩn sẽ giảm.

Khi độ mịn xi măng tăng, tức  $\Delta$  giảm, tổng diện tích xung quanh tăng, lượng nước tiêu chuẩn tăng và do đó với một lượng nước nhào trộn nhất định, độ nhớt của hồ xi măng và của hỗn hợp bê tông tăng, tính lưu động kém. Nhưng khi độ mịn xi măng tăng đến mức độ cao (ví dụ lọt qua sàng 10.000 lỗ/cm<sup>2</sup>) thì quá trình thủy hóa xi măng xảy ra nhanh và triệt để hơn, quá trình hóa keo tăng nhanh (lượng hạt keo lớn) làm độ nhớt hồ xi măng và hỗn hợp bê tông giảm, tăng tính lưu động, tuy nhiên để đạt tới độ mịn này năng lượng nghiền lớn, tốn kém.

### 2.3.3. Ảnh hưởng của hàm lượng và tính chất cốt liệu

Cốt liệu (nhỏ và lớn) chiếm một thể tích và khối lượng lớn trong hỗn hợp bê tông.

Cỡ hạt, cấp phối hạt, tính chất bề mặt hạt và những đặc trưng chất lượng khác của chúng có ảnh hưởng lớn đến tính chất của hỗn hợp bê tông.

Nếu thay đổi cỡ hạt và cấp phối hạt của hỗn hợp cốt liệu, tổng diện tích mặt ngoài của cốt liệu sẽ biến đổi trong một phạm vi đáng kể và nếu với một lượng nước nhào trộn không đổi, tính chất lưu động của hỗn hợp bê tông thay đổi rõ ràng. Hình dạng hạt, tính chất bề mặt hạt, tính hút nước của cốt liệu đều ảnh hưởng đến tính lưu động của hỗn hợp bê tông. Hỗn hợp bê tông từ cuội sỏi có hình dạng hạt tròn, bề mặt nhẵn, với cùng một lượng nước nhào trộn sẽ có tính lưu động lớn hơn hỗn hợp bê tông từ đá dăm có nhiều hạt dẹt, bề mặt nhám ráp, hoặc để đạt cùng mức độ lưu động có thể giảm lượng nước nhào trộn từ 5÷15%.

Hàm lượng cát trong hỗn hợp cốt liệu (mức ngậm cát) ảnh hưởng lớn đến tính chất hỗn hợp bê tông. Hỗn hợp bê tông có một hàm lượng cát tối ưu đảm bảo cho bê tông đạt được yêu cầu tính công tác, độ đặc chắc và cường độ với lượng dùng xi măng và nước bé nhất, hoặc với lượng dùng nước nhào trộn

không đối, hỗn hợp bê tông có hàm lượng cát tối ưu sẽ đạt tính lưu động tốt nhất.

Hàm lượng cát tối ưu thường được xác định qua con đường thực nghiệm và có thể tính toán sơ bộ trên cơ sở giả thiết rằng trong hỗn hợp bê tông phần rỗng của cốt liệu lớn và xung quanh các hạt cốt liệu lớn được lấp đầy và bao bọc bởi vữa xi măng cát, và hồ xi măng lại đóng vai trò bao bọc quanh hạt cát và lấp đầy phần rỗng giữa các hạt cát.

Giả thiết mỗi hạt cát đều có đường kính là  $d_c$  và giữa những hạt cát được giãn cách một lớp xi măng với chiều dày một hạt xi măng có đường kính  $\Delta$  (thường  $\Delta = 0,014$  mm). Ký hiệu lượng cát trong  $1m^3$  bê tông là  $C(kg)$  và thể tích của lượng cát này là  $\frac{C}{\rho_{vc}}$  ( $\rho_{vc}$  là khối lượng thể tích của cát), độ rỗng của

cát là  $r_c$  và thể tích rỗng của cát  $V_{r_c} = \frac{C}{\rho_{vc}} r_c$

Tỉ số tăng giữa thể tích một hạt cát được bao bọc bởi một lớp xi măng có chiều dày một hạt xi măng, so với thể tích hạt cát chưa bao bọc là :

$$\frac{\frac{\pi}{6}(d_c + \Delta)^3}{\frac{\pi}{6}d_c^3} = \left(\frac{d_c + \Delta}{d_c}\right)^3 = \left(1 + \frac{\Delta}{d_c}\right)^3$$

Vậy thể tích lượng xi măng cần bao bọc các hạt cát là :

$$V_{bx} = \frac{C}{\rho_{vc}} \left(1 + \frac{\Delta}{d_c}\right)^3 - \frac{C}{\rho_{vc}} = \frac{C}{\rho_{vc}} \cdot 3 \frac{\Delta}{d_c} = \frac{C}{\rho_{vc}} \alpha$$

Đặt  $\alpha = 3 \frac{\Delta}{d_c}$  và loại các vô cùng bé  $3 \left(\frac{\Delta}{d_c}\right)^2$  và  $\left(\frac{\Delta}{d_c}\right)^3$ .

Thể tích xi măng cần thiết để bao bọc xung quanh các hạt cát và lấp đầy phần rỗng của cát là :

$$V_x = V_{r_c} + V_{bx} = \frac{C}{\rho_{vc}} r_c + \frac{C}{\rho_{vc}} \cdot \alpha = \frac{C}{\rho_{vc}} (r_c + \alpha) \quad (1)$$



Thể tích vữa xi măng cát  $V_v$  trong một  $m^3$  hỗn hợp bê tông bằng thể tích xi măng cộng với thể tích cát không kể phần rỗng, do đó :

$$V_v = V_x + \frac{C}{\rho_{vc}}(1-r_c) = \frac{C}{\rho_{vc}}(r_c + \alpha) + \frac{C}{\rho_{vc}}(1-r_c) = \frac{C}{\rho_{vc}}(1+\alpha) \quad (2)$$

Tương tự như trên, nếu ký hiệu  $D$  là lượng dùng cốt liệu lớn cho  $1m^3$  bê tông, thể tích đồ đồng của cốt liệu này là

$\frac{D}{\rho_{vd}}$  ( $\rho_{vd}$  là khối lượng thể tích cốt liệu lớn), độ rỗng của cốt

liệu lớn là  $r_d$  và thể tích rỗng là  $\frac{D}{\rho_{vd}} r_d$ ; giả thiết giữa những

hạt cốt liệu lớn có đường kính  $d_d$  được giãn cách bởi một lớp vữa xi măng cát có chiều dày bằng hai hạt cát, ta cũng sẽ tính được lượng vữa xi măng cát để bao bọc các hạt cốt liệu lớn và lấp đầy thể tích rỗng của cốt liệu lớn là :

$$V_v = \frac{D}{\rho_{vd}} \left( \frac{d_d + 2d_c}{d_d} \right)^3 - \frac{D}{\rho_{vd}} + \frac{D}{\rho_{vd}} r_d$$

Khai triển công thức tính trên, bỏ các vô cùng bé và đặt :

$$\beta = 6 \frac{d_c}{d_d}, \quad \text{ta có} \quad V_v = \frac{D}{\rho_{vd}} (r_d + \beta) \quad (3)$$

So sánh hai hệ thức (2) và (3) ta có :

$$\frac{C}{\rho_{vc}} (1+\alpha) = \frac{D}{\rho_{vd}} (r_d + \beta), \quad \text{từ đó có thể tính}$$

$$D = \frac{C(1+\alpha) \frac{\rho_{vd}}{\rho_{vc}}}{r_d + \beta} \quad (4)$$

Gọi lượng dùng xi măng cho  $1m^3$  bê tông là  $X$ , thể tích của nó là  $\frac{X}{\rho_x}$  ( $\rho_x$  là khối lượng riêng của xi măng) và  $N$  là lượng nước cho  $1m^3$  bê tông, ta có :

$$V_X = \frac{X}{\rho_x} + N = \frac{C}{\rho_{vc}} (r_c + \alpha),$$

$$\text{từ đó} \quad C = \rho_{vc} \frac{\frac{X}{\rho_x} + N}{r_c + \alpha} \quad (5)$$

Có thể dựa vào biểu thức (4) và (5) để tính toán cấp phối hỗn hợp bê tông.  $\alpha$  và  $\beta$  thay đổi phụ thuộc vào phương pháp thành hình. Nếu thành hình bằng chấn động gia áp,  $\alpha$  và  $\beta$  có thể có giá trị gần với số không. Đối với thao tác thủ công chủ yếu dựa vào mức độ lưu động của hỗn hợp bê tông để chọn  $\alpha$  và  $\beta$ ; có thể lấy các giá trị thực nghiệm sau:

$$\frac{N}{X} = 0,5 \quad \rightarrow \alpha = 6 \frac{\Delta}{d_c}; \quad \beta = 9 \frac{d_c}{d_d}$$

$$\frac{N}{X} = 0,6 \div 0,7 \rightarrow \alpha = 3 \frac{\Delta}{d_c}; \quad \beta = 6 \frac{d_c}{d_d}$$

$$\frac{N}{X} = 0,7 \quad \rightarrow \alpha = 2 \frac{\Delta}{d_c}; \quad \beta = 4 \frac{d_c}{d_d}$$

Như vậy hỗn hợp bê tông có độ lưu động càng lớn giá trị  $\alpha$  và  $\beta$  càng bé.

### 2.3.4. Ảnh hưởng của các chất phụ gia hoạt tính bề mặt

Các chất phụ gia hoạt tính bề mặt thường là những nhóm riêng rẽ của các chất hữu cơ, do có hoạt tính bề mặt cao, được hấp phụ dưới dạng màng mỏng trên bề mặt hạt chất kết dính và các hạt mịn khác gây tác dụng thấm ướt bề mặt các hạt này. Vì vậy khi cho phụ gia hoạt tính bề mặt vào hỗn hợp bê tông và vữa sẽ cải thiện rõ rệt tính công tác của chúng, cho phép giảm lượng dùng nước nhào trộn, hạ thấp tỷ lệ  $N/X$ , nâng cao cường độ bê tông - hoặc có thể giảm lượng dùng xi măng mà không làm giảm cường độ thiết kế của bê tông.

Sử dụng phụ gia hoạt tính bề mặt với liều lượng bé ( $0,05 \div 0,2\%$  so với lượng dùng xi măng) cho phép giảm  $10 \div 12\%$  lượng dùng nước, và có thể giảm tương ứng  $7 \div 10\%$  lượng dùng xi măng trong bê tông và vữa.

Mặt khác các chất phụ gia hoạt tính bề mặt còn có ảnh hưởng tích cực đến sự hình thành cấu trúc đá xi măng và tạo khả năng nâng cao tính chống thấm, tính bền vững và tính chống xâm thực của bê tông.

Theo hiệu quả tác dụng, có thể chia phụ gia hoạt tính bề mặt thành 3 nhóm : Ưa nước, ghét nước và tạo vi bọt.

**1) Chất phụ gia ưa nước :** Có tác dụng thấm ướt tốt các hạt xi măng và các hạt mịn khác, ngăn cản sự dính kết của chúng sau khi đã nhào trộn với nước một khoảng thời gian nhất định, làm chậm sự keo tụ các sản phẩm thủy hóa mới tạo thành đồng thời giải phóng một lượng nước. Nước này được giữ lại trong kết cấu keo tụ, nhờ đó hỗn hợp bê tông đạt được yêu cầu tính công tác với lượng nước nhào trộn ít hơn so với hỗn hợp không dùng phụ gia.

Các chất phụ gia hoạt tính bề mặt ưa nước được dùng phổ biến nhất là các hợp chất lignhin sulphat ví dụ loại muối canxi của axit lignosulphuaric có công thức cấu tạo  $(RSO_3)_2Ca$ , hoặc bã rượu sulphit SSB chế tạo từ nước bã giấy theo phương pháp sulphit hóa.

Ở Việt Nam, chất phụ gia hoạt tính được dùng phổ biến là LHD và KDT<sub>2</sub> sản xuất trong nước :

LHD chế tạo bằng cách tách lignhin từ nước thải bã giấy (bằng andesulphure), sau đó kiềm hóa lignhin bằng dung dịch NaOH để chuyển hóa lignhin thành chất tan trong nước, rồi cô đặc ở nhiệt độ  $80+100^{\circ}C$  tạo nên sản phẩm dẻo màu đen hòa tan được trong nước.

KDT<sub>2</sub> chế tạo bằng cách khử cấu trúc lignhin trong dung dịch kiềm đen (thải phẩm của nhà máy giấy) theo phương pháp oxy hóa : Khuấy liên tục với tốc độ  $160+200$  vòng/phút trong khoảng 20 giờ ở nhiệt độ  $90+100^{\circ}C$ , sau đó đem cô đặc dung dịch lignhin kiềm này làm biến đổi cấu trúc, tăng hoạt tính bề mặt và hiệu quả hóa dẻo của hỗn hợp bê tông.

**2) Phụ gia ghét nước :** đó là các axit béo và muối của chúng, có công thức cấu tạo  $C_nH_{2n-1}COOH$  ( $n = 8 \div 13$ ),

nhóm COOH phân cực, gốc  $C_nH_{2n-1}$  không phân cực. Sản phẩm này thu được trong công nghiệp, làm sạch dầu mỡ bằng NaOH hoặc bằng cách oxy hóa paraffin.

**3) Phụ gia tạo bọt gồm :** các loại keo nhựa thông, keo da trâu... chất phụ gia hoạt tính bề mặt này hạ thấp sức căng bề mặt của màng nước tạo điều kiện hút không khí vào trong hỗn hợp khí nhào trộn và tạo nên những bọt khí hình cầu nhỏ li ti phân bố đều trên bề mặt hạt xi măng và hạt cốt liệu, sẽ đóng vai trò bôi trơn, làm tăng tính lưu động, tính dẻo và lực dính kết của hỗn hợp. Việc sử dụng chất phụ gia tạo bọt này đặc biệt có lợi đối với các loại bê tông nghèo xi măng, trong đó lượng xi măng thiếu được "bù đắp" bằng một lượng lớn bọt khí không thông nhau. Thể tích bọt khí này có thể điều chỉnh dễ dàng nhờ chọn loại phụ gia, lượng dùng và mức độ, thời gian nhào trộn.

Tất cả phụ gia hoạt tính bề mặt đều là những hợp chất hữu cơ nên làm chậm quá trình thủy hóa của xi măng và do đó làm giảm phần nào sự phát triển cường độ ban đầu của bê tông. Để tăng nhanh quá trình rắn chắc có thể sử dụng phụ gia hoạt tính bề mặt phối hợp với phụ gia rắn nhanh dưới dạng các chất điện phân như :  $CaCl_2$ ,  $CaSO_4$ ,  $NaCl$ .

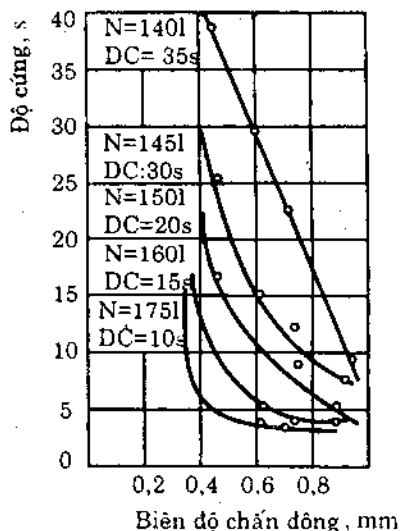
### 2.3.5. Ảnh hưởng của gia công chấn động

Gia công chấn động là một phương pháp rất có hiệu quả để nâng cao tính lưu động của hỗn hợp bê tông. Nó làm cho hỗn hợp bê tông cứng hoặc ít lưu động trở nên lưu động, chảy (hình 2-6). Thực chất của gia công chấn động là ở chỗ do tác dụng của dao động kích thích (bàn chấn động) truyền cho các phần tử của hỗn hợp những xung lực bé nhưng lặp lại thường xuyên và có chu kỳ. Dưới tác dụng của xung lực đó, các phần tử của hỗn hợp thực hiện dao động cưỡng bức với biên độ dao động rất bé. Vì các phần tử trong hỗn hợp có hình dạng, kích thước, khối lượng và tính chất mặt ngoài khác nhau nên vận tốc dao động khác nhau tạo nên gradien vận tốc biến dạng cắt của các phần tử gần nhau, làm giảm lực nội ma sát giữa chúng,

dẫn đến sự phá hoại kết cấu, độ nhớt kết cấu giảm đáng kể, hỗn hợp chảy dẻo có tính lưu động cao gần như thể lỏng. Hiện tượng đó là sự phá hoại xúc biến.

Mặt khác, trong quá trình chấn động dưới tác dụng xung lực của năng lượng kích thích, trong nội bộ hỗn hợp xuất hiện nội ứng suất ngược chiều với tác dụng của trọng lực và với một cường độ chấn động nhất định, có thể vượt quá giá trị của trọng lực làm cho các phân tử của hỗn hợp ở một thời đoạn nào đó của mỗi chu kỳ chấn động tách rời nhau ra, phá

hoại mối liên kết nội bộ và giảm nhỏ lực ma sát nhớt. Ở thời đoạn cuối của mỗi chu kỳ chấn động, các phân tử hỗn hợp thực hiện những chuyển động ngược chiều nhau (xích gần nhau lại), mối liên kết đã bị phá hoại được phục hồi. Nhờ đó, trong quá trình gia công chấn động, các phân tử hỗn hợp được sắp xếp lại chặt chẽ hơn và trên thực tế hỗn hợp được đầm chặt.



Hình 2-6. Ảnh hưởng lượng dùng nước trong hỗn hợp và chế độ gia công chấn động đối với độ cứng.

### Chương 3

## QUÁ TRÌNH RẮN CHẮC CỦA XI MĂNG VÀ SỰ HÌNH THÀNH CẤU TRÚC ĐÁ XI MĂNG

Tính chất của chất kết dính trong hỗn hợp bê tông, những đặc tính rắn chắc và quá trình hình thành cấu trúc đá xi măng có ảnh hưởng quyết định đến những đặc trưng cơ lý, biến dạng và tính chất kỹ thuật của bê tông. Do đó việc nghiên cứu quá trình rắn chắc của bê tông về cơ bản có thể giới hạn trong việc nghiên cứu sự rắn chắc và hình thành cấu trúc đá xi măng.

Cơ sở của sự rắn chắc các chất kết dính vô cơ (trừ vôi thủy) là sự thủy hóa các thành phần khoáng của chất kết dính tạo nên những sản phẩm thủy hóa dưới dạng những hạt mịn có kích thước gần với thể keo. Song song với quá trình thủy hóa là quá trình hình thành cấu trúc đá xi măng.

Ảnh hưởng đáng kể đến quá trình thủy hóa và sự hình thành cấu trúc đá xi măng là lượng nước ban đầu trong hỗn hợp và dạng liên kết của nước với pha rắn, trong đó có các chất mới tạo thành khi thủy hóa.

### 3.1. CÁC DẠNG LIÊN KẾT CỦA NƯỚC

*Nước trong hỗn hợp bê tông liên kết với thành phần pha rắn dưới các dạng sau.*

#### 3.1.1. Liên kết hóa học

Đây là dạng liên kết rất bền vững. Nước liên kết dạng này gọi là nước kết tinh (hay nước cấu tạo). Nó chỉ mất đi khi đun

nóng trên  $550^{\circ}\text{C}$ . Trong quá trình thủy hóa và thủy phân, nó liên kết với các thành phần khoáng của chất kết dính dưới dạng bền vững, tạo nên những hydrat và tham gia vào mạng lưới kết tinh của sản phẩm thủy hóa.

### 3.1.2. Liên kết hóa lý

Khá bền vững, nước liên kết dạng này gọi là nước hấp phụ. Nước này hấp phụ trên bề mặt hạt keo của chất mới tạo thành và những hạt phân tán khác của hỗn hợp. Cường độ mỗi liên kết này được bảo đảm nhờ lực hút phân tử giữa nước và chất rắn (lực Vandecvan) nên phụ thuộc vào chiều dày màng nước hấp phụ. Với chiều dày khoảng 2÷3 lớp phân tử, mỗi liên kết bền vững nhất và có tính chất gần với thể rắn. Nó hóa thành nước đá, ở  $t^{\circ} = (-40^{\circ}\text{C})$  đến  $(-70^{\circ}\text{C})$ , chỉ có thể bốc hơi khi đốt nóng ở  $t^{\circ} = 105\div 110^{\circ}\text{C}$ . Nước hấp phụ ở các phần rỗng giữa các gen xi măng, có thể bốc hơi một phần do sự sấy khô tự nhiên dài ngày gây ra sự co ngót của đá xi măng và bê tông.

### 3.1.3. Liên kết cơ lý

Liên kết do lực mao dẫn. Khác với nước hấp phụ (được phân bố trên bề mặt những hạt rất mịn, phân tán của hồ xi măng và đá xi măng rắn chắc) ; nước mao dẫn được phân bố giữa các gen xi măng, các hạt xi măng không hoặc chưa phản ứng với nước và các hạt phân tán khác trong hỗn hợp. Lực mao dẫn sinh ra do sức căng bề mặt của nước nằm trong các ống mao quản, lực mao dẫn càng lớn khi đường kính ống mao quản càng bé. Nó chỉ xuất hiện và tồn tại khi các lỗ rỗng và mao quản không chứa đầy nước và có bề mặt phân chia nước và không khí. Mức độ liên kết của nước bằng lực mao dẫn yếu hơn rất nhiều so với lực liên kết hóa lý và được xem là "bán liên kết". Nước mao dẫn có thể thoát ra khỏi bê tông qua bốc hơi khi bị đốt nóng và ngay cả ở nhiệt độ thường khi áp suất không khí của môi trường xung quanh hạ thấp. Ngược lại trong những ống mao quản, hơi nước ngưng tụ lại khi áp lực hơi nước nâng cao.

### 3.1.4. Nước không liên kết (tự do)

Nằm trong các lỗ rỗng và mao quản có đường kính  $> 20+40$  micrông, nước này ở trạng thái tự do và có thể dịch chuyển dưới tác dụng của trọng lực. Nó tham gia vào các quá trình thủy hóa lâu dài của xi măng và làm chậm sự rắn chắc các gen xi măng.

## 3.2. SỰ RẮN CHẮC CỦA XI MĂNG POÓCLĂNG

Sự rắn chắc của xi măng poóclăng, một chất kết dính đa khoáng là một quá trình hóa lý phức tạp kèm theo sự biến đổi liên tục và sự hình thành cấu trúc đá xi măng. Mặc dù đã đạt được những thành tựu đáng kể trong nghiên cứu các chất kết dính vô cơ nhưng cho đến nay vẫn chưa có một lý thuyết chặt chẽ nào được thừa nhận rộng rãi về sự rắn chắc của xi măng poóclăng.

Theo A. A. Baicốp, quá trình rắn chắc của xi măng có thể chia làm 3 giai đoạn :

### 3.2.1. Giai đoạn hòa tan

Khi nhào trộn xi măng với nước, giữa chúng sẽ xảy ra các tác dụng hóa học và vật lý. Đầu tiên cùng với sự phân bố nước trên bề mặt hạt xi măng, quá trình hòa tan các khoáng và sự thủy hóa bắt đầu, trước hết các khoáng hoạt tính cao nhất thủy hóa như  $C_3A$ ,  $C_3S$  và do độ hòa tan của chúng bé, sự bão hòa pha lỏng bởi các sản phẩm thủy hóa bắt đầu.

Giai đoạn đầu tiên tương đối ngắn của quá trình rắn chắc là giai đoạn hòa tan đã kết thúc.

### 3.2.2. Giai đoạn hóa keo

Thời kỳ này tương đối dài và là thời kỳ tiến triển mạnh mẽ (đặc biệt ở nhiệt độ cao). Quá trình cơ bản của thủy hóa các khoáng clanhke là sự hóa hợp trực tiếp của nước và pha rắn không có sự hòa tan trung gian tạo nên những hợp chất hydrat mới có tính ổn định nhiệt lực cao hơn khoáng tạo nên nó và do tác dụng tương hỗ với nước, các sản phẩm thủy hóa



có độ mịn khá lớn và gắn với dạng keo, A. A. Baicốp gọi giai đoạn này là giai đoạn hóa keo. Các sản phẩm thủy hóa (và một phần thủy phân) cơ bản của các khoáng xi măng poóclăng là các hydro silicat canxi với số lượng chiếm từ 75÷80% khối lượng clanhke. Các chất này trong giai đoạn đầu có độ phân tán cao gắn với thể keo (trong phạm vi từ 5÷20, có khi 100÷200 micrông) dần dần chuyển hóa thành gen và cũng tạo mầm kết tinh.

Ngoài các hydro silicat canxi, do kết quả thủy phân các khoáng clanhke, trong đá xi măng rắn chắc còn tạo nên nhóm thứ 2 các hydrat mới tạo thành có cấu trúc kết tinh thô hơn, khác với những tinh thể gen, đó là hydrat của ôxít canxi  $[Ca(OH)_2]$  tạo ra khi thủy phân  $C_3S$  hoặc hydro aluminat canxi  $3CaO.Al_2O_3.6H_2O$  (sản phẩm thủy hóa của  $C_3A$ ), hydro ferit canxi  $3CaO.Fe_2O_3.H_2O$  (sản phẩm thủy phân của  $C_4AF$ ) cũng như hydro sunfua aluminat canxi ( $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$ ) tạo nên do thêm chất phụ gia thạch cao vào xi măng khi nghiền clanhke xi măng.

Trong giai đoạn này một phần nước tự do chuyển sang dạng nước liên kết hóa học, làm giảm thể tích tuyệt đối của sản phẩm mới tạo thành so với thể tích tuyệt đối của các thành phần ban đầu của xi măng, nhưng do thể tích bên ngoài của đá xi măng không thay đổi đáng kể dẫn đến sự hình thành lỗ rỗng kín nâng cao độ đặc chắc của pha rắn. Tổng thể tích các lỗ rỗng này tỉ lệ với lượng chất kết dính được thủy hóa và có thể đạt đến 6÷7 lít cho 100 kg xi măng poóclăng trong hỗn hợp bê tông.

### 3.2.3. Giai đoạn ninh kết, rắn chắc

Cùng với sự phát triển của quá trình thủy hóa và sự tăng lên của sản phẩm thủy hóa, lượng nước tự do trong hệ không ngừng giảm xuống. Trừ một lượng nước mất đi do bốc hơi hoặc tách ra trong quá trình trầm lắng, nước còn lại được phân bố lại và trong hệ xuất hiện những dạng liên kết phức tạp của nước với pha rắn. Do sự giảm lượng nước tự do dự trữ trong hệ, hồ xi măng (hỗn hợp bê tông) dần dần sệt lại cho đến khi mất hoàn toàn tính lưu động. Thời kỳ này gọi là thời kỳ ninh kết.

Thời kỳ ninh kết là thời kỳ quan trọng của quá trình hình thành cấu trúc đá xi măng. Kết cấu keo tụ được tạo thành trong thời gian này có đặc tính là có một cường độ dẻo nào đó khác với cường độ cơ học ở chỗ có khả năng phục hồi xúc biến (hóa lỏng và phục hồi kết cấu). Trong thời kỳ ninh kết, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của quá trình thủy hóa kèm theo sự tỏa nhiệt mạnh mẽ nhất.

Theo Kind, lượng tỏa nhiệt khi thủy hóa của các khoáng xi măng thay đổi theo thời gian (bảng 3.1).

**Bảng 3.1**

Tên các khoáng chủ yếu	Lượng tỏa nhiệt khi thủy hóa theo thời gian (Cal/g)			
	3 ngày	7 ngày	28 ngày	3 tháng
$C_3S$	96,6	100,6	116,2	124,3
$C_2S$	15,1	24,8	39,6	43,9
$C_3A$	141,0	157,6	208,6	221,7
$C_4AF$	42,3	59,6	90,3	99,4

Sau đó là thời kỳ rắn chắc tương đối dài với sự phát triển không ngừng cường độ cơ học do cấu trúc đá xi măng không ngừng được lèn chặt và quá trình kết tinh phát triển. Tác dụng lèn chặt này sinh ra do sự phát triển của quá trình thủy hóa và sự tăng thể tích pha rắn (thể tích các hydrat luôn luôn lớn hơn thể tích rắn ban đầu trong khi thể tích ngoài của hệ không tăng, thậm chí có khi giảm). Sự phát triển các tinh thể do hiện tượng tái kết tinh làm thay đổi trạng thái tiếp xúc trong nội bộ đá xi măng, từ chỗ tiếp xúc giữa các màng nước biến thành tiếp xúc tinh thể. Ở giai đoạn này, kết cấu keo tụ của hồ xi măng rắn chắc được thay thế bằng kết cấu kết tinh của đá xi măng.

Song song với những biến đổi về kết cấu trên, thể tích rỗng trong hồ xi măng (cũng như hỗn hợp bê tông) cũng biến đổi. Ban đầu, khi mới nhào trộn xi măng với nước, thể tích rỗng trong hồ xi măng tương đối lớn, các phần rỗng là các ống

mao quản lớn thông nhau, chứa một lượng đáng kể nước nhào trộn. Trong quá trình thủy hóa, số lượng hợp chất thủy hóa mới tạo thành ngày càng nhiều, thể tích pha rắn lấp dần làm tiết diện của các mao quản bé lại và thể tích rỗng giảm đi.

Nếu duy trì trong hệ được một lượng nước đầy đủ và bảo đảm độ ẩm môi trường thì quá trình thủy hóa và rắn chắc của xi măng poóc-lăng sẽ tiến triển trong 1 thời gian dài, nhưng tốc độ thủy hóa sẽ yếu dần.

Tuy nhiên thường xảy ra hiện tượng thủy hóa không hoàn toàn. Khi sản phẩm thủy hóa tạo nên một lớp vỏ đặc chắc bọc quanh hạt xi măng, ngăn cản sự khuếch tán của nước vào lớp trong chưa thủy hóa của hạt xi măng thì quá trình thủy hóa thực tế bị ngưng lại mặc dầu trong những mao quản của đá xi măng vẫn còn chứa đủ lượng nước để tiếp tục thủy hóa. Thường lượng xi măng không phản ứng với nước chiếm khoảng 30÷40% lượng xi măng trong bê tông. Khi điều kiện rắn chắc không thuận lợi (về độ ẩm) và khi xi măng không đủ mịn thì lượng xi măng không thủy hóa có thể đến 50%. Vì vậy để quá trình thủy hóa tiến hành triệt để và cường độ bê tông phát triển tốt, điều kiện quan trọng là phải đảm bảo độ ẩm đầy đủ của môi trường.

Theo nghiên cứu của Dzung và Butt, chiều sâu lớp thủy hóa các khoáng xi măng thay đổi theo thời gian (bảng 3.2).

**Bảng 3.2**

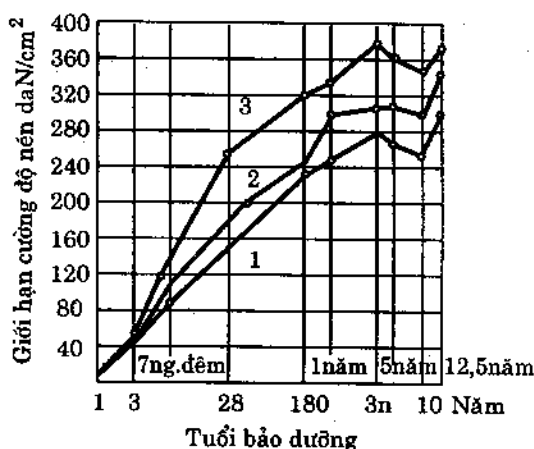
Tên các khoáng chủ yếu	Chiều sâu lớp thủy hóa theo thời gian ( $\mu$ : micrông)				
	3 ngày	7 ngày	28 ngày	3 tháng	6 tháng
$C_3S$	3,5	4,7	7,9	11,5	15,6
$C_2S$	0,6	0,9	1,0	1,6	2,7
$C_3A$	10,1	10,4	11,2	13,5	14,5
$C_4AF$	7,7	8,0	8,4	12,2	13,2
Hạt xi măng có cỡ hạt 2-100 $\mu$ ở 25°C	3,85	4,64	6,56	-	11,64

Nhiệt độ có ảnh hưởng rõ rệt đến sự phát triển cường độ bê tông. Nếu mẫu bê tông bảo dưỡng ở nhiệt độ 15°C (độ ẩm 95÷100%), sau 28 ngày đạt cường độ thiết kế thì ở các nhiệt độ cao hơn, thời gian này được rút ngắn đáng kể (bảng 3.3).

**Bảng 3.3**

Loại xi măng dùng làm bê tông	Thời gian đạt cường độ thiết kế (ngày đêm) ở các nhiệt độ khác nhau				
	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Xi măng PC 300	28	22	16	14	12
Xi măng PC 400	28	20	14	12	10
Xi măng PC 500	28	16	10	8	6

Sự phát triển của cường độ bê tông thay đổi đáng kể trong các môi trường rắn chắc khác nhau (hình 3-1).



**Hình 3-1.** Sự phát triển của cường độ bê tông xi măng poóclăng ở các điều kiện rắn chắc khác nhau theo thời gian.

1 - trong không khí ; 2 - trong môi trường ẩm ;

3 - trong môi trường nước.

Ở điều kiện nhiệt độ và độ ẩm tiêu chuẩn sự phát triển cường độ đá xi măng và bê tông xi măng poóc-lăng có độ rắn chắc trung bình tỉ lệ đường thẳng với lôgarit của tuổi dưỡng hộ tính theo ngày :

$$R_{28} = R_n \frac{\lg 28}{\lg n}$$

trong đó :  $R_{28}$  và  $R_n$  là cường độ của đá xi măng hoặc bê tông ở tuổi 28 ngày và  $n$  ngày (với  $n \geq 3$  ngày).

### 3.3. CẤU TRÚC ĐÁ XI MĂNG

Đá xi măng là một thể rắn phức tạp về thành phần, không đồng nhất về mặt cấu tạo, chứa một số lượng lớn lỗ rỗng li ti và những mao quản, trong đó tùy theo tuổi rắn chắc và điều kiện ẩm mà chứa đầy không khí, nước hoặc hơi nước. Sự tồn tại đồng thời ba thể rắn, lỏng, khí trong đá xi măng cho phép xem nó là hệ ba pha với bề mặt phân chia pha rất tinh tế, vì thế đá xi măng có tính "nhạy cảm" với sự biến đổi trạng thái ẩm của môi trường, liên quan đến tính biến dạng về thể tích của đá xi măng và bê tông (sự co ngót, nở...) và có tính bền vững tương đối yếu dưới tác dụng xâm thực của môi trường nước và khí. Trong đá xi măng có ba thành phần chủ yếu.

#### 3.3.1. Các hydrat mới tạo thành dưới dạng gen và tinh thể

- Thành phần cấu trúc dạng gen được tạo nên từ những hạt hydrô silicat canxi có độ phân tán cao (độ mịn từ  $50 + 200$  antrông,  $1A^\circ = 10^{-8}$  cm) quyết định quá trình phát triển cường độ chậm chạp và lâu dài của đá xi măng, có quan hệ chặt chẽ với nước hấp phụ và tính biến dạng dẻo.

- Thành phần cấu trúc tinh thể của đá xi măng được tạo nên từ mầm kết tinh, quyết định sự phát triển nhanh của cường độ và tính chất đàn hồi. Mầm kết tinh đóng vai trò bộ xương trong đá xi măng và được phân bố trong môi trường các thành

phần cấu trúc dạng gen. Tỷ lệ về số lượng giữa hai thành phần cấu trúc dạng gen và tinh thể liên quan chặt chẽ với thành phần khoáng vật ban đầu của xi măng và quyết định những tính chất cơ lý và biến dạng của đá xi măng.

### **3.3.2. Cốt liệu và vi cốt liệu**

Gồm phần còn lại của hạt chất kết dính không phản ứng với nước và hạt phụ gia vô cơ nghiền mịn cho vào khi nghiền clanhke cũng như khi chuẩn bị hỗn hợp bê tông.

Thành phần này đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành cấu trúc đá xi măng, chúng có kích thước khác nhau và chiếm một tỷ lệ lớn về số lượng và tạo cho đá xi măng cấu trúc tương tự bê tông nên V. N. Dzong gọi cấu trúc đá xi măng là "vi bê tông" (microbeton).

### **3.3.3. Các loại lỗ rỗng lớn bé và mao quản**

Thể tích chúng chiếm từ  $25 \div 40\%$  thể tích chung của đá xi măng. Thể tích và tính chất của phần rỗng này ảnh hưởng lớn đến tính chất của đá xi măng. Căn cứ vào cấu tạo, kích thước và nguồn gốc hình thành, có thể chia lỗ rỗng trong đá xi măng thành ba loại sau.

1) **Lỗ rỗng dạng gen** : là loại lỗ rỗng bé nhất trong đá xi măng (đường kính từ  $10 \div 50$ , có khi đến  $100\text{Å}^0$ ), được hình thành do nước hấp phụ (nằm trong lớp vỏ các chất thủy hóa dạng gen) bốc hơi sinh ra.

2) **Lỗ rỗng thu nhỏ và kín** : Kích thước từ  $100 \div 1000\text{Å}^0$ . Về kích thước nó chiếm vị trí trung gian giữa lỗ rỗng gen và lỗ rỗng mao quản.

3) **Lỗ rỗng mao quản** : Tạo nên phần thể tích rỗng chủ yếu trong đá xi măng, nó có phạm vi kích thước rộng. Sự xuất hiện của chúng liên quan đến lượng dùng nước ban đầu trong hỗn hợp. Lượng nước này thường nhiều gấp  $1,5 \div 2$  lượng nước

liên kết hóa học cần cho quá trình rắn chắc lâu dài của đá xi măng. Nước nhào trộn phân bố trên bề mặt hạt xi măng và chiếm đầy khoảng không gian giữa chúng và khi bốc hơi để lại trong cấu trúc đá xi măng một hệ thống lỗ rỗng thông nhau tạo nên loại lỗ rỗng mao quản. Loại lỗ rỗng này ảnh hưởng không tốt đến tính chất bê tông, làm giảm độ đặc chắc, tính chống thấm và cường độ. Có thể làm giảm thể tích rỗng loại này bằng cách giảm lượng dùng nước ban đầu trong hỗn hợp bê tông.

### **3.4. ĐẨY NHANH SỰ RẮN CHẮC CỦA BÊ TÔNG Ở NHIỆT ĐỘ THƯỜNG**

Có thể đẩy nhanh sự rắn chắc và sự phát triển cường độ ban đầu của đá xi măng hoặc bê tông bằng 3 biện pháp chính.

#### **3.4.1. Nâng cao hoạt tính của chất kết dính**

Bằng cách tăng thành phần khoáng có hoạt tính cao cũng như tăng độ nghiền mịn của chất kết dính. Độ mịn tốt nhất tương ứng với tổng tỉ diện từ  $4000 \div 4500 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Các loại xi măng poóc-lăng thường dùng có tổng tỉ diện trong phạm vi từ  $3000 \div 3800 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

#### **3.4.2. Giảm nhỏ lượng dùng nước ban đầu trong hỗn hợp**

Với biện pháp này sẽ làm giảm bề dày màng nước bao bọc các hạt xi măng, tạo điều kiện cho chúng xích gần lại nhau trong quá trình đầm chặt khi thành hình sản phẩm, nhờ đó sẽ thúc đẩy sự bão hòa của sản phẩm thủy hóa trong dung dịch và quá trình kết tinh các hydrat mới tạo thành sẽ được tiến hành mạnh mẽ, đẩy nhanh tốc độ rắn chắc của đá xi măng và bê tông. Kết quả nghiên cứu sau đây cho ta thấy việc giảm lượng nước ban đầu mà không đổi lượng dùng xi măng, không những làm tăng cường độ cuối cùng của bê tông mà còn thúc đẩy sự rắn chắc cũng như sự phát triển cường độ ban đầu của nó.

Bảng 3.4

Lượng nước l/m <sup>3</sup>	Lượng dùng xi măng mác 400 (kg/m <sup>3</sup> )	Tỷ lệ N/X	Độ cứng hỗn hợp bê tông (séc)	Cường độ ở các tuổi daN/cm <sup>2</sup>		
				1 ngày	2 ngày	28 ngày
162	295	0,55	5	79	188	361
118	296	0,40	15	186	278	586
102	292	0,35	30	231	306	643

### 3.4.3. Sử dụng phụ gia rắn nhanh

Thường dùng các clorua (canxi, natri, amôniac, sắt, nhôm), các loại sunfat (canxi, natri), các kiềm và muối kiềm dễ thủy phân của các kim loại kiềm như : soda, phèn chua, kali..., thủy tinh lỏng và mắm kết tinh dưới dạng các sản phẩm nghiền mịn của xi măng đã thủy hóa.

Chất phụ gia rắn nhanh thường dùng nhất và đã được nghiên cứu kỹ là clorua canxi  $\text{CaCl}_2$ . Dùng  $\text{CaCl}_2$  làm cho cường độ bê tông ở tuổi 1 ÷ 2 ngày có thể tăng 50 ÷ 100% so với bê tông không dùng phụ gia. Sau đó hiệu quả đẩy nhanh rắn chắc giảm xuống không ngừng. Đến 28 ngày, cường độ bê tông có phụ gia  $\text{CaCl}_2$  sẽ giảm 10 ÷ 15% so với cường độ bê tông không phụ gia. Hiệu quả thúc đẩy sự rắn nhanh này của  $\text{CaCl}_2$  cũng mạnh mẽ đối với các loại xi măng chậm rắn ở nhiệt độ thường, ví dụ : xi măng poóc-lăng xi quặng, xi măng poóc-lăng pudolan. Xi măng hoạt tính càng cao thì hiệu quả thúc đẩy rắn chắc càng ít, với xi măng rắn nhanh thì hiệu quả này không lớn.

Tác dụng của chất phụ gia  $\text{CaCl}_2$  được nâng cao với hỗn hợp bê tông tính cứng, (N/X bé) và ở nhiệt độ rắn chắc thấp (0 ÷ 10°C).  $\text{CaCl}_2$  và các chất phụ gia điện phân khác cũng thúc đẩy sự rắn chắc khi dưỡng hộ nhiệt, nhất là với trường hợp sử dụng xi măng hàm lượng aluminat thấp.



$\text{CaCl}_2$  trong một chừng mực nào đấy còn là chất tạo dẻo cho phép giảm lượng cần nước của hỗn hợp bê tông 5 ÷ 6%, nâng cao cường độ đá xi măng. Hiệu quả rắn nhanh tăng lên cùng với lượng dùng phụ gia nhưng cũng cần hạn chế để tránh hiện tượng ninh kết quá nhanh của xi măng và tăng sự co ngót của đá xi măng. Ví dụ : với lượng dùng lớn hơn 3 ÷ 4% và nhiệt độ 20°C, có thể rút ngắn thời gian ninh kết mà trong điều kiện sản xuất bình thường của sản xuất không cho phép. Mặt khác  $\text{CaCl}_2$  cũng có thể gây ăn mòn cốt thép, nên lượng dùng phải hạn chế.

- Với bê tông không và ít thép, lượng  $\text{CaCl}_2$  cho phép dùng không lớn hơn 3% khối lượng xi măng (tính với loại muối không nước vì  $\text{CaCl}_2$  thường ở dạng kết tinh chứa 6 phân tử nước  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

- Với sản phẩm bê tông cốt thép, lượng dùng  $\text{CaCl}_2$  từ 1,5 ÷ 2% khối lượng xi măng. Nếu đường kính cốt thép bé hơn 4mm thì lượng dùng cần hạn chế khoảng 0,5% khối lượng xi măng và phải bảo đảm độ đặc chắc của bê tông và chiều dày cần thiết của lớp bảo vệ là 15 ÷ 20mm. Không được dùng  $\text{CaCl}_2$  vào công trình bê tông làm việc ở điều kiện độ ẩm cao và thay đổi. Có thể sử dụng phối hợp hai chất phụ gia rắn nhanh là  $\text{CaCl}_2$  và  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  hoặc dùng riêng lẻ.

- Phụ gia thạch cao thêm vào khi nghiền mịn clanhke xi măng cũng có tác dụng đẩy nhanh sự rắn chắc do các tinh thể hydrô sunfua aluminat canxi ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ) được hình thành trong giai đoạn đầu của thời kỳ rắn chắc (khi hỗn hợp bê tông chưa mất hết tính dẻo) có tác dụng lấp các phần rỗng làm tăng độ đặc chắc của đá xi măng. Lượng dùng thạch cao làm phụ gia rắn nhanh phụ thuộc vào hàm lượng  $\text{C}_3\text{A}$  trong xi măng, độ mịn của xi măng và thạch cao và vào điều kiện rắn chắc. Với xi măng có hàm lượng  $\text{C}_3\text{A} = 6\%$ , lượng thạch cao có thể dùng 2,5 ÷ 3% so với lượng dùng xi măng (tính theo lượng  $\text{SO}_3$ ) và khi hàm lượng  $\text{C}_3\text{A}$  là 8 ÷ 10% lượng dùng thạch cao cho phép là 3 ÷ 4% thì độ nghiền mịn từ 4000 ÷ 5000  $\text{cm}^2/\text{g}$  (theo Tôvarốp). Nên dùng phụ gia rắn nhanh kết hợp với phụ gia tăng dẻo.

### 3.5. ĐẨY NHANH SỰ RẮN CHẮC BÊ TÔNG Ở NHIỆT ĐỘ CAO

#### 3.5.1. Rắn chắc ở nhiệt độ đến 100°C

Trong sản xuất vật liệu bê tông và bê tông cốt thép đúc sẵn, để thúc đẩy nhanh sự rắn chắc của bê tông người ta thường dùng biện pháp gia công nhiệt ở  $t^{\circ} = 75 \div 80^{\circ}\text{C}$ . Ở điều kiện nhiệt độ này, thành phần và tính chất của sản phẩm được tạo nên trong quá trình thủy hóa thủy phân không khác với sản phẩm tạo nên ở điều kiện nhiệt độ thường, nhưng các quá trình hóa lý xảy ra mạnh mẽ và triệt để hơn, tốc độ phản ứng nhanh hơn, quá trình kết tinh cũng được thúc đẩy nhanh hơn đặc biệt là độ hòa tan của một số sản phẩm thủy hóa [như hydroxit canxi  $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ ] giảm xuống. Nhưng cần đặc biệt chú ý là xi măng poóc lăng rắn chắc ở điều kiện nhiệt độ cao, nếu không đủ độ ẩm, sẽ làm đình chỉ sớm quá trình thủy hóa, vì ở nhiệt độ cao, tốc độ thủy hóa ở giai đoạn đầu nhanh, sản phẩm thủy hóa sẽ nhanh chóng bao bọc quanh hạt xi măng tạo nên lớp vỏ đặc chắc không cho nước khuếch tán vào lõi xi măng. Mặt khác sự bốc hơi của nước tự do từ bên trong ra môi trường xung quanh cũng mạnh mẽ hơn ở nhiệt độ thường.

Sự đẩy nhanh quá trình kết tinh của sản phẩm thủy hóa sẽ đưa đến việc tạo thành dạng kết tinh thô, kết quả là làm giảm diện tích tiếp xúc giữa các tinh thể và có thể đưa đến sự hạ thấp phần nào cường độ đá xi măng. Để tránh các tình trạng đó, khi dưỡng hộ nhiệt bê tông cần bảo đảm độ ẩm tốt nhất cho môi trường rắn chắc và bảo vệ mặt ngoài sản phẩm khỏi bị bốc hơi nước.

Dưỡng hộ ở nhiệt độ cao cho phép rút ngắn đáng kể thời gian rắn chắc, từ 2 ÷ 3 tuần lễ khi dưỡng hộ ở nhiệt độ thường có thể rút còn 8 ÷ 10 giờ khi dưỡng hộ ở nhiệt độ 80°C. Đặc biệt với các loại bê tông dùng xi măng chậm rắn chắc như xi măng poóc lăng pudolan, xi măng poóc lăng xỉ quặng hoặc xi măng xỉ không có clanhke, sử dụng gia công nhiệt càng có lợi và nhiệt độ thích hợp với chúng là gần 100°C.

### 3.5.2. Rắn chắc ở môi trường bão hòa hơi nước áp suất cao

Hình thức dưỡng hộ này tiến hành ở buồng chưng áp (autoclav) chứa đầy hơi nước bão hòa với áp suất từ  $9 \div 13$  atm và nhiệt độ  $t^\circ = 174,5 \div 191^\circ\text{C}$ . Áp suất cao của hơi nước bão hòa cho phép giữ nước trong bê tông ở trạng thái "giọt loãng" và ở nhiệt độ cao tạo điều kiện thuận lợi không những thúc đẩy sự rắn chắc mà còn tạo được những sản phẩm thủy hóa mới và bổ sung lượng chất kết dính dạng xi măng tổng hợp với thành phần chủ yếu là các hydrô silicat canxi.

Việc chưng áp bê tông xi măng poóclăng này càng có lợi nếu thêm vào xi măng thành phần silic nghiền mịn, ví dụ : cát thạch anh. Trong trường hợp này, trong thành phần xi măng ngoài  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$  còn được bổ sung một số lượng hydrô silicat canxi ổn định và bền vững hơn hydrô silicat 2 canxi có dạng CSH(B) với công thức  $x\text{CaO}.\text{SiO}_2.n\text{H}_2\text{O}$ , trong đó  $x$  thay đổi trong phạm vi  $0,8 \div 1,5$ .

Ngoài ra các aluminat và alumôferit canxi sẽ có tác dụng với cát nghiền mịn và các thành phần silic khác tạo nên những tinh thể hydrô granát rất bền vững và cường độ cao có dạng chung là  $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.x\text{SiO}_2.n\text{H}_2\text{O}$ .

### 3.6. SỰ BIẾN DẠNG VỀ THỂ TÍCH CỦA BÊ TÔNG TRONG QUÁ TRÌNH RẮN CHẮC

Sự rắn chắc của bê tông xi măng và các chất kết dính vữa khác, thường kèm theo sự biến dạng về thể tích, do sự biến đổi thể tích nội bộ đá xi măng trong bê tông (ngay cả ở thời kỳ ninh kết). Đó là sự co ngót khi bê tông rắn chắc trong không khí, nở khi rắn chắc trong nước và biến dạng về nhiệt độ dưới tác dụng của nhiệt lượng tách ra từ các phản ứng thủy hóa chất kết dính.

Nguyên nhân trực tiếp của hiện tượng co ngót và nở là sự biến đổi trạng thái ẩm khi hàm lượng nước mao dẫn và hấp phụ trong hệ biến đổi.

### 3.6.1. Sự co ngót

Khi rắn chắc trong không khí, với một hỗn hợp bê tông mới nhào trộn bão hòa nước, trước tiên nước ở thể tự do từ các lỗ hổng lớn và mao quản thoát ra không gây nên sự co ngót. Sau đó là sự thoát nước từ các mao quản và lỗ rỗng bé và sự bốc hơi nước ở các mao quản có đường kính nhỏ hơn 0,1 micron kèm theo biến dạng co ngót dưới tác dụng của áp lực mao dẫn. Sự thoát nước này vẫn còn xảy ra khi nào áp lực của hơi nước bão hòa trong các mao quản còn lớn hơn áp lực tương đối của hơi nước bão hòa trong môi trường xung quanh (tức độ ẩm tương đối của môi trường).

Sự co ngót vẫn tiếp tục do nước của các màng liên kết hấp phụ trong các thành gen thoát ra làm các hạt rắn của gen xích lại gần nhau.

Do sự chống lại biến dạng co ngót của các thành phần kết tinh thô trong đá xi măng và hạt xi măng trơ (không phản ứng thủy hóa) cũng như cốt liệu và cả cốt thép trong bê tông cốt thép, trong đá xi măng và trong bê tông xuất hiện nội ứng suất : nén trong cốt liệu và cốt thép, kéo trong đá xi măng. Ứng suất nén cốt liệu và cốt thép xuất hiện khi co ngót làm tăng lực dính kết giữa chúng với đá xi măng. Ngược lại, ứng suất kéo có ảnh hưởng bất lợi đối với các tính chất cơ học và sự bền vững của bê tông. Ứng suất kéo này gây nên sự biến dạng và khi vượt quá giới hạn chịu kéo của bê tông sẽ sinh ra những vết nứt lớn nhỏ khác nhau làm giảm tính chống thấm và độ bền vững trong các môi trường xâm thực. Những kẽ nứt lớn còn gây nên sự ăn mòn cốt thép.

Sự co ngót còn làm giảm kích thước cấu kiện, làm giảm sự dính kết giữa hai lớp bê tông đổ trước và đổ sau trong công trình và cũng làm giảm hiệu quả nén trước bê tông trong bê tông ứng suất trước.

Sự co ngót có đặc tính tắt dần theo thời gian. Vì bê tông trong quá trình rắn chắc sẽ khô lại, gradien độ ẩm giảm và cùng với sự giảm chiều dày màng nước, cường độ liên kết giữa chúng với các tinh thể (của gen) cũng tăng lên đưa tới sự tắt dần và cuối cùng đình chỉ hẳn sự co ngót. Sự phát triển của

co ngót khi bê tông rắn trong không khí, nở khi rắn trong nước biểu thị ở hình 3-2.

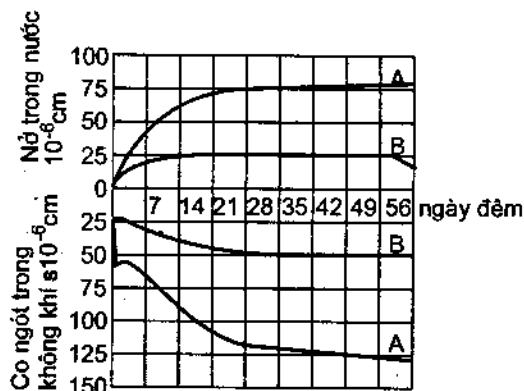
Biến dạng co ngót phụ thuộc vào hàm lượng xi măng, lượng nước ban đầu trong hỗn hợp bê tông và mức ngậm cát trong hỗn hợp cốt liệu. Tăng hàm lượng các thành phần trên, co ngót sẽ tăng.

Độ co ngót còn phụ thuộc vào loại xi măng (thành phần hóa và khoáng) cỡ hạt

của cát và các nhân tố khác ảnh hưởng đến lượng cần nước của hỗn hợp bê tông. Nhân tố nào làm tăng lượng cần nước sẽ làm cho co ngót tăng. Ngoài ra điều kiện ẩm khí rắn chắc cũng ảnh hưởng đáng kể đến sự co ngót.

Cốt liệu trong bê tông thường làm giảm đáng kể sự co ngót. Ví dụ : Đá xi măng từ xi măng poóc-lăng khi rắn chắc lâu dài trong không khí, độ co ngót trung bình là  $3 \div 4$  mm/m. Độ co ngót của vữa xi măng cát trung bình  $0,6 \div 0,8$  mm/m. Bê tông cốt liệu lớn chế tạo với xi măng đó và rắn chắc trong điều kiện tương tự co ngót  $0,2 \div 0,35$  mm/m (phụ thuộc vào lượng dùng xi măng và nước nhào trộn). Độ co ngót của bê tông khi sấy khô hoàn toàn đến trọng lượng không đổi lớn gấp  $1,5 \div 2$  lần giá trị trên.

Khi dưỡng hộ nhiệt ẩm đảm bảo các điều kiện tốt nhất cho sự phát triển của quá trình hóa lý của sự rắn chắc, độ co ngót sẽ xảy ra mạnh mẽ và nhanh chóng hơn so với khi rắn chắc trong điều kiện nhiệt độ thường, nhưng giá trị cuối cùng lại bé. Độ co ngót khi chưng hấp bê tông bé hơn từ  $15 \div 40\%$  so với bê tông rắn chắc trong không khí và khi nhiệt độ chưng



Hình 3-2

A - đá xi măng ;

B - vữa xi măng cát

hấp càng cao, độ co ngót cuối cùng càng bé. Khi dưỡng hộ ở autoclav, độ co ngót cuối cùng nhỏ đi hai lần so với rắn chắc trong không khí.

### 3.6.2. Sự nở

Nếu bê tông ban đầu rắn ở điều kiện thường, sau đó đặt vào nước hoặc môi trường có độ ẩm tương đối cao hơn độ ẩm cân bằng trong bê tông sẽ dẫn đến sự tăng thể tích và được gọi là sự nở. Về trị số tuyệt đối biến dạng nở thường bé hơn giá trị co ngót đến 10 lần. Sở dĩ có hiện tượng nở là do sự tăng chiều dày màng nước trong các tinh thể của gen, quá trình thủy hóa triệt để hơn. Cũng như sự co ngót, sự nở cũng có đặc tính tắt dần.

### 3.6.3. Biến dạng vì nhiệt

Quá trình thủy hóa gắn liền với các phản ứng tỏa nhiệt làm cho bê tông bị nóng lên nhất là những ngày đầu rắn chắc, sau đó khi các quá trình cơ bản của sự thủy hóa kết thúc, bê tông nguội đi. Sự đốt nóng vì nhiệt và nguội lại gây ra sự biến dạng nhiệt của bê tông. Trị số biến dạng phụ thuộc vào giá trị lớn nhất của nhiệt độ tỏa ra trong bê tông và vào hệ số dẫn dài của bê tông. Nhiệt lượng tỏa ra phụ thuộc vào thành phần khoáng vật và hoạt tính của xi măng (xem bảng 3.1), vào lượng dùng xi măng trong bê tông, vào diện tích bề mặt của bê tông và gradien nhiệt độ giữa bê tông và môi trường.

Biến dạng vì nhiệt liên quan với sự phát triển ứng suất nội bộ trong bê tông, nhất là khi có gradien nhiệt độ trong cấu kiện bê tông.

Ví dụ : Khi một khối lớn bê tông nguội, lớp trong giữ được nhiệt độ cao cản trở sự co lại của những lớp bê tông ngoài đã nguội đi, gây ứng suất nén ở lớp trong và ứng suất kéo ở lớp ngoài dẫn đến biến dạng. Nếu biến dạng này vượt quá sức chịu kéo của bê tông sẽ xuất hiện vết nứt ở lớp ngoài.

Với công trình hoặc cấu kiện bê tông có chiều dày không lớn thì biến dạng nhiệt không ảnh hưởng đáng kể, nhưng trong điều kiện chung hấp, sự tỏa nhiệt thủy hóa có thể lớn đáng kể ngay cả khi tiết diện sản phẩm không lớn.

## Chương 4

# NHỮNG TÍNH CHẤT CƠ BẢN CỦA BÊ TÔNG (TỪ CÁC CHẤT KẾT DÍNH VÔ CƠ)

### 4.1. CẤU TẠO VÀ CẤU TRÚC CỦA BÊ TÔNG

Bê tông là vật liệu đá có cấu trúc phức tạp, được tạo nên từ ba thành phần sau :

- Cốt liệu với hình dạng, kích thước, cỡ hạt, độ đặc chắc, cường độ... khác nhau.
- Chất kết dính
- Hệ thống mao quản lớn và bé, các lỗ rỗng trong đó chứa không khí hơi nước hoặc nước.

Những tính chất cơ lý và những tính năng kỹ thuật của bê tông được quyết định bởi tính chất của các thành phần cấu tạo trên và ở một mức độ đáng kể phụ thuộc vào cấu trúc của bê tông mà quan trọng nhất là tính chất của bề mặt tiếp xúc giữa hạt cốt liệu và đá xi măng cũng như diện tích tiếp xúc giữa chúng.

Với bê tông công trình có cấu tạo toàn khối liên tục, trong đó hạt cốt liệu lớn, bé và chất kết dính (đá xi măng) được phân bố tương đối đồng đều, ngoài ra còn chứa một lượng không lớn không khí. Để hạ thấp khối lượng thể tích và cải thiện tính cách nhiệt có thể làm rỗng nhân tạo bê tông này bằng cách sử dụng đồng thời cốt liệu đặc và nặng với cốt liệu rỗng và nhẹ hoặc bằng cách đưa một lượng không khí vào hồ xi măng, vữa xi măng cát hoặc hỗn hợp bê tông.

Bê tông nhẹ cấu tạo tổ ong, trong thành phần không có cốt liệu lớn và thường không có cả cốt liệu bé, có đặc tính là chứa một số lượng lớn các lỗ rỗng bé, kín được tạo nên do không khí lẫn vào hỗn hợp khi nhào trộn hoặc bằng cách tạo khí nhân tạo.

Bê tông có cấu tạo rỗng lớn, chứa một thể tích rỗng lớn do loại bỏ một phần hoặc hoàn toàn cát trong hỗn hợp cốt liệu nên các phần rỗng của cốt liệu không được lấp kín.

Một đặc điểm của bê tông là sự không đồng nhất về mặt cấu tạo và tính chất, cơ lý đàn hồi của các thành phần tạo nên nó. Đó là nguyên nhân xuất hiện nội ứng suất dẫn đến sự hình thành các vết nứt khi bê tông bị co ngót, nở và biến dạng vì nhiệt độ, ảnh hưởng bất lợi đến các tính chất kỹ thuật của bê tông.

Đặc trưng quan trọng của kết cấu bê tông là độ đặc và độ rỗng của bê tông. Đặc trưng này quyết định hầu hết tính chất kỹ thuật của bê tông như cường độ, tính bền vững, khả năng chống xâm thực hóa học, tính thấm nước, thấm hơi, tính truyền nhiệt, truyền âm cũng như khối lượng thể tích... do đó nâng cao độ đặc chắc của bê tông là một biện pháp quan trọng hàng đầu để nâng cao phẩm chất sử dụng của bê tông. Độ đặc chắc của bê tông thường là  $0,85 \div 0,90$  và có thể nâng lên đến  $0,93 \div 0,95$  nhưng khó có thể nâng cao độ đặc chắc của bê tông hơn nữa vì không thể tránh được sự xuất hiện những mao quản trong đá xi măng và sự xâm nhập của một thể tích không khí nhất định khi nhào trộn, đổ khuôn đầm chặt hỗn hợp bê tông. Thể tích khí xâm nhập phụ thuộc vào tính chất của các thành phần vật liệu và hỗn hợp bê tông. Khi cỡ hạt trung bình của cốt liệu giảm, nhất là khi hàm lượng hạt mịn của cát tăng và độ cứng hỗn hợp bê tông lớn thì độ rỗng tăng.

Khi đầm chặt mạnh mẽ hỗn hợp bê tông trong quá trình hình thành sản phẩm một phần lượng khí này có thể thoát ra nhưng không hoàn toàn, thể tích khí còn lại chiếm từ  $2 \div 3\%$  thể tích chung của bê tông. Lượng khí này tuy không nhiều nhưng thường phân bố thành lớp mỏng trên bề mặt phân chia pha làm giảm đáng kể cường độ nén và đặc biệt cường độ kéo



của bê tông (mỗi phần trăm khí còn lại có thể làm giảm từ 5 ÷ 10% cường độ nén). Có thể tiếp tục làm giảm lượng khí này bằng phương pháp bơm hút chân không đẩy lượng khí và nước trong hỗn hợp ra ngoài làm kết cấu của bê tông đặc chắc hơn.

Khi xét đến độ đặc, độ rỗng của bê tông cần đặc biệt chú ý đến tính chất cấu trúc phần rỗng đó, hình dạng kích thước lỗ rỗng, sự phân bố trong cấu trúc bê tông và tính chất kín, hở, thông nhau của các lỗ rỗng... Kích thước và cấu tạo lỗ rỗng quyết định bởi dạng liên kết của nước trong phần rỗng và khả năng thoát nước trong bê tông. Lỗ rỗng nhỏ thông nhau và những mao quản ảnh hưởng xấu đến tính chất bê tông, những lỗ rỗng kín là những bọt khí không thông nhau, không gây nên ảnh hưởng bất lợi trong bê tông và có khi lại có lợi.

Độ đặc chắc của bê tông là tỉ số phần thể tích rắn so với tổng thể tích của bê tông.

$$d = \frac{V_{\text{rắn}}}{V_b}$$

Độ đặc biến hóa theo thời gian rắn chắc và rất khó xác định một cách chính xác độ đặc của bê tông. Thường xác định bằng tổng hợp thể tích tuyệt đối của thành phần rắn trong một đơn vị khối lượng thể tích bê tông.

$$d = \frac{X}{\rho_x} + \frac{C}{\rho_c} + \frac{D}{\rho_d} + \frac{\alpha(X+P)}{1000} + \left(\frac{P}{\rho_p}\right)$$

X, C, D, P : Khối lượng xi măng, cát, cốt liệu lớn và phụ gia nghiền mịn trong một đơn vị thể tích bê tông.

$\rho_x, \rho_c, \rho_d, \rho_p$  là khối lượng riêng của xi măng, cát, cốt liệu lớn và phụ gia

Trị  $\alpha$  thay đổi theo tuổi dưỡng hộ

Ngày	7	28	90	300
$\alpha$	0,12	0,15	0,19	0,25

Ví dụ : Tính độ đặc chắc của bê tông ở tuổi 28 ngày có cấp phối theo khối lượng sau : xi măng  $250 \text{ kg/m}^3$  ; cát  $620 \text{ kg/m}^3$  ; dăm  $1200 \text{ kg/m}^3$  ; phụ gia nghiền mịn là diatômít  $50 \text{ kg/m}^3$  ; nước  $200 \text{ l/m}^3$  ;  $\rho_x = 3150 \text{ kg/m}^3$  ;  $\rho_c = 2630 \text{ kg/m}^3$  ;  $\rho_d = 2500 \text{ kg/m}^3$  ;  $\rho_p = 2160 \text{ kg/m}^3$ .

$$\begin{aligned} d &= \frac{250}{3150} + \frac{620}{2630} + \frac{1200}{2500} + \frac{0,15(250 + 50)}{1000} + \frac{50}{2160} = \\ &= 0,07936 + 0,2357 + 0,4800 + 0,045 + 0,0231 = \\ &= 0,8631 = 86,31\% \end{aligned}$$

Cũng có thể tính độ đặc theo công thức :

$$d = 1 - V_{kk} - N_{b.h}$$

$V_{kk}$  - thể tích lượng không khí cuốn vào bê tông khi nhào trộn thường lấy bằng 0,02, khi có dùng phụ gia tạo bọt  $V_{kk} = 0,05$  ;

$N_{b.h}$  - thể tích nước có thể bốc hơi trong bê tông :

$$N_{b.h} = \frac{N - \alpha(X + P)}{1000}$$

$$d = 1 - 0,02 - \frac{200 - 0,15(250 + 50)}{1000} = 0,825 = 82,5\%$$

## 4.2. NHỮNG TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG

### DƯỚI ẢNH HƯỞNG CỦA TÁC DỤNG VẬT LÝ VỚI NƯỚC

Những tính chất liên quan với tác dụng vật lý của nước đối với bê tông gồm : Tính hút nước, tính bão hòa nước, hệ số mềm, sự hút nước mao dẫn, sự truyền ẩm, tỏa ẩm, biến dạng thể tích khi làm ẩm và sấy khô, tính thấm nước.

#### 4.2.1. Tính hút nước và bão hòa nước

Do bê tông có kết cấu mao quản và rỗng nên có thể bị hóa ẩm do hút một lượng hơi nước nhất định từ môi trường

không khí xung quanh hoặc có thể hút nước đến bão hòa khi tiếp xúc trực tiếp với nước.

Khi độ ẩm tương đối của môi trường không khí vượt quá trị số ẩm của bê tông, hay khi nhiệt độ bão hòa hơi nước môi trường xung quanh lớn hơn nhiệt độ bê tông, sẽ đưa đến sự hút ẩm. Độ ẩm cân bằng của bê tông phụ thuộc vào độ rỗng và tính chất phần rỗng của bê tông. Với bê tông thường, cốt liệu đặc chắc, độ hút ẩm thường không đáng kể, có thể bỏ qua, với bê tông nhẹ cốt liệu rỗng, có cấu tạo toàn khối liên tục độ hút ẩm có thể đạt tới  $20 \div 25\%$ .

Sự hút nước và bão hòa nước của bê tông khi tiếp xúc trực tiếp với nước xảy ra do sự hút ẩm mao dẫn trong bê tông hoặc qua các lỗ rỗng hở khi mặt ngoài của sản phẩm hay công trình bị thấm ướt. Sự hút ẩm mao dẫn hay sự dịch chuyển hơi nước trong mao quản nhỏ trong đá xi măng tương đối đặc chắc xảy ra khi có gradien nhiệt độ và độ ẩm. Những mao quản có tiết diện bé hơn  $1\mu$  không cho nước lọt qua kể cả dưới áp lực đáng kể hoặc khi trên vách mao quản có chiều dày của màng nước hấp phụ bằng  $0,5\mu$  thì sự dẫn nước mao quản này hoàn toàn bị mất đi.

Độ hút nước lớn nhất của bê tông xi măng, cốt liệu đặc chắc thường xuyên ở trạng thái bão hòa nước có thể đạt đến  $4 \div 8\%$  theo khối lượng ( $10 \div 20\%$  theo thể tích). Với bê tông nhẹ cốt liệu rỗng, độ hút nước lớn đáng kể và dao động trong giới hạn lớn phụ thuộc vào độ rỗng và tính chất rỗng của cốt liệu cũng như cấu tạo của bê tông.

Khi bão hòa nước, cường độ bê tông sẽ giảm. Tỷ số cường độ bê tông ở trạng thái bão hòa nước và ở trạng thái khô gọi là hệ số mềm. Với bê tông xi măng nặng hệ số mềm dao động trong phạm vi  $0,85 \div 0,9$ , bê tông thạch cao có hệ số mềm  $0,35 \div 0,45$ . Sự hút nước và bão hòa liên tiếp sẽ dẫn đến sự biến đổi thể tích bê tông và biến dạng dài sản phẩm nhưng không lớn. Nhưng cứ bão hòa nước rồi sấy khô liên tiếp nhiều lần, sự biến dạng lặp đi lặp lại liên tục dẫn đến phá hoại mối liên kết và làm lay chuyển kết cấu bê tông.

### 4.2.2. Tính thấm nước

Bê tông có kết cấu rỗng mao quản (kể cả bê tông đặc chắc) nên có tính thấm nước và các chất lỏng khác dưới tác dụng của áp lực thủy tĩnh. Sự thấm lọc dưới áp lực thủy tĩnh của bê tông có độ đặc chắc trung bình không phải qua đá xi măng (với  $\frac{N}{X} > 0,5 \div 0,55$ ) mà chủ yếu theo mao quản thô có tiết diện  $> 1\mu$  thông nhau và những hốc rỗng bé giữa miền tiếp xúc giữa đá xi măng và cốt liệu. Những hốc rỗng này được tạo thành do sự tách nước bên trong khi các hạt xi măng trầm lắng, hoặc do sự xuất hiện kẽ nứt co ngót trong bê tông.

Với một số kết cấu hoặc công trình bê tông cần sử dụng bê tông chống thấm với số hiệu khác nhau. Số hiệu chống thấm của bê tông là trị số áp lực thủy tĩnh mà với áp lực này nước không thấm qua mẫu bê tông có kích thước tiêu chuẩn.

*Để bảo đảm khả năng chống thấm cho kết cấu hay công trình bê tông có thể dùng ba biện pháp sau đây :*

- Nâng cao độ đặc chắc của bê tông.
- Tăng chiều dày cấu kiện bê tông.
- Nén trước bê tông trong quá trình sản xuất cấu kiện để triệt tiêu ứng suất kéo sẽ xuất hiện dưới tác dụng của áp lực thủy tĩnh.

Để nâng cao độ đặc của bê tông cần xác định lượng dùng xi măng và cát tốt nhất, giảm nhỏ tỉ lệ  $N/X$  và đầm chặt mạnh mẽ khi thành hình sản phẩm cũng như bảo đảm độ ẩm tốt nhất khi bê tông rắn chắc. Với các loại bê tông đúc sẵn, việc dưỡng hộ theo kiểu chung hơi cũng là một biện pháp nâng cao tính chống thấm nước.

Còn có thể nâng cao tính chống thấm của bê tông bằng cách sử dụng phụ gia hoạt tính bề mặt trong hỗn hợp bê tông. Chất phụ gia này có tác dụng làm giảm lượng cần nước của hỗn hợp bê tông, giảm sự tách nước khi bị trầm lắng hồ xi măng nên nâng cao độ đặc chắc của bê tông. Có thể dùng loại

phụ gia tạo bọt làm tăng một lượng bọt khí có cấu tạo kín, cắt đứt đường mao quản, làm giảm sự thấm nước mao quản, do đó giảm khả năng thấm lọc của bê tông. Hiện nay người ta thường dùng một số phụ gia làm tăng đáng kể tính chống thấm của bê tông như :

- Aluminat natri với lượng dùng 1,5% khối lượng xi măng.
- Clorua sắt (0,5 ÷ 0,25% khối lượng xi măng)
- Clorua canxi và natri phối hợp với phụ gia tăng dẻo cũng như phụ gia thủy tinh natri lỏng với liều lượng 3 + 5% khối lượng xi măng v.v...

### 4.3. TÍNH CHẤT NHIỆT LÝ CỦA BÊ TÔNG

Những tính chất của bê tông liên quan đến tác dụng vật lý của nhiệt gồm : tính dẫn nhiệt, nhiệt dung, hệ số giãn nở vì nhiệt.

#### 4.3.1. Tính dẫn nhiệt

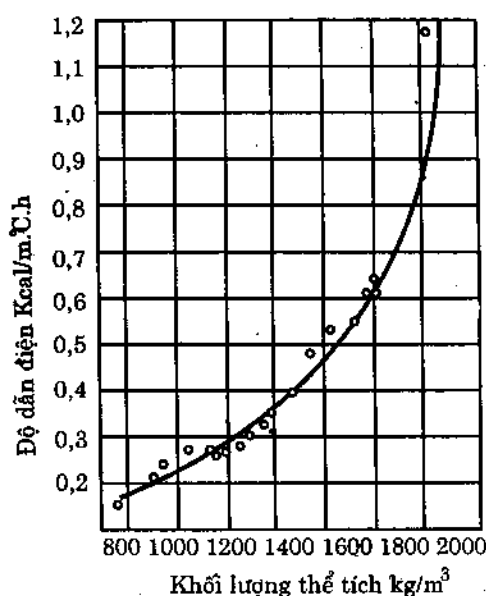
La tính chất vật lý liên trực quan trọng của bê tông sử dụng ở các công trình dân dụng. Nó liên quan mật thiết với cấu tạo bê tông và cấu trúc các vật liệu thành phần. Tính dẫn nhiệt phụ thuộc vào trạng thái ẩm và nhiệt độ bê tông. Khi nhiệt độ và độ ẩm tăng, tính dẫn nhiệt tăng. Trong thực tế hệ số tính toán chỉ tiêu dẫn nhiệt hay hệ số dẫn nhiệt được xác định theo những công thức phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông ở trạng thái sấy khô tới hằng lượng và xác định ở nhiệt độ 25°C (hình 4-1). Độ dẫn nhiệt có thể xác định theo công thức B. N. Kaupman

$$\lambda = 0,0935 \sqrt{m_{vb}} \cdot 2,28^{m_{vb}} + 0,025 \text{ Kcal/m.}^{\circ}\text{C.h}$$

$m_{vb}$  - khối lượng thể tích bê tông ở trạng thái sấy khô ( $\text{T/m}^3$ ). Công thức này cũng như một số công thức tương tự không xét đến tính chất rỗng của bê tông (độ lớn, phân bố, mức độ kín và thông nhau của lỗ rỗng) nên chỉ có tính chất gần

đúng và phù hợp với bê tông có sự đồng nhất về cấu trúc cốt liệu và cấu tạo tương đối đồng nhất. Khó có được công thức về độ dẫn nhiệt tổng quát được tất cả các nhân tố ảnh hưởng đến tính dẫn nhiệt của bê tông.

Bê tông nặng cốt liệu đặc chắc có cấu tạo đặc chắc có hệ số dẫn nhiệt cao, > 1,5 Kcal/m.°C.h, và khi sử dụng nó vào công trình dân dụng cần sưởi ấm, phải cấu tạo thêm lớp vật liệu cách nhiệt.



Hình 4-1. Sự phụ thuộc của độ dẫn nhiệt bê tông với khối lượng thể tích

### 4.3.2. Nhiệt dung và tỉ nhiệt

Nhiệt dung là nhiệt lượng thu vào khi vật liệu bị đốt nóng :

$$Q = Cm(t_2 - t_1)$$

Q - nhiệt dung (Kcal)

m - khối lượng vật bị đốt nóng (kg) ;

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub> - nhiệt độ trước và sau khi bị đốt nóng °C;

C - tỉ nhiệt của vật liệu (Kcal/kg.°C)

Tỉ nhiệt là lượng nhiệt cần thiết để đốt nóng 1 kg vật liệu lên 1°C :

$$C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

Bê tông từ các chất kết dính vô cơ và cốt liệu khoáng ở trạng thái khô, tùy theo mức độ rỗng của cốt liệu có tỉ nhiệt trong phạm vi từ  $0,18 + 0,20$  Kcal/kg. $^{\circ}$ C.

Tỉ nhiệt của hỗn hợp bê tông, tùy theo hàm lượng nước có trong hỗn hợp có thể biến đổi trong phạm vi từ  $0,28 + 0,33$  Kcal/kg. $^{\circ}$ C.

### 4.3.3. Hệ số dẫn vì nhiệt (dẫn nhiệt)

Đối với phần lớn các loại bê tông khi đốt nóng đến  $100^{\circ}$ C, hệ số dẫn dài trung bình  $10.10^{-6}$  gần với hệ số dẫn dài của cốt thép  $12.10^{-6}$  nên khi bê tông cốt thép bị đốt nóng do có độ dẫn dài tương đối đồng đều, mối liên kết giữa bê tông và thép không bị phá hoại.

## 4.4. TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA BÊ TÔNG

### 4.4.1. Sức chịu nén

Sức chịu nén hay cường độ chịu nén là chỉ tiêu quan trọng nhất trong tính chất cơ học của bê tông.

Dưới tác dụng của ngoại lực, trong bê tông cũng như những loại vật liệu không đồng nhất khác xuất hiện trạng thái ứng suất phức tạp với những biến dạng có tính chất khác nhau. Trong trường hợp chịu tải đơn giản nhất - nén dọc trục - mẫu bê tông chịu đồng thời biến dạng nén và biến dạng kéo ngang theo phương thẳng góc với chiều tác dụng của lực nén.

Theo O. I. Berg - nhà nghiên cứu về cơ sở vật lý của lý thuyết cường độ bê tông thì ứng suất kéo xuất hiện khi nén nếu ngay từ đầu chịu tải đã đạt đến một trị số đáng kể nào đó sẽ dẫn đến sự hình thành trong bê tông những vết rạn nứt li ti hướng theo chiều tác dụng của lực nén. Cùng với sự tăng lên của trị số tải trọng hoặc của tải trọng lặp lại, những vết nứt này không ngừng tăng lên, phát triển và nối liền nhau. Thời điểm phá hoại của mẫu bê tông tương ứng với thời điểm mà thể tích nứt đạt đến mức làm cho kết cấu cuối kết của bê tông mất sự ổn định của nó, đó là giới hạn cường độ tới hạn

dẫn đến sự phá hoại dần của vật liệu đá. Tóm lại, nguyên nhân cơ bản của sự phá hoại bê tông khi nén là sự vượt quá sức chống đỡ của nó khi biến dạng nở ngang. Sự phá hoại này có thể xảy ra do sự phá hoại mối tiếp xúc của đá xi măng với cốt liệu hoặc do sự đứt vỡ bản thân đá xi măng và bản thân hạt cốt liệu. Nói một cách khác để bảo đảm cường độ bê tông, nhân tố quan trọng không phải chỉ riêng cường độ mỗi cấu trúc thành phần (đá xi măng hoặc cốt liệu) mà còn quyết định bởi cường độ dính kết giữa chúng với nhau. Cường độ chịu nén của bê tông chịu ảnh hưởng của rất nhiều nhân tố, trước hết là tính chất của các vật liệu thành phần tạo nên bê tông và cuối cùng là các điều kiện rắn chắc và sự phát triển của bê tông. Chỉ tiêu cường độ bê tông cũng chịu ảnh hưởng các điều kiện thí nghiệm : Hình dạng và kích thước mẫu, tính chất bề mặt tiếp xúc với chốt nén, tốc độ tăng tải cũng như nhiệt độ và trạng thái ẩm của mẫu. Nhân tố quan trọng nhất ảnh hưởng tới cường độ nén của bê tông là :

- Cường độ đá xi măng
- Độ đặc chắc và cấu trúc của bê tông
- Chất lượng và tính chất bề mặt của cốt liệu. Nếu sử dụng cốt liệu đặc chắc có cường độ cao vượt quá cường độ yêu cầu của bê tông thì cường độ bê tông chỉ còn phụ thuộc hai nhân tố trên.

Ta sẽ lần lượt xét ảnh hưởng của từng nhân tố với cường độ bê tông.

### 1) Cường độ đá xi măng

Cường độ đá xi măng trong bê tông phụ thuộc vào hoạt tính chất kết dính và tỉ lệ giữa lượng dùng nước và lượng dùng chất kết dính (xi măng) trong hỗn hợp bê tông ( $N/X$ ).

Hoạt tính chất kết dính do thành phần khoáng vật và hóa học, độ nghiền mịn của nó quyết định, ngoài ra công nghệ sản xuất và một số nhân tố khác cũng ảnh hưởng đến hoạt tính này.

Cường độ đá xi măng và bê tông tăng tỉ lệ thuận với sự tăng hoạt tính của chất kết dính, nhưng khi dùng xi măng mác cao, tỉ lệ này bị giảm đi phần nào.

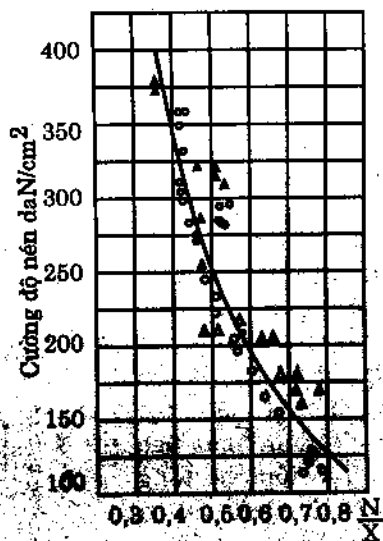


Tỉ lệ  $N/X$  quyết định độ đặc của đá xi măng vì bất kỳ một lượng nước thừa nào trong hỗn hợp bê tông vượt quá lượng nước cần thiết để tiến hành quá trình thủy hóa hoàn toàn đều làm tăng độ rỗng của đá xi măng dẫn đến sự hạ thấp cường độ đá xi măng và bê tông. Tuy nhiên lượng nước cần thiết để nhào trộn bê tông không chỉ để thủy hóa hoàn toàn chất kết dính mà còn để tạo nên độ lưu động cần thiết cho hỗn hợp bê tông theo một phương thức đầm chặt nào đó mới đảm bảo cho bê tông đạt đến độ đặc chắc tốt nhất khi đầm chặt, để cuối cùng được cường độ cao nhất.

Sự phụ thuộc giữa cường độ bê tông với tỉ lệ lượng dùng nước và chất kết dính hoàn toàn được xác lập với mọi loại bê tông và với các chất kết dính vô cơ khác nhau. Sự phụ thuộc này là một trong những đặc tính cơ bản của bê tông cho phép điều chỉnh với một mức độ chính xác nhất định các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông, đặc biệt là bảo đảm đạt được một cường độ chịu nén yêu cầu.

Bằng thực nghiệm cho thấy quan hệ phụ thuộc giữa cường độ nén bê tông với tỉ lệ lượng dùng nước và chất kết

dính  $R_b = f\left(\frac{N}{C \cdot R_D}\right)$  là một đường cong quy tắc và dạng của đường cong này phụ thuộc chủ yếu vào hoạt tính chất kết dính (hình 4-2). Có nhiều công thức thực nghiệm khác nhau thể hiện sự phụ thuộc giữa cường độ nén của bê tông với hoạt tính của chất kết dính, tỉ lệ  $N/X$  (hoặc  $X/N$ ) và những nhân tố khác. Nhờ những công thức đó có thể dự đoán cường độ gần đúng của bê tông khi biết được trị số  $N/X$  (hoặc  $X/N$ ) và hoạt tính của chất kết dính, hoặc



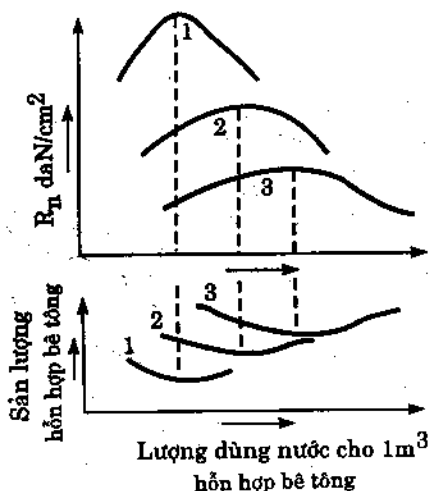
Hình 4-2.  $R = f(N/X)$

chọn giá trị gần đúng của  $N/X$  (hay  $X/N$ ) để đảm bảo cường độ nén đá cho của bê tông. Tất cả những công thức này chỉ đúng với bê tông có cấu trúc đặc chắc.

## 2) Độ đặc và đặc tính cấu trúc của bê tông

Độ đặc ảnh hưởng rất lớn tới cường độ và các tính chất khác của bê tông. Độ đặc phụ thuộc vào cấp phối và chất lượng thành phần hỗn hợp bê tông. Các phần rỗng trong bê tông làm giảm nhỏ bề mặt công tác của tiết diện chịu lực và sinh ra những ứng suất tập trung (cục bộ) làm giảm đáng kể khả năng chịu lực của bê tông.

Để có được một hỗn hợp bê tông chặt chẽ, điều quan trọng là phải đảm bảo sự phù hợp hoàn toàn giữa tính công tác với phương pháp thành hình và chế độ đầm chặt. Hàm lượng nước trong hỗn hợp bê tông là một nhân tố cơ bản quyết định tính công tác và để đầm chặt tốt nhất một hỗn hợp bê tông, hàm lượng nước trong hỗn hợp cần đạt đến trị số tối ưu. Qua nhiều thí nghiệm và quan sát cho phép khẳng định quy luật quan trọng sau đây trong công nghệ bê tông là : Đối với mỗi thành phần bê tông tồn tại một hàm lượng nước tối ưu trong hỗn hợp, phụ thuộc vào mức độ đầm chặt bảo đảm đạt được bê tông đặc chắc nhất và có cường độ cao. Cùng với việc tăng cường mức độ đầm chặt, trị số hàm lượng nước tối ưu trong hỗn hợp bê tông giảm đi và cường độ bê tông tăng lên (hình 4-3).



Hình 4-3. Ảnh hưởng của mức độ đầm chặt đối với lượng cần nước tốt nhất và cường độ bê tông.  
1 - đầm chặt mạnh mẽ ; 2 - đầm chặt vừa ; 3 - đầm chặt yếu.

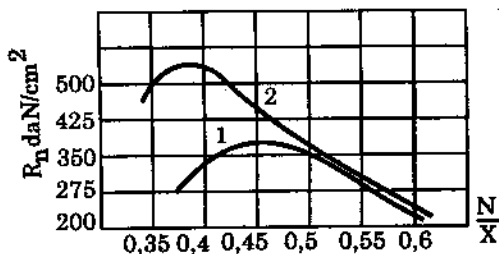
Chưa đạt đến hoặc vượt quá lượng nước tối ưu đó đều dẫn đến sự giảm cường độ bê tông. Trường hợp đầu, cường độ bê tông giảm là do sự thiếu nước, hỗn hợp bê tông không thể đầm chặt tốt với chế độ đầm chặt nhất định. Trường hợp thứ hai là do sự thừa nước trong đá xi măng tạo nên khe rỗng mao dẫn.

Trong nhiều công thức xác định cường độ bê tông dạng  $R_b = f(N/X)$  thường không có mặt yếu tố đầm chặt hỗn hợp bê tông khi đổ khuôn không có nghĩa là nhân tố đó không ảnh hưởng tới cường độ bê tông. Trong thực tế như đã trình bày ở trên, những công thức tính toán được giới thiệu chỉ thích ứng với bê tông có cấp phối đặc chắc và được đầm chặt tốt.

Ở hình 4-4, đường cong quan hệ giữa cường độ bê tông và tỉ lệ  $N/X$  gồm hai nhánh, có điểm chuyển, ứng với trị số  $N/X$  (tối ưu) phù hợp với hỗn hợp đã cho và mức độ đầm chặt nhất định. Khi giảm dần  $N/X$ , phù hợp

với quy luật quan hệ giữa cường độ và  $N/X$ , cường độ bê tông tăng dần cho đến khi đạt đến trị số  $N/X$  (tối ưu); nếu lại tiếp tục giảm  $N/X$  tính công tác của hỗn hợp trở nên xấu đi và với chế độ đầm chặt đã định không thể đảm bảo độ đặc chắc cần thiết và do đó cường độ bê tông bắt đầu giảm thấp.

Tỉ số  $N/X$  tốt nhất đối với một hỗn hợp bê tông nhất định có thể thay đổi phụ thuộc vào phương thức đầm chặt. Nếu mức độ đầm chặt tăng, tỉ số  $N/X$  sẽ giảm, cường độ bê tông với thành phần vật liệu không đổi (liều lượng xi măng không đổi) sẽ tăng. Như vậy sự tăng cường đầm chặt khi thành hình sản phẩm cho phép sử dụng hỗn hợp bê tông ít chảy hoặc độ cứng



Hình 4-4. Sự phụ thuộc của cường độ bê tông với  $N/X$  và chế độ đầm chặt.

1 - dầm tay ;

2 - dầm chấn động mạnh.

cao, tức là có thể dịch chuyển giá trị N/X (tối ưu) về phía trái, nâng cao cường độ bê tông mà không tăng hàm lượng xi măng hoặc hoạt tính của nó, hoặc có thể giảm liều lượng xi măng trong bê tông khi giữ cường độ bê tông ở một giá trị nhất định.

### 3) Chất lượng cốt liệu

Cường độ cốt liệu chỉ ảnh hưởng đến cường độ bê tông trong trường hợp bê hơn hay xấp xỉ cường độ đá xi măng. Vì thế đối với bê tông từ cốt liệu đá đặc chắc, cường độ của cốt liệu khá cao, thường vượt quá cường độ yêu cầu của bê tông và khi đó năng lực gắn kết giữa đá xi măng và hạt cốt liệu đóng vai trò quan trọng nhất.

Cường độ gắn kết giữa hạt cốt liệu và đá xi măng quyết định bởi những đặc tính sau đây của cốt liệu thiên nhiên : Hình dạng hạt, đặc tính cấu tạo của đá gốc, trạng thái bề mặt, lượng tạp chất sét, bụi làm cản trở sự tiếp xúc giữa cốt liệu và đá xi măng.

Đối với bê tông nhẹ chế tạo từ cốt liệu rỗng, cường độ cốt liệu và những đặc tính đàn hồi của chúng đóng vai trò rất quan trọng vì cường độ của chúng thấp hơn hoặc xấp xỉ bằng cường độ thành phần vữa trong bê tông. Đồng thời sự gắn kết chặt chẽ giữa đá xi măng và cốt liệu rỗng cho phép giả thiết rằng thành phần bền chắc hơn trong bê tông (đá xi măng hoặc vữa xi măng cát) tạo nên một lớp vỏ bền chắc bao bọc hạt của thành phần yếu hơn là cốt liệu rỗng. Nhờ sự gắn kết chắc chắn đó bảo đảm cho hai thành phần ấy trong bê tông làm việc đồng thời trong mọi trường hợp chịu tải, điều đó cũng bảo đảm sự phân bố lại ứng suất trong bê tông nhẹ và nâng cao được khả năng chịu lực của nó.

Cường độ nén của bê tông chịu ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu lớn trong hỗn hợp. Với bê tông nặng từ cốt liệu đặc chắc có cường độ lớn hơn cường độ thành phần vữa, khi tăng hàm lượng cốt liệu lớn trong bê tông tạo khả năng tiếp xúc nhiều hơn giữa hạt cốt liệu lớn với các điều kiện khác không thay đổi, cường độ bê tông có thể tăng chừng  $15 \div 20\%$  so với khi có hàm lượng cốt liệu ít hơn. Với bê tông nhẹ cốt liệu

rỗng có cường độ cốt liệu bé hơn cường độ thành phần vừa thì khi hàm lượng cốt liệu tăng, hàm lượng vừa giảm tương ứng, cường độ bê tông sẽ giảm.

#### 4) Mác bê tông về cường độ nén

Mác bê tông về cường độ nén là giới hạn cường độ nén của những mẫu bê tông có hình dạng và kích thước tiêu chuẩn (kích thước này có thể khác nhau với các dạng bê tông khác nhau) đúc từ hỗn hợp bê tông theo cấp phối công tác bằng phương pháp tiêu chuẩn và dưỡng hộ 28 ngày ở môi trường nhiệt độ và độ ẩm tiêu chuẩn ( $t^{\circ} = 27 \pm 2^{\circ}\text{C}$  và độ ẩm tương đối là  $95 \pm 100\%$  theo TCVN 3105 - 1993).

Theo TCVN 3118 - 1993 mẫu tiêu chuẩn để xác định mác chịu nén của bê tông có hình lập phương, kích thước  $150 \times 150 \times 150\text{mm}$ , đúc mẫu theo phương pháp quy định ở TCVN 3105 - 1993.

Khi mẫu có kích thước thay đổi, hoặc có hình trụ thì kết quả thử nghiệm cường độ nén được nhân với một hệ số tính đổi theo bảng sau (để quy về mẫu chuẩn).

**Bảng 4.1**

Hình dạng và kích thước mẫu (mm)	Hệ số tính đổi
a) Mẫu lập phương	
100 × 100 × 100	0,91
150 × 150 × 150	1
200 × 200 × 200	1,05
300 × 300 × 300	1,10
b) Mẫu trụ	
71,4 × 143 và 100 × 200	1,16
150 × 300	1,20
200 × 400	1,24

Mác bê tông trong một chừng mực nhất định được coi là một tiêu chuẩn có tính chất quy ước về cường độ, vì phương pháp chuẩn bị mẫu, sự rắn chắc, phương pháp thí nghiệm mẫu tiến hành khi xác định mác không sử dụng trong sản xuất. Mác

bê tông không thể coi là chỉ tiêu cường độ thực tế của bê tông trong công trình cũng không phải là tiêu chuẩn đo lường để đánh giá so sánh bê tông có cấp phối và loại vật liệu khác nhau.

Chỉ tiêu cường độ nén phù hợp hơn với điều kiện làm việc của bê tông trong kết cấu hoặc công trình là cường độ nén lăng trụ ( $R_{LT}$ ). Đó là cường độ nén dọc trục theo chiều cao của mẫu khối lăng trụ, hai đáy hình vuông, có cạnh bằng 1/4 chiều cao. Có ba loại kích thước mẫu được sử dụng là  $100 \times 100 \times 400$ ;  $150 \times 150 \times 600$  và  $200 \times 200 \times 800$  mm.

Cường độ lăng trụ được xác định theo TCVN 5726 - 1993.

#### 4.4.2. Sức chịu kéo

Cũng như tất cả các vật liệu đá có tính giòn khác, cường độ chịu kéo của bê tông bé hơn rất nhiều so với cường độ chịu nén. Với bê tông nặng, tỉ lệ so sánh giữa

$$\frac{R_n}{R_k} = \text{từ } 8 \div 10 \text{ với bê tông mác } 50 \div 100 ;$$

$$\text{từ } 12 \div 15 \text{ với bê tông mác } 200 \div 400 ;$$

$$\text{từ } 18 \div 20 \text{ với bê tông mác } 500 \div 600.$$

Cường độ kéo của bê tông thường được xác định bằng những phương pháp gián tiếp. Ví dụ : xác định theo cường độ kéo khi uốn của một mẫu bê tông có kích thước tiêu chuẩn và chuyển thành cường độ kéo dọc trục bằng cách nhân với một hệ số chuyển là 0,58. Theo TCVN 3119 - 1993 mẫu để xác định cường độ kéo uốn của bê tông có hình dạng và kích thước như mẫu xác định cường độ lăng trụ và sơ đồ thí nghiệm uốn bố trí như hình 4.5.

Cường độ kéo khi uốn ( $R_{ku}$ ) được xác định theo công thức :

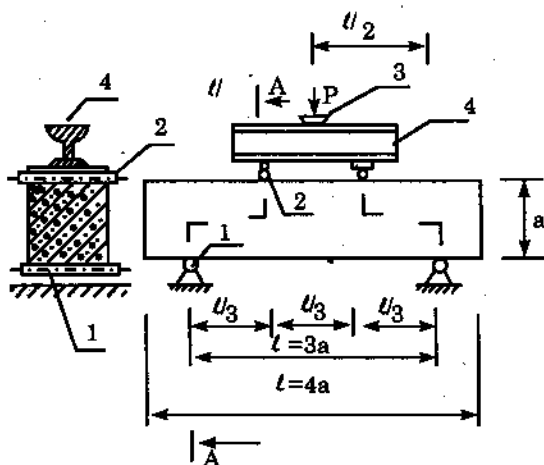
$$R_{ku} = \alpha \frac{Pl}{a^3}, (\text{daN/cm}^2) :$$

$$\alpha = 1 \text{ với mẫu } 150 \times 150 \times 600\text{mm}$$

$$\alpha = 0,95 \text{ với mẫu } 200 \times 200 \times 800\text{mm}$$

$$\alpha = 1,05 \text{ với mẫu } 100 \times 100 \times 400\text{mm}$$

Cường độ kéo dọc ( $R_k$ ) được tính bằng công thức :

$$R_k = 0,58R_{ku}$$


Hình 4-5

1 - gối tựa di động ; 2 - gối tựa cố định ; 3 - khớp cầu ; 4 - dầm phụ

Cũng có thể xác định cường độ kéo của bê tông khi bửa mẫu bê tông hình trụ, hoặc khối lập phương, hoặc mẫu dầm (lăng trụ) theo sơ đồ thí nghiệm hình 4-6. (TCVN 3120-1993).

Cường độ kéo khi bửa được tính theo công thức :

$$R_{kb} = \delta \frac{2P}{F}, \text{ (daN/cm}^2\text{)}$$

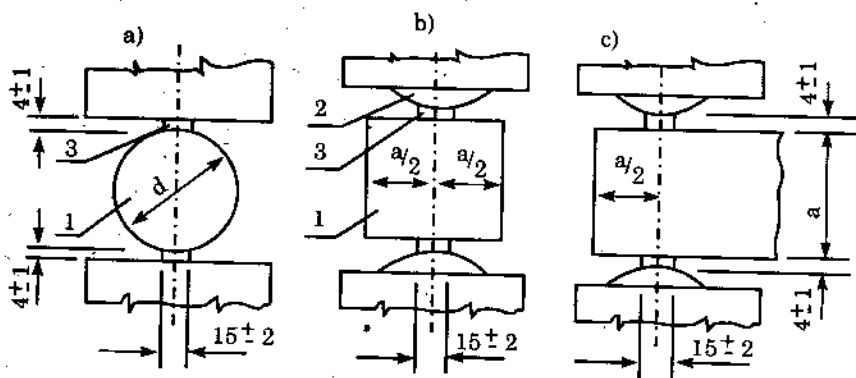
trong đó : P là tải trọng bửa mẫu đến phá hoại (daN) ;

F là diện tích tiết diện chịu kéo khi bửa của mẫu thử (cm<sup>2</sup>) ;

$\delta$  là hệ số tính đối khi quy về mẫu chuẩn 150×150×150mm.

(hệ số  $\delta$  được xác định theo hướng dẫn ở phụ lục của TCVN 3118 - 1993).

Cũng như cường độ nén, cường độ chịu kéo của bê tông chủ yếu phụ thuộc vào tổng diện tích mặt ngoài của cốt liệu,



Hình 4-6. Sơ đồ thủ bừa.

a - mẫu trụ ; b - mẫu lập phương ; c - mẫu dầm.

1 - mẫu thủ ; 2 - gối truyền tải ; 3 - đệm gỗ.

chất lượng tiếp xúc giữa hạt cốt liệu và những đặc tính đàn hồi khi kéo cũng như độ đặc chắc của cấu trúc bê tông.

#### 4.4.3. Sự dính kết giữa bê tông và cốt thép

Một đặc tính quan trọng của bê tông cốt thép là sự dính kết giữa bê tông và cốt thép. Nó bảo đảm cho hai loại vật liệu này cùng làm việc đồng thời với nhau. Cường độ dính kết này phụ thuộc vào nhiều nhân tố có liên quan đến tính chất của bê tông, hình dạng cốt thép và điều kiện tiếp xúc giữa bê tông và cốt thép v.v...

Với cốt thép trơn thì cường độ dính kết tạo nên bởi hai yếu tố : Lực dính kết trên bề mặt tiếp xúc giữa xi măng với cốt thép và lực ma sát xuất hiện giữa cốt thép và bê tông khi chúng dịch chuyển tương đối với nhau. Trị số của lực ma sát phụ thuộc vào sự bền chắc của tiếp xúc, tính chất bề mặt của vật liệu tiếp xúc và với trị số lực theo hướng dịch chuyển tác dụng vào cốt thép. Cường độ dính kết phụ thuộc trực tiếp vào cường độ bê tông, tính chất dính kết của đá xi măng tính chất này quyết định bởi hoạt tính của xi măng, tỉ lệ  $N/X$ , sự phát triển và điều kiện rắn chắc). Cường độ này đối với bê tông



nặng từ xi măng poóc-lăng với cốt thép trơn trung bình từ  $0,15 + 0,2$  giá trị cường độ nén của bê tông ở tuổi 28 ngày đêm.

Đối với cốt thép có gờ thì lực ma sát không còn ý nghĩa. Khi đó vai trò lực dính với bê-mặt tiếp xúc được tăng lên trở nên chủ yếu, đồng thời xuất hiện một nhân tố bổ sung là sự móc dính của bê tông với các gờ nhô ra của cốt thép. Khi đó mỗi sự dịch chuyển của cốt thép đều phải khắc phục sự chống lại của rất nhiều móc bê tông có hình của rãnh gờ cốt thép.

Cường độ dính kết giữa bê tông và cốt thép còn phụ thuộc vào mật độ tiếp xúc giữa bê tông và cốt thép. Ở vùng tiếp xúc giữa những cốt thép nằm ngang và lớp bê tông tương đối dày nằm phía dưới do kết quả của quá trình trầm lắng của hồ xi măng có thể dẫn đến sự lắng xuống của các thành phần và tạo nên những hốc rỗng cục bộ chứa nước (và sau đó là không khí) có thể làm giảm đáng kể trị số lực dính kết.

#### 4.5. TÍNH CHẤT ĐÀN HỒI - DẸO CỦA BÊ TÔNG

##### 4.5.1. Mô đun đàn hồi của bê tông

Bê tông là vật thể đàn hồi - dẻo. Nó mang đặc tính của vật thể đàn hồi và có biến dạng dẻo ở một mức độ lớn đáng kể dưới tác dụng của ngoại lực và tải trọng.

Biến dạng đàn hồi của bê tông phát triển theo quy luật đường thẳng giữa ứng suất và biến dạng. Biến dạng này chỉ xuất hiện khi tải trọng tác dụng rất nhanh và đo được ngay sau khi đặt tải trọng. Tính đàn hồi ở giai đoạn này được đánh dấu bằng mô đun đàn hồi ban đầu hay tức thời khi nén, được xác định bằng tỉ lệ giữa ứng suất bình thường của bê tông và biến dạng tương đối. A. A. Gvôzdep đưa ra công thức xác định mô đun đàn hồi của bê tông nặng dùng xi măng poóc-lăng như sau :

$$E_b = \frac{1000000}{1,7 + \frac{360}{R_{28}}}, \text{ daN/cm}^2.$$

trong đó :  $R_{28}$  - cường độ nén của bê tông ở tuổi 28 ngày.

Mô đun đàn hồi khi nén tĩnh xác định theo TCVN 5726 - 1993.

Ngoài ra có thể xác định mô đun đàn hồi của bê tông khi kéo. Tuy nhiên khi thời gian tác dụng của tải trọng tương đối lâu (ví dụ : 1 giờ) ngoài biến dạng đàn hồi, còn được bổ sung thêm biến dạng dẻo hay biến dạng dư và mối quan hệ giữa biến dạng và ứng suất có dạng của hàm số mũ :

$$\varepsilon = \frac{\sigma^m}{E_b}$$

trong đó :  $\varepsilon$  - trị số biến dạng tương đối ;  
 $\sigma$  - ứng suất trong bê tông (daN/cm<sup>2</sup>) ;  
 $m$  - chỉ số mũ > 1 ;  
 $E_b$  - mô đun biến dạng của bê tông (daN/cm<sup>2</sup>).

Trong trường hợp này đặc trưng biến dạng của bê tông không phải là mô đun đàn hồi ban đầu mà là mô đun biến dạng và giá trị trung bình của nó đối với một loại bê tông nào đó được xác định ứng với một khoảng thời gian tăng tải.

Mô đun đàn hồi của bê tông tăng, khi hàm lượng cốt liệu lớn, cường độ và mô đun đàn hồi của cốt liệu lớn tăng ; hàm lượng xi măng, tỉ lệ N/X giảm.

Mô đun đàn hồi của bê tông cũng như cường độ của nó là những đặc trưng quan trọng của vật liệu trong các kết cấu chịu lực. Khi mô đun đàn hồi tăng, cần thiết phải tăng tương ứng độ cứng của kết cấu bằng cách tăng tiết diện kết cấu hoặc tăng cường cốt thép v.v...

Việc hạ thấp một phần mô đun đàn hồi và sự tăng tương ứng tính biến dạng của bê tông có một ý nghĩa khả quan, có tác dụng đẩy lùi thời điểm phá hoại của vật liệu trong công trình.

Từ biến của bê tông : Từ biến là hiện tượng phát triển biến dạng dẻo của mọi dạng bê tông từ chất kết dính vô cơ dưới tác dụng của một tải trọng tương đối không lớn trong một thời gian dài.

Biến dạng dẻo từ biến xuất hiện sau biến dạng đàn hồi và một thời gian ngắn sau khi chịu tải.

Nguyên nhân của từ biến có thể là do sự dịch chuyển nước vào các phần rỗng của gen dưới tác dụng của tải trọng. Cùng với sự cứng chắc của gen trong cấu trúc đá xi măng, biến dạng từ biến tắt dần, thường chỉ xảy ra 1 + 1,5 năm, sau đó hầu như ngừng phát triển. Biến dạng từ biến lớn khi trị số tải trọng và liều lượng của xi măng trong bê tông lớn và khi tuổi bê tông bé. Cũng như những vật liệu dòn khác, trị số tổng biến dạng của bê tông trước lúc phá hoại thường không lớn. Ví dụ : với bê tông nặng khi nén, trị số này từ 0,5 ÷ 1,5mm/m. Giá trị biến dạng khi kéo thường là 10 lần bé hơn, tức là với bê tông nặng bằng 0,05 ÷ 0,15 mm/m, còn với bê tông nhẹ khoảng hai lần lớn hơn.

## 4.6. TÍNH BỀN VỮNG CỦA BÊ TÔNG

Các công trình bê tông trong quá trình sử dụng thường chịu tác dụng phá hoại bởi các nhân tố xâm thực của môi trường hoặc do làm việc trong điều kiện nhiệt độ cao.

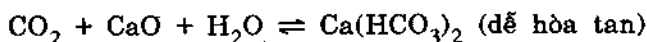
### 4.6.1. Tính bền vững trong môi trường xâm thực

#### 1) Các nhân tố xâm thực cơ lý

Sự đóng, tan băng liên tiếp ; sự thay đổi trạng thái khô, ẩm cùng với sự thay đổi nhiệt độ môi trường ; tác dụng của gió, mưa, dòng chảy gây bào mòn, xói mòn công trình.

#### 2) Các nhân tố sinh vật

Các loại rong, rêu, hà, những vi khuẩn, côn trùng ở sông, biển cũng gây tác dụng phá hoại bê tông. Có loại trong quá trình sống tiết ra hợp chất sunphát gây ra sự ăn mòn sunphát đối với bê tông hoặc bài tiết ra  $\text{CO}_2$  nâng cao nồng độ  $\text{CO}_2$  của môi trường, phá hoại sự cân bằng của phản ứng  $\text{CO}_2$  với thành phần canxi trong xi măng công trình, dẫn đến phá hoại bê tông.



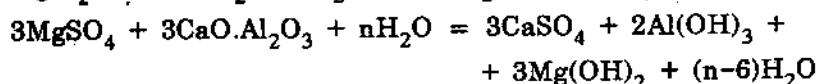
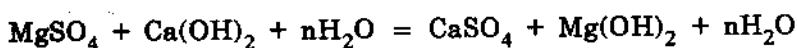
Có loại phá hoại lớp vỏ cacbonát hóa ( $\text{CaCO}_3$ ) bề mặt công trình, tạo điều kiện cho các nhân tố xâm thực khác xâm nhập vào bên trong gây tác hại.

### 3) Các nhân tố hóa học

Theo V. I. Maxcôvin có ba dạng xâm thực hóa học sau đây đối với bê tông xi măng.

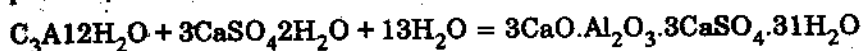
a) *Xâm thực hòa tan* : Các thành phần khoáng vật của xi măng trong nước có độ cứng tạm thời bị hòa tan và rửa ra.

b) *Xâm thực trao đổi* : Các hợp chất hóa học trong nước tác dụng với các thành phần thủy hóa của xi măng tạo nên những hợp chất mới hoặc hòa tan trong nước hoặc không có khả năng kết dính làm yếu kết cấu bê tông. Trong các thành phần thủy hóa của xi măng,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  là thành phần đáng lo ngại nhất đối với sự ăn mòn hóa học.



Trong đó  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  tách ra dưới dạng những hợp chất không có khả năng dính kết và không hòa tan trong môi trường trung hòa, còn  $\text{CaCl}_2$  rất dễ hòa tan.

c) *Xâm thực bành trướng thể tích* : Trong các lỗ rỗng và khe hở của bê tông, tập trung các sản phẩm của các phản ứng hóa học khó hòa tan, khi kết tinh nở thể tích dẫn đến phá hoại kết cấu bê tông. Ví dụ :  $\text{CaSO}_4$  tách ra trong quá trình trao đổi hóa học tác dụng với  $\text{C}_3\text{A}$  tạo nên những vi khuẩn xi măng ettringite chứa nhiều nước kết tinh, tăng thể tích gấp 2,5 lần, phá hoại cấu trúc đá xi măng :



### 4) Các biện pháp chống xâm thực

Để nâng cao tính bền vững của bê tông trong các môi trường công tác (nhất là môi trường xâm thực hóa học) kéo dài tuổi thọ công trình, có thể dùng các biện pháp sau :

a) Nâng cao độ đặc chắc và tính đồng nhất của bê tông, sử dụng các loại cốt liệu đặc chắc có tính ổn định hóa học lớn.

b) Chọn dùng các loại xi măng thích hợp với môi trường sử dụng, hoặc dùng các chất phụ gia hóa học chống xâm thực.

c) Bảo vệ bề mặt của công trình thường xuyên làm việc ở môi trường xâm thực bằng các lớp vật liệu chống xâm thực để ngăn cách tác dụng trực tiếp của môi trường đối với công trình. Ví dụ : Bảo vệ bề mặt bằng lớp vỏ chất dẻo tổng hợp cho các công trình thủy lợi như đập tràn, đê chắn sóng biển.

#### 4.6.2. Tính chịu lửa và chịu nhiệt của bê tông

Tính chịu lửa của bê tông là khả năng chịu tác dụng của lửa trong một thời gian ngắn (thí dụ : khi bị hỏa hoạn), còn tính chịu nhiệt của bê tông là khả năng không bị phá hoại của bê tông dưới tác dụng lâu dài của nhiệt độ cao trong điều kiện sử dụng.

Đối với bê tông nặng không nên sử dụng ở môi trường thường xuyên có nhiệt độ lớn hơn  $250^{\circ}\text{C}$ . Ở nhiệt độ  $250 \div 300^{\circ}\text{C}$ , cường độ bê tông giảm rõ rệt do màng nước hấp phụ tách ra, làm cho đá xi măng bị co ngót dẫn đến sự phá hoại cấu trúc. Khi nhiệt độ bằng  $500 \div 550^{\circ}\text{C}$  và cao hơn nữa, những hạt xi măng thủy hóa bị mất nước, nước liên kết hóa học bị tách ra và đá xi măng bị phá hoại đáng kể. Ở nhiệt độ trên  $550^{\circ}\text{C}$  những hạt thạch anh trong cát và đá dăm granít và các loại đá khác bị phá hoại do chuyển từ thạch anh tinh thể sang tridinit làm tăng thể tích một cách đáng kể. Nhưng trong thực tế bê tông nặng có thể chịu dụng ở  $1200^{\circ}\text{C}$  trong một thời gian nhất định. Điều đó có thể giải thích là ở nhiệt độ cao, lớp ngoài của kết cấu bê tông bị phá hoại tạo nên một màng xốp có tác dụng cách nhiệt, làm cho nhiệt truyền vào bê tông chậm nên phải ở nhiệt độ khá cao mới bị phá hoại.

Đối với các môi trường nhiệt độ cao như các loại lò nung, người ta dùng loại bê tông đặc biệt như bê tông chịu nhiệt.

## Chương 5

# BÊ TÔNG XI MĂNG CỐT LIỆU ĐẶC CHẮC (BÊ TÔNG NẶNG)

Bê tông xi măng cốt liệu đặc chắc được sử dụng phổ biến nhất trong sản xuất bê tông cốt thép cấu kiện và toàn khối. Nó có khối lượng thể tích trong phạm vi từ  $1800 \div 2500 \text{ kg/m}^3$  (ở trạng thái khô) tùy theo độ đặc chắc của cốt liệu và bê tông, loại phổ biến nhất có khối lượng thể tích  $2200 \div 2300 \text{ kg/m}^3$ , có độ đặc tương ứng là  $0,85 \div 0,90$ , độ hút nước dao động từ  $4 \div 7\%$  theo khối lượng.

Theo cường độ chịu nén, bê tông xi măng có các mác sau :  
100, 150, 200, 250, 300, 400, 600.

## 5.1. VẬT LIỆU DÙNG CHO BÊ TÔNG NẶNG

### 5.1.1. Xi măng

Trong sản xuất các sản phẩm bê tông và bê tông cốt thép thường dùng xi măng poóc-lăng và các dạng khác của nó như xi măng rắn nhanh, xi măng bôn sunphát, xi măng trắng, xi măng màu... xi măng poóc-lăng xi quặng, xi măng poóc-lăng pudolan. Ngoài ra, theo yêu cầu riêng mà dùng các loại xi măng đặc biệt như xi măng nở, xi măng co, xi măng chịu lửa, xi măng chịu axit...

Trong các tiêu chuẩn về sử dụng xi măng trong bê tông có các quy định về các đặc trưng kỹ thuật như lượng nước tiêu chuẩn, thời gian ninh kết, tính ổn định thể tích, độ mịn, cường

độ (hoạt tính), chỉ tiêu về thời hạn tồn kho cũng như hàm lượng tạp chất có hại như  $\text{SO}_3$  và  $\text{MgO}$ .

Ngoài ra, theo yêu cầu sản xuất, còn quy định một số chỉ tiêu khác như sự phát triển cường độ ở tuổi 1 ÷ 2 ngày đêm khi rắn chắc trong điều kiện tự nhiên hoặc 6 ÷ 8 giờ dưỡng hộ nhiệt, tính bền vững trong môi trường xâm thực...

Để lợi nhất về kinh tế, cần chọn mác xi măng thích hợp cho từng loại mác bê tông, theo tiêu chuẩn Liên Xô cũ (ГОСТ - 770-61) mác xi măng nên chọn trong phạm vi sau (bảng 5.1).

**Bảng 5.1**

Mác bê tông $\text{daN/cm}^2 R_{28}^b$	200	300	400	500	600
Mác xi măng $\text{daN/cm}^2 R_x$	300+400	400÷500	500	600	600÷700

Những giới hạn trên được dùng với hỗn hợp bê tông có tính lưu động lớn và trong trường hợp cần sớm đạt đến cường độ yêu cầu của bê tông. Khi sử dụng bê tông tính cứng và trị số  $N/X$  bé, cốt liệu chất lượng tốt thì tỉ số  $(R_x/R_b)$  có thể xấp xỉ bằng 1.

### 5.1.2. Phụ gia nghiền mịn

*Phụ gia nghiền mịn cho vào xi măng có hai loại :*

- Phụ gia hoạt tính có thể tác dụng với  $\text{Ca(OH)}_2$  trong xi măng hoặc vôi tạo nên những silicat bền vững và có cường độ.

- Phụ gia nhét đầy không có hại, có hoạt tính không đáng kể, được nghiền đến độ mịn như xi măng có tác dụng tăng tính dẻo và sự dính kết của hỗn hợp, nhét đầy cấu trúc bê tông, nhờ đó có thể giảm lượng dùng xi măng trong bê tông.

### 5.1.3. Cốt liệu từ vật liệu đá đặc chắc

Cốt liệu lớn và nhỏ trong bê tông là thành phần cơ bản chiếm một thể tích và khối lượng lớn nhất, có ảnh hưởng trực tiếp đến những tính chất của hỗn hợp bê tông, đến lượng cần nước của hỗn hợp, lượng dùng xi măng, các tính chất cơ lý đàn hồi của bê tông. Do đó việc lựa chọn thích hợp cốt liệu về loại, giá thành, đặc tính kỹ thuật có tác dụng quyết định đối với chất lượng và giá thành bê tông. Cốt liệu lớn dùng trong bê tông có hai loại :

- Đá dăm sản xuất bằng cách đập vỡ vật liệu đá thiên nhiên (phún xuất, trầm tích, biến chất) hoặc các loại xỉ quặng kim loại đen và màu.

- Cuội sỏi là vật liệu đá ở dạng hạt rời có sẵn trong thiên nhiên.

Cốt liệu nhỏ cũng phân làm hai loại : cát nhân tạo do nghiền nhỏ đá thiên nhiên và cát thiên nhiên gồm cát sông, cát biển, cát núi có sẵn trong thiên nhiên.

Cuội sỏi, cát sông, cát biển thường có dạng hạt tròn trĩnh, bề mặt nhẵn và sạch, còn đá dăm, cát núi thường có góc cạnh, bề mặt nhám ráp, gắn kết tốt với đá xi măng, nhưng cát núi thường lẫn nhiều tạp chất bẩn và hàm lượng bụi sét lớn.

*Khi chọn cốt liệu cần xét đến 3 loại đặc trưng chất lượng.*

#### 1) Tính chất cơ lý và cấu trúc của cốt liệu

Xét đến cường độ, độ đặc, tính hút nước, khối lượng thể tích tự nhiên (đổ đóng), độ bào mòn, cọ mòn, tính bền chắc trong các môi trường xâm thực. Với cốt liệu lớn, chỉ tiêu quan trọng nhất là cường độ và tính chịu băng giá. Khối lượng thể tích (đổ đóng), khối lượng riêng cũng như độ hút nước phản ánh độ rỗng và trong một chừng mực nào đó tính chất rỗng của cốt liệu, cho phép đánh giá gián tiếp cường độ của nó.

Cường độ đá dăm có thể xác định trực tiếp bằng thí nghiệm nén mẫu có kích thước tiêu chuẩn gia công từ đá gốc sản xuất ra đá dăm đó. Mác đá dăm (thí nghiệm trong trạng thái bão



hòa nước) cần vượt quá 1,5 cường độ yêu cầu của bê tông, khi mác bê tông bé hơn 300 và lớn hơn 2 lần khi mác bê tông lớn hơn 300.

Trong trường hợp không thể xác định trực tiếp cường độ đá dăm, cuội, sỏi từ thí nghiệm cường độ đá gốc có thể đánh giá qua chỉ tiêu thí nghiệm về độ ép vỡ ( $E_v$ ). Theo chỉ tiêu này, cốt liệu có độ ép vỡ như sau :

$E_v$  - 8 thích hợp với bê tông mác lớn hay bằng 300 ;

$E_v$  - 12 thích hợp với bê tông mác bằng 200 ÷ 300 ;

$E_v$  - 16 thích hợp với bê tông mác nhỏ hơn 200.

Với cát, độ sạch và cấp phối hạt là những chỉ tiêu quan trọng ảnh hưởng lớn tới cường độ bê tông và phẩm chất sử dụng. Cát tự nhiên tốt nhất trong sản xuất bê tông là cát thạch anh.

## 2) Hình dạng, độ thô và cấp phối hạt

Hình dạng hạt cốt liệu và tính chất bề mặt của chúng ảnh hưởng đến cấu tạo cuội kết của bê tông và cường độ dính kết giữa cốt liệu và đá xi măng, do đó ảnh hưởng tới cường độ của bê tông. Thực tế khi mọi điều kiện khác nhau, bê tông từ đá dăm có cường độ lớn hơn bê tông từ cuội sỏi. Vì thế với bê tông mác lớn hơn và bằng 400 nên dùng đá dăm từ đá gốc có cường độ cao. Đối với cốt liệu nhỏ thì hình dạng hạt có tác dụng quan trọng : cát nui có hình dạng góc cạnh so với cát sông, với các điều kiện như nhau sẽ bảo đảm cho vữa có cường độ cao hơn. Hạt dăm và cuội sỏi có dạng hình kim và dẹt ảnh hưởng không có lợi tới cường độ bê tông vì thế hàm lượng của chúng trong cốt liệu lớn không được vượt quá 15% theo khối lượng.

Cỡ hạt lớn nhất : ( $D_{max}$ ) là một tiêu chuẩn đánh giá về độ thô của đá dăm và cuội sỏi.  $D_{max}$  tương ứng với cỡ sàng (mm) mà lượng sót tích lũy trên sàng đó nhỏ hơn và gần với trị số 5% nhất. Ngược lại với  $D_{max}$  là  $D_{min}$  tương ứng với cỡ sàng có lượng lọt sàng nhỏ hơn và gần với trị số 5% nhất. Tùy theo kích thước tiết diện của cấu kiện bê tông và mật độ cốt

thép mà quyết định  $D_{\max}$  là 10, 20 hoặc 40mm. Nâng cao được  $D_{\max}$  có thể giảm được lượng dùng xi măng, nhưng để bảo đảm hỗn hợp bê tông lèn chặt khi đổ khuôn, cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu không vượt qua 1/3 kích thước bé nhất của tiết diện sản phẩm và 3/4 khoảng cách giữa hai thanh cốt thép. Với những bản và panen mỏng thành hình ở vị trí nằm ngang, cỡ hạt lớn nhất không quá 1/2 chiều dày sản phẩm. Ngoài chỉ tiêu về cỡ hạt lớn nhất, độ rỗng cốt liệu lớn đóng vai trò quan trọng và lượng dùng vữa xi măng cát phải đủ để nhét đầy phần rỗng này của cốt liệu thô. Đối với cốt liệu nhỏ, cỡ hạt, hình dạng hạt, độ rỗng, cấp phối hạt là những chỉ tiêu cần xét đến khi đánh giá chất lượng.

**Cấp phối hạt :** Là tỉ lệ theo % khối lượng các cấp hạt trong hỗn hợp cốt liệu. Cấp hạt được xác định bằng các sàng tiêu chuẩn. Ở Việt Nam bộ sàng tiêu chuẩn để phân cấp cốt liệu lớn và bé có kích thước các hộc sàng tăng hoặc giảm dần với tỉ lệ 2 hoặc xấp xỉ 2 lần. Cụ thể kích thước bộ sàng tiêu chuẩn ở ta là 0,15 ; 0,30 ; 0,6 ; 1,2 ; 2,5 ; 5 ; 10 ; 20 ; 40mm...

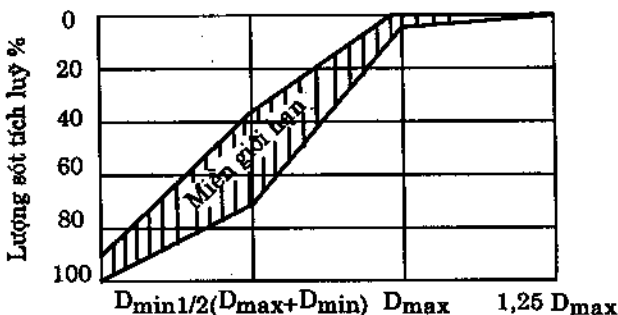
Ở các xí nghiệp bê tông cốt thép, dăm hoặc sỏi được cung cấp theo cấp phối tự nhiên hay được phân theo cấp cỡ hạt qua sàng tiêu chuẩn. Ví dụ : cấp hạt 5 - 10mm, (hoặc 3 ÷ 10 với sản phẩm mỏng), 10 + 20mm, 20 + 40mm... Theo quy phạm hàm lượng từng cấp hạt cốt liệu lớn nằm trong phạm vi sau (bảng 5.2).

**Bảng 5.2**

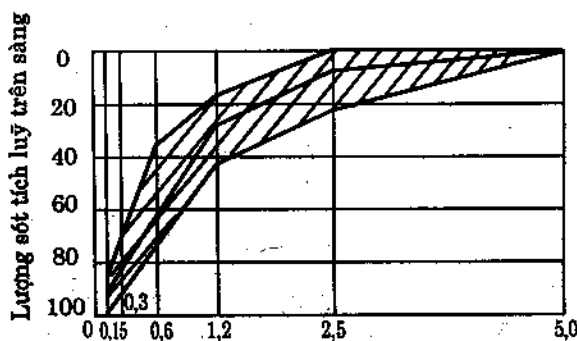
Kích thước hộc sàng	$D_{\min}$	$\frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}$	$D_{\max}$	$1,25 D_{\max}$
Lượng sót tích lũy theo % khối lượng	95-100	40-70	0-5	0

Cấp phối hạt được biểu thị bằng đường tích lũy các cấp hạt.

Cốt liệu lớn có cấp phối tốt khi đường tích lũy cấp hạt của nó không vượt ra ngoài miền giới hạn được xác định theo quy phạm (hình 5.1.a).



Hình 5-1a. Miền giới hạn cấp phối hạt của cốt liệu lớn trong bê tông



Hình 5-1b. Miền giới hạn cấp phối hạt của cát trong bê tông

Đường tích lũy các cấp hạt của cát là đường nối các điểm biểu diễn lượng sót tích lũy  $A_i$  trên từng sàng tiêu chuẩn.

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,2} + \dots + a_i$$

$a_{2,5}$ ;  $a_{1,2}$ ; ...  $a_i$  là tỷ lệ % lượng sót riêng trên các sàng chuẩn có đường kính mắt sàng là 2,5 ; 1,2 ; ... mm, so với lượng cát đem sàng.

$a_i = \frac{m_i}{m} 100\%$   $m_i$  - lượng sót của cát trên sàng  $i$  tính bằng g ;

$m$  - lượng cát đem sàng để phân cấp hạt  
(thường là 1000g).

Có thể biểu thị độ lớn cỡ hạt của cát bằng chỉ tiêu đường kính bình quân ( $d_{bq}$ ) :

$$d_{bq} = 0,5 \sqrt[3]{\frac{A_{0,15}}{11a_{0,15} + 1,37a_{0,3} + 0,17a_{0,6} + 0,02a_{1,2} + 0,0024a_{2,5}}}$$
 ;

hoặc môđun độ lớn :

$$M_n = \frac{A_{2,5} + A_{1,2} + A_{0,6} + A_{0,3} + A_{0,15}}{100}$$

Theo môđun độ lớn có thể phân loại cát như sau :

- Cát thô có :  $M_n > 2,5$  và  $A_{0,6} > 50\%$
- Cát vừa có  $M_n = 2-2,5$  và  $A_{0,6} = 30 - 50\%$
- Cát mịn có  $M_n = 1,5 - 2$  và  $A_{0,6} = 10 - 30\%$
- Cát rất mịn có  $M_n < 1,5$  và  $A_{0,6} < 10\%$

Ví dụ : Sàng 1.000g cát qua bộ sàng tiêu chuẩn có kết quả sau :

**Bảng 5.3**

Cỡ sàng (mm)	5	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15
Lượng sót riêng $m_i$ (g)	0	65	195	345	300	50
$a_i = \frac{m_i}{m} 100\%$	0	6,5	19,5	34,5	30	5
$A_i = a_{2,5} + a_{1,2} + \dots + a_i\%$	0	6,5	26	60,5	90,5	95,5
A theo quy phạm %	0	0÷20	15÷45	35÷70	70÷90	85÷100

Đường tích lũy các cấp hạt của cát được biểu diễn trên biểu đồ cấp phối hạt (hình 5-1b). Đường kính bình quân của cát này là :

$$d_{bq} = 0,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{95,5}{11,5 + 1,37 \cdot 30 + 0,17 \cdot 34,5 + 0,02 \cdot 19,5 + 0,0024 \cdot 6,5}}$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{95,5}{55 + 41,1 + 5,865 + 0,39 + 0,015}} =$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{95,5}{102,37}} = 0,49 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{6,5 + 26 + 60,5 + 90,5 + 95,5}{100} = 2,79$$

Cát vàng có  $M_n = 2,79 > 2,5$  và  $A_{0,6} = 60,5\%$  nên thuộc cát thô.

Chỉ tiêu tổng hợp cơ bản nhất để đánh giá cấp phối hạt, cỡ hạt, hình dạng hạt của cát là tổng diện tích mặt ngoài tất cả các hạt của 1 đơn vị khối lượng cát và độ rỗng của nó. Chỉ tiêu này quyết định lượng dùng hồ xi măng tối thiểu để bọc quanh hạt cát một lớp có chiều dày nhất định và lấp đầy khe rỗng giữa các hạt cát khi đầm chặt hỗn hợp vữa hoặc bê tông.

Tuy nhiên, trên thực tế khó có thể xác định được hai chỉ tiêu này vì cát có rất nhiều hình dạng và kích thước hạt khác nhau. Để đánh giá một cách tổng hợp về cát, người ta dùng chỉ tiêu lượng cần nước của cát theo phương pháp của B.G.Skramtaép và Barenép. Lượng cần nước của cát được xác định qua lượng dùng nước cho hỗn hợp vữa xi măng cát có thành phần tiêu chuẩn (với tỉ lệ 1 : 2 theo khối lượng) mà với lượng dùng nước này bằng thí nghiệm chấn động khối nón cụt vữa trên bàn nhảy, đạt độ sụt 170mm và lượng cần nước  $N_c$  được xác định theo công thức :

$$N_c = \frac{\frac{N}{X} - N_{tc}}{2} 100\%$$

trong đó :  $N/X$  - tỉ lệ nước, xi măng trong hỗn hợp vữa để đạt độ bết hình nón cắt 170mm.

$N_{tc}$  - độ đặc tiêu chuẩn của hồ xi măng.

Lượng cần nước của cát có độ thô trung bình tính theo phương pháp trên bằng  $7 \div 7,5\%$ .

Tương tự như vậy, có thể xác định lượng cần nước của cốt liệu lớn. Trộn một hỗn hợp bê tông có tỷ lệ cấp phối theo khối lượng  $X : C : D = 1 : 2 : 3,5$  với lượng nước nhào trộn để đạt độ sụt SN bằng độ sụt của vữa xi măng cát đã thí nghiệm xác định lượng cần nước của cát ở trên :

$$N_d = \frac{\frac{N}{X} b - \frac{N}{X} v}{3,5} 100\%$$

Bằng phương pháp này có thể xác định hệ số A trong công thức Bôlômây Skramtáep.

$$A = \frac{R_b}{R_x \left( \frac{X}{N} b - 0,5 \right)}$$

### 3) Hàm lượng tạp chất có hại

Tạp chất có hại trong cốt liệu là những tạp chất bụi, sét bám dính trên bề mặt hạt cốt liệu thành một lớp mỏng làm trở ngại cho sự tiếp xúc giữa đá xi măng và cốt liệu, làm giảm lực dính kết giữa chúng dẫn đến sự hạ thấp cường độ bê tông. Vì thế trong quy phạm về chất lượng cốt liệu có chỉ tiêu hạn chế hàm lượng này. Thực tế với các điều kiện khác nhau, cường độ bê tông từ đầm hoặc cuội sỏi được rửa sạch lớn hơn cường độ bê tông từ đầm, sỏi không rửa khoảng 10-20%.

Tạp chất hữu cơ trong cốt liệu cũng ảnh hưởng xấu đến cường độ bê tông vì thế cần hạn chế hàm lượng của nó. Để đánh giá mức độ chứa tạp chất hữu cơ người ta dùng phương pháp so sánh với màu tiêu chuẩn (xem giáo trình thí nghiệm).

Hàm lượng các tạp chất chứa sun phát cũng có hại đối với tính chất của bê tông, đặc biệt có hại đối với bê tông rắn chắc

ở nhiệt độ và độ ẩm cao và đối với bê tông làm việc trong điều kiện độ ẩm thay đổi vì nó tạo ra trong bê tông chất axit sulphuarit dù với hàm lượng thấp.

#### **5.1.4. Nước dùng nhào trộn hỗn hợp bê tông**

Để nhào trộn hỗn hợp bê tông có thể dùng nước thiên nhiên (trước hết là nước uống được) không chứa muối axit, tạp chất hữu cơ và các chất bẩn, dầu mỡ trong nước thoát ra từ các thành phố, khu công nghiệp.

Nước có hàm lượng muối lớn hơn 5000mg/lít hoặc chứa trên 2700 mg/l ion  $\text{SO}_4$  hoặc pH bé hơn 4 là nước mang tính axit đều không thể dùng nhào trộn bê tông. Nước biển có thể nhào trộn bê tông trừ trường hợp công trình bê tông cốt thép làm việc trong điều kiện khí hậu nóng và khi ở môi trường khô ẩm thay đổi thường xuyên.

### **5.2. NHỮNG LIÊN HỆ CƠ BẢN TRONG BÊ TÔNG**

Cường độ nén của bê tông và lượng cần nước của hỗn hợp bê tông là hai thông số cơ bản trong việc tính toán xác định cấp phối bê tông thỏa mãn tính năng yêu cầu của bê tông và của hỗn hợp bê tông.

Để bảo đảm cường độ bê tông ở tuổi nào đó với một chế độ rắn chắc nhất định, trước hết cần xác định tỉ số  $N/X$  và để thỏa mãn yêu cầu về tính công tác của hỗn hợp bê tông cần xác định lượng dùng nước cần thiết cho hỗn hợp bê tông.

#### **5.2.1. Những liên hệ xác định cường độ nén bê tông**

Như đã xét đến ở chương trước, nhân tố quan trọng nhất ảnh hưởng tới chỉ tiêu cường độ nén bê tông là tỉ lệ  $N/X$  (hay  $X/N$ ) và hoạt tính của xi măng. Nhiều nhà nghiên cứu lý thuyết về cường độ bê tông đã đưa ra nhiều công thức thực nghiệm để tính toán sơ bộ cường độ nén của bê tông. Những công thức này được thành lập cho nhiều loại bê tông khác nhau, trong đó công thức tính toán cường độ bê tông xi măng với cốt liệu đặc

chắc có dạng đơn giản nhất và được sử dụng rộng rãi trong thực tế. Trong những công thức này, ngoài yếu tố về cường độ xi măng và tỉ lệ  $N/X$  còn có mặt các hệ số thể hiện ảnh hưởng của tính chất các vật liệu thành phần, chủ yếu là cốt liệu đối với cường độ bê tông.

Tuy nhiên, với mục đích đơn giản hóa việc sử dụng trong các công thức tính toán đã bỏ qua nhiều nhân tố trên thực tế có ảnh hưởng nhất định đến cường độ bê tông như : Độ đặc của cấu trúc bê tông, mức độ đầm chặt khi đổ khuôn hỗn hợp bê tông, điều kiện rắn chắc, tuổi của bê tông cũng như phương pháp thí nghiệm và quy định điều kiện sử dụng các công thức đó là : Hỗn hợp bê tông được đầm chặt tốt, rắn chắc trong điều kiện tiêu chuẩn về nhiệt độ và độ ẩm và thí nghiệm theo phương pháp tiêu chuẩn với tuổi xác định (thường là 28 ngày đêm).

Một trong những công thức tính  $R$  nén của bê tông xi măng được đưa ra đầu tiên vào năm 1926 là công thức của N. M. Bélaep :

$$R_{28} = \frac{R_x}{K \left( \frac{N}{X} \right)^{1,5}}, \text{ kG/cm}^2.$$

trong đó :  $R_{28}$  - giới hạn cường độ nén của bê tông rắn chắc 28 ngày đêm trong điều kiện bình thường.

$R_x$  - hoạt tính của xi măng tức cường độ nén của xi măng xác định theo phương pháp tiêu chuẩn.

$K$  - hệ số thực nghiệm tính đến ảnh hưởng cốt liệu đối với cường độ bê tông.

Theo công thức này, hàm số  $R_b = f(N/X)$  có dạng gần với một đường cong quy tắc.

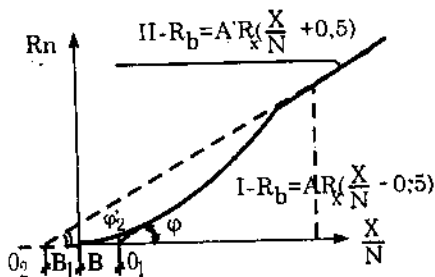
Công thức tiện lợi sử dụng trong thực tế và được dùng rộng rãi hiện nay là công thức tính toán của nhà bác học Thụy Sĩ I. Bôlômây được B. G. Skramtaev hoàn thiện thêm.

Công thức này thể hiện được sự phụ thuộc giữa cường độ bê tông với tỉ lệ  $N/X$  được đơn giản hóa chuyển thành quan hệ đường thẳng giữa cường độ và tỉ lệ  $X/N$ .



$$R_{28} = A R_x \left( \frac{X}{N} - B \right) \text{ daN/cm}^2.$$

trong đó : A, B - hệ số thực nghiệm phụ thuộc tính chất cốt liệu (hình dạng hạt, trạng thái bề mặt, cường độ...), phương pháp xác định hoạt tính của xi măng (bằng vữa cứng hay dẻo), điều kiện rắn chắc và các nhân tố khác. Những hệ số này được thiết lập dựa trên cơ sở của kết quả thực nghiệm, hoặc các số liệu liên quan với thực tế sản xuất.



Hình 5-2. Đường cong thể hiện mối quan hệ  $R_b = f(X/N)$  theo công thức Bôlômây - Skramtaep.

Đường biểu diễn hàm số  $R_b = f(X/N)$  có dạng đường cong phức tạp trong đó có một đoạn có thể xem là đoạn thẳng. Đoạn thẳng này kéo dài cắt trục hoành  $O_1$  cách gốc  $O$  một đoạn B, và lập với trục hoành một góc  $\varphi$ . Khoảng cách B và góc nghiêng  $\varphi$  thay đổi phụ thuộc nhiều nhân tố ảnh hưởng đến  $R_b$ , ngoài tỉ lệ  $N/X$ , còn hoạt tính của xi măng và tính chất cốt liệu (được thể hiện qua hệ số A). Hai thông số (B và góc nghiêng  $\varphi$ ) xác định vị trí của đường thẳng  $R_b = f(X/N)$ .

Trên biểu đồ người ta thấy phương trình đường thẳng quan hệ giữa  $R_b = f(X/N)$  xác định với các giá trị của  $X/N$  trên trục hoành ở bên phải  $O_1$ . Với những giá trị  $X/N$  bé (bên trái  $O_1$ ) cường độ bê tông không có nghĩa và gần bằng 0 và đường biểu diễn cũng chỉ phù hợp với những giá trị của  $X/N$  nhỏ hơn hoặc bằng 2,5. Vượt quá giới hạn giá trị này của  $X/N$ , dạng ban đầu của hàm số  $R_b = f(X/N)$  biến đổi và với  $X/N$  trong khoảng 2,5 ÷ 3 cũng có thể đơn giản hóa dưới dạng một đường thẳng với góc nghiêng đối với trục hoành bé đi nhiều, có nghĩa là sự phát triển cường độ bê tông không ngừng giảm đi. Với những giá trị tiếp tục tăng của  $X/N$  và có thể không phát triển nữa. Nguyên nhân của sự biến đổi của hàm số  $R_b = f(X/N)$  là :

a) Tính công tác của hỗn hợp bê tông kém đi (vì giá trị  $X/N$  tăng, trong lúc hàm lượng xi măng trong hỗn hợp được giữ nguyên) đưa đến sự khó đầm chặt của bê tông.

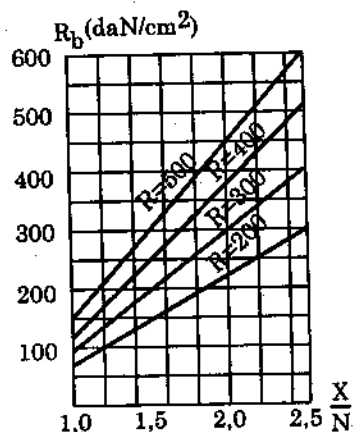
b) Sự tăng lên đáng kể của hàm lượng hồ xi măng trong bê tông và sự giảm nhỏ tương ứng mật độ cốt liệu lớn.

Qua nhiều thí nghiệm với nhiều loại bê tông và cốt liệu khác nhau, với những giá trị  $X/N$  từ  $2,5 \div 3$  (hoặc  $3,3$ ), đường kéo dài của đoạn biểu diễn hàm số  $R_b = f(X/N)$  cắt trục hoành ở  $O_2$  về phía trái gốc  $O$  và cách  $O$  một đoạn  $O_2O = B_1$ . Để đơn giản hóa việc sử dụng công thức tính toán, B. G Skramtaev đề nghị lấy giá trị  $B$  và  $B_1$  là một hằng số bằng  $0,5$ . Như vậy, quan hệ giữa cường độ bê tông và tỉ lệ  $X/N$  (khi  $X/N < 2,5$ ) với những giá trị khác nhau của  $R_x$  sẽ là một chùm đường thẳng (hình 5-3) hội tụ ở  $O_1$ ; ứng với những giá trị lớn hơn của hoạt tính xi măng góc nghiêng của đường biểu diễn sẽ lớn hơn, có nghĩa là cường độ bê tông cũng sẽ lớn hơn với cùng một giá trị  $X/N$ . Tương tự như vậy với những giá trị của  $X/N$  lớn hơn  $2,5$  quan hệ giữa  $R_b$  và  $X/N$  với những giá trị khác nhau của  $R_x$  cũng sẽ là một chùm đường thẳng hội tụ tại  $O_2$ .

Xuất phát từ cơ sở trên, công thức dùng tính toán sơ bộ theo Bôlômây - Skramtaev có dạng :

$$R_{28} = AR_x \left( \frac{X}{N} - 0,5 \right), \text{ khi } \frac{X}{N} \leq 2,5 \text{ và}$$

$$R_{28} = A_1 R_x \left( \frac{X}{N} + 0,5 \right), \text{ khi } \frac{X}{N} > 2,5$$



Hình 5-3. Biểu đồ xác định  $R_{28}$  của bê tông phụ thuộc hoạt tính của xi măng khi  $X/N \leq 2,5$ .

Trong đó  $A$  và  $A_1$  là hệ số phụ thuộc vào phẩm chất cốt liệu và phương pháp xác định hoạt tính của xi măng là phương pháp bán dẻo, cụ thể như sau :

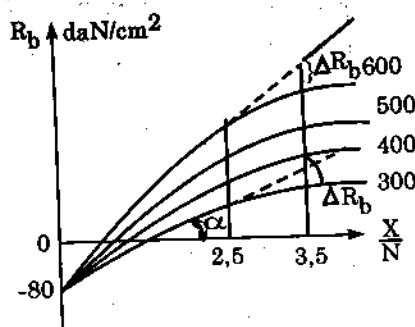
**Bảng 5.4**

Tính chất cốt liệu	$A$	$A_1$
Phẩm chất tốt	0,65	0,43
Phẩm chất trung bình	0,6	0,4
Phẩm chất kém (sỏi lẫn dăm, cát mịn)	0,55	0,37

Những công thức tính toán trên là những công thức thực nghiệm mang tính chất thống kê và không tính đến nhiều nhân tố ngẫu nhiên ảnh hưởng đến cường độ bê tông ; nhưng chúng cũng đạt được một mức độ chính xác cần thiết trong sử dụng. Sự chính xác cao nhất đạt được trong sử dụng công thức Bôlômây - Skramtaev (cũng như công thức Bêlaép) khi chỉ thay đổi những giá trị  $X/N$  mà không có sự thay đổi vật liệu thành phần tạo nên bê tông và những đặc tính của chúng.

Nhược điểm của các công thức trên là đã thiết lập với giả thiết sự biến đổi cường độ bê tông phụ thuộc hoạt tính xi măng theo quan hệ đường thẳng với mọi giá trị của  $X/N$  hay  $N/X$ . Nhưng thực tế hàm số  $R_b = f(R_x)$  không phải đường thẳng.

Công thức của L. A. Kaixe thiết lập trên cơ sở có xét đến những ảnh hưởng biến động của hàm số  $R_b = f(X/N)$  khi  $X/N$  lớn hơn hay bằng 2,5 và trong một chừng mực nhất định có tính đến quan hệ không phải đường thẳng của hàm số  $R_b = f(X/N)$  và do đó



Hình 5-4. Biểu đồ quan hệ  $R_b = f(X/N, R_x)$  theo L. A. Kaixe

cho những kết quả tính toán về cường độ bê tông ít khác biệt so với cường độ thực tế.

Công thức này thiết lập dựa vào những số liệu thí nghiệm phong phú cho phép xây dựng nên biểu đồ quan hệ  $R_b = f(R_x \text{ và } X/N)$  hình 5-4. Với giá trị  $X/N$  nhỏ hơn hay bằng 2,5 ; công thức có dạng :

$$R_{28} = (0,23R_x + 100)X/N - 80 \text{ daN/cm}^2.$$

Với những giá trị của  $X/N$  lớn hơn 2,5 và thường trong phạm vi 3 ÷ 3,5 do sự biến đổi của hàm số  $R_b = f(X/N)$  nên có thêm hệ số giảm  $(1 - \Delta R_b)$

$$R_{28} = [(0,23R_x + 100)X/N - 80] \cdot (1 - \Delta R_b).$$

Hệ số giảm  $\Delta R_b$  có thể lấy theo bảng sau :

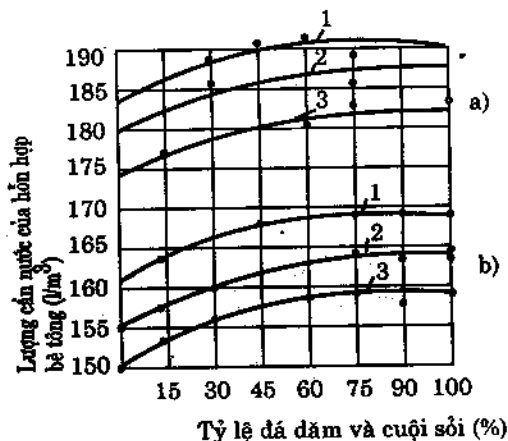
**Bảng 5.5**

$R_x(\text{daN/cm}^2)$	Giá trị $\Delta R_b$ khi $X/N$ bằng		
	2,5	3	3,5
200	0	0,02	0,05
300	0	0,03	0,07
400	0	0,05	0,09
500	0	0,06	0,11
600	0	0,07	0,14

### 5.2.2. Những liên hệ xác định lượng cần nước của hỗn hợp bê tông

Lượng cần nước là nhân tố quan trọng quyết định lượng dùng nước cần thiết khi nhào trộn hỗn hợp bê tông. Nó là một đặc trưng tổng hợp của hỗn hợp bê tông, phản ánh nhu cầu về nước của từng thành phần vật liệu trong hỗn hợp để tạo được một thể tích yêu cầu của hồ xi măng và bảo đảm tính lưu động (hay độ cứng) nhất định của hỗn hợp bê tông.

Đối với một hỗn hợp bê tông, với lượng dùng xi măng hạn chế (phù hợp với yêu cầu kinh tế, kỹ thuật) nhu cầu về hồ xi măng để đạt được bê tông có cấu tạo đặc chắc được xác định bởi tổng tỉ diện và độ rỗng giữa hạt cốt liệu tức bởi các đặc trưng chất lượng của nó như cỡ hạt, hình dạng hạt, trạng thái bề mặt, cấp phối hạt của cốt liệu nhỏ, lớn và cấp phối hỗn hợp của chúng. Mặt khác lượng cốt liệu trong bê tông lớn hơn rất nhiều so với lượng xi măng nên lượng dùng và tính chất hỗn hợp cốt liệu là nhân tố quan trọng nhất xác định lượng cần nước của hỗn hợp bê tông. Do đó, lựa chọn loại cốt liệu, cỡ hạt của chúng và cấp phối hạt cũng như tỉ lệ tối ưu giữa cốt liệu lớn và bé sẽ làm thay đổi lượng cần nước của hỗn hợp bê tông, có thể cải thiện cơ bản những đặc trưng lưu biến của hỗn hợp bê tông mà không đưa tới sự tăng hàm lượng hồ xi măng trong hỗn hợp, (hình 5-5).



Hình 5-5. Ảnh hưởng của  $D_{max}$  cốt liệu và lượng dùng dăm, cát đối với lượng cần nước của hỗn hợp bê tông

$D_{max} = 20mm$  (hình a) ;

$D_{max} = 40mm$  (hình b) ;

1 - mức ngậm cát = 43% ;

2 - mức ngậm cát = 38% ;

3 - mức ngậm cát = 34%.

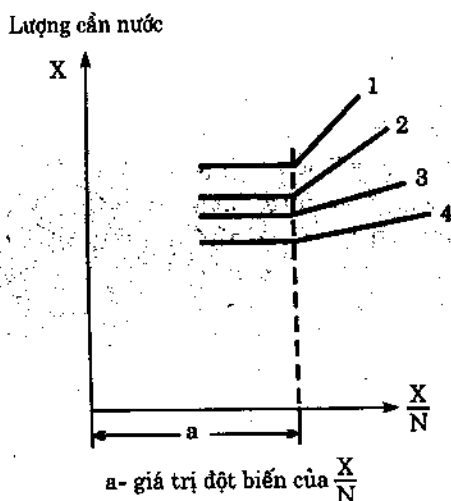
Dùng chỉ tiêu lượng cần nước có thể so sánh và đánh giá chất lượng cốt liệu nhỏ, lớn và tính ưu việt của hỗn hợp được chọn.

Tính chất xi măng, cụ thể là loại và độ nghiêng mịn của nó cũng như phụ gia vô cơ trộn vào khi nghiền xi măng có ảnh hưởng đáng kể đến lượng cần nước của hỗn hợp bê tông.

Những đặc trưng này thể hiện ở trị số lượng nước tiêu chuẩn của hồ xi măng, đó cũng là chỉ tiêu về lượng cần nước của xi măng.

Lượng cần nước của hỗn hợp bê tông thay đổi rất ít khi hàm lượng xi măng trong một đơn vị thể tích bê tông thay đổi trong một phạm vi đáng kể (từ 250 + 400 kg cho  $1m^3$  bê tông) do thay đổi mác xi măng hoặc mác bê tông. Tính chất không thay đổi này của lượng cần nước chỉ tồn tại trong một phạm vi của giá trị  $X/N$  hoặc  $N/X$ . Khi vượt quá giá trị đột biến của  $X/N$  thì lượng cần nước của hỗn hợp bê tông sẽ tăng rõ ràng khi tăng  $X/N$  (tức tăng hàm lượng xi măng) theo quy luật đường thẳng (hình 5-6).

Theo L. A. Kaixe và L. I. Lëvin, khi vượt quá giá trị đột biến của  $X/N$  (thường là bằng 2,5), mật độ xi măng trong hồ xi măng tăng lên đáng kể, thậm chí làm thay đổi những đặc trưng lưu biến của nó và khi đó sự gia tăng giá trị  $X/N$  tuy không lớn cũng yêu cầu tăng tương ứng hàm lượng nước của hồ xi măng mới duy trì tính công tác của hỗn hợp bê tông. Ở hình 5-6 với tất cả các hỗn hợp được chuẩn bị từ cùng một loại vật liệu đều có cùng một giá trị đột biến của  $X/N$ .



Hình 5-6. Ảnh hưởng  $X/N$  và lượng dùng xi măng đối với lượng cần nước của hỗn hợp bê tông khi độ cứng và vật liệu sử dụng không thay đổi.

thấy khi tăng giá trị X/N vượt quá giá trị đột biến (ví dụ từ  $3 \div 3,3$ ) và tăng tương ứng lượng dùng xi măng thì lượng cần nước của hỗn hợp bê tông cũng tăng rõ ràng và có thể vượt quá  $20 \div 25\%$  lượng cần nước của hỗn hợp bê tông với cùng loại có X/N nhỏ hơn 2,5. Hàm lượng nước tăng đáng kể như vậy làm giảm hiệu quả của việc nâng cao cường độ bê tông bằng cách tăng lượng dùng xi măng.

Từ đó để chế tạo bê tông mác cao, ngoài việc tăng lượng dùng xi măng và giá trị X/N đến một giới hạn nhất định cần dùng xi măng mác cao, có lượng nước tiêu chuẩn thấp không vượt quá 26 - 27%.

### 5.3. CHỌN CẤP PHỐI BÊ TÔNG

#### 5.3.1. Khái niệm chung

Một cấp phối bê tông hợp lý cần bảo đảm thỏa mãn những chỉ tiêu quy định về tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông với chi phí về vật liệu và sản xuất bé nhất và chỉ tiêu quan trọng nhất là lượng dùng xi măng kinh tế nhất (có tính đến chế độ công nghệ về thành hình sản phẩm).

Cấp phối bê tông được biểu thị bằng khối lượng của các vật liệu thành phần cần cho  $1m^3$  bê tông hoặc dưới dạng tỉ lệ về khối lượng các vật liệu thành phần so với khối lượng xi măng.

*Khi thiết kế cấp phối bê tông cần biết :*

a) Cường độ chịu nén thiết kế (mác) của bê tông cũng như cường độ cần đạt được khi giao sản phẩm cho bên yêu cầu (với sản phẩm xuất xưởng về mùa hè cần đạt 70% cường độ thiết kế).

b) Điều kiện và thời gian rắn chắc của sản phẩm bê tông cho đến lúc xếp vào kho thành phẩm.

c) Yêu cầu về tính công tác của hỗn hợp bê tông (chỉ tiêu về độ lưu động hoặc độ cứng).

d) Cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu ( $D_{max}$ ).

Ngoài ra cũng cần biết những yêu cầu bổ sung khác về hỗn hợp bê tông hoặc về bê tông.

Có thể xác định cấp phối bê tông theo những phương pháp khác nhau dựa trên những liên hệ cơ bản chung đối với mọi bê tông. Những liên hệ này được biểu thị dưới dạng công thức tính toán, biểu đồ, bảng cho phép xác định sơ bộ thành phần bê tông, sau đó đúc mẫu thử để xác định lại. Phương pháp tính toán kết hợp với thực nghiệm đó được sử dụng rộng rãi.

Trong trường hợp vật liệu sử dụng có tính chất không đồng nhất và không phù hợp với những điều kiện đã quy định khi sử dụng những công thức tính toán và các bảng cũng như khi công nghệ thành hình và điều kiện rắn chắc khác nhiều so với bình thường thì cấp phối được xác định bằng nhiều mẻ trộn thử theo phương pháp gần đúng dần.

Bất kỳ phương pháp nào khi chọn cấp phối bê tông đều xác định hoặc tính toán lần lượt như sau :

1) Cấp phối hợp lý của từng loại cốt liệu và hỗn hợp cốt liệu (với cỡ hạt lớn nhất cho phép).

2) Lượng nước dùng cho  $1m^3$  hỗn hợp bê tông để đạt được yêu cầu độ lưu động hoặc độ cứng.

3) Lượng xi măng cho  $1m^3$  bê tông bảo đảm cường độ quy định ở tuổi quy định với biện pháp công nghệ thành hình sản phẩm nhất định.

4) Liều lượng cốt liệu lớn và bé hoặc từng cấp cốt liệu cho  $1m^3$  bê tông có tính đến độ đặc chắc và khối lượng thể tích của nó.

Trong việc chọn cấp phối cốt liệu được dùng ở trạng thái khô và được gọi là cấp phối chuẩn. Trong sản xuất, cấp phối có thay đổi phụ thuộc độ ẩm của vật liệu và được gọi là cấp phối công tác.

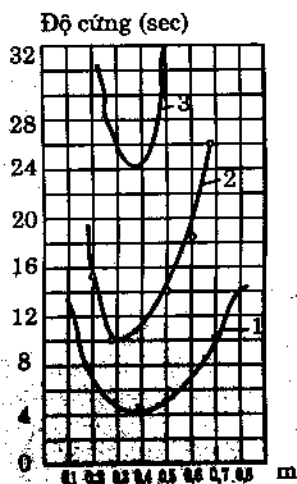
Cần đặc biệt chú ý khi chọn cấp phối bê tông là cần chọn cho được một cấp phối hạt cốt liệu hợp lý và lượng dùng nước tốt nhất vì hai nhân tố này quyết định cơ bản tính kinh tế và kỹ thuật của cấp phối bê tông. Lượng dùng xi măng với một



hoạt tính đã biết cũng tính từ lượng dùng nước trong hỗn hợp mà lượng dùng nước này phụ thuộc vào lượng nước yêu cầu của hỗn hợp và tính công tác yêu cầu.

### 5.3.2. Chọn cấp phối hợp lý của cốt liệu

Cấp phối hạt của hỗn hợp cốt liệu được xác định bởi cấp phối hạt của từng loại cốt liệu (lớn và bé) và tỉ lệ phối hợp giữa chúng. Một cấp phối hỗn hợp cốt liệu lý tưởng cần có đồng thời thể tích rỗng bé nhất và tổng tỉ diện bé nhất. Nhưng khó có thể đạt được một cấp phối như thế vì để giảm thể tích rỗng giữa các hạt cần có một số lượng khá lớn hạt mịn và như vậy sẽ làm tăng tổng tỉ diện của hỗn hợp cốt liệu. Cùng với sự tăng hàm lượng cát hay giảm độ lớn cỡ hạt, lượng cần nước của hỗn hợp cốt liệu tăng lên đáng kể. Với mỗi hỗn hợp bê tông có một hàm lượng cát tối ưu và cấp phối được chọn chỉ cho phép lệch khỏi giá trị tối ưu này một phạm vi bé (hình 5-7). Với giá trị hàm lượng tối ưu này, tính công tác yêu cầu của hỗn hợp bê tông, độ đặc chắc và cường độ bê tông đạt được với lượng dùng xi măng và nước trong hỗn hợp bê tông bé nhất hoặc khi lượng dùng nước không đổi thì sẽ đạt được độ lưu động tốt nhất. Hàm lượng cát cần thiết trong hỗn hợp cốt liệu này phụ thuộc vào độ rỗng của cốt liệu lớn, tổng tỉ diện của nó, loại hỗn hợp bê tông, hàm lượng hồ xi măng trong hỗn hợp bê tông và chất lượng bản thân



Hình 5-7. Ảnh hưởng mức ngậm cát (m) với tính công tác của hỗn hợp khi lượng dùng nước không thay đổi.

- 1 - tỉ lệ xi măng và hỗn hợp cốt liệu 1:1
- 2 - tỉ lệ xi măng và hỗn hợp cốt liệu 1:1,5
- 3 - tỉ lệ xi măng và hỗn hợp cốt liệu 1:2

của cát. Hàm lượng cát tối ưu trong hỗn hợp cốt liệu được xác định qua những mẻ trộn thử với những điều kiện cụ thể.

Để xác định lượng dùng cát trong hỗn hợp cốt liệu, có thể sơ bộ chọn mức ngâm cát không bé hơn những giá trị cho ở bảng sau và điều chỉnh lại qua thí nghiệm, (bảng 5.6).

**Bảng 5.6**

*Tỷ lệ lượng dùng cát trong hỗn hợp cốt liệu  
(hay mức ngâm cát C/C + D)*

Lượng dùng xi măng cho 1m <sup>3</sup> bê tông xấp xỉ các giá trị (kg)	Mức ngâm cát ứng với 2 loại cốt liệu lớn khi D <sub>max</sub> bằng			
	Cuội sỏi		Đá dăm	
	20mm	40mm	20mm	40mm
200	0,36	0,34	0,4	0,37
250	0,34	0,32	0,38	0,36
300	0,32	0,3	0,36	0,34
350	0,30	0,29	0,35	0,33
400 và lớn hơn	0,29	0,28	0,34	0,32

Hàm lượng cát trong hỗn hợp cốt liệu hay tỉ số giữa cốt liệu bé và lớn có thể biểu thị gián tiếp dưới dạng hệ số K<sub>d</sub> của thể tích phần vữa cát trong hỗn hợp (cát + xi măng + nước) so với thể tích rỗng của cốt liệu lớn.

Đối với hỗn hợp bê tông tính cứng, hệ số K<sub>d</sub> lấy bằng 1,05 ÷ 1,1, hỗn hợp cứng vừa 1,15 ÷ 1,2. Với hỗn hợp bê tông dẻo trị số của K<sub>d</sub> phụ thuộc vào lượng dùng xi măng trong bê tông; lượng dùng xi măng lớn, giá trị của K<sub>d</sub> càng lớn, vì lượng xi măng tăng, lượng dùng nước tương ứng không đổi, hồ xi măng trở nên sệt hơn và bề mặt hạt được phủ một lớp dày hơn. Tất nhiên giá trị của hệ số K<sub>d</sub> phụ thuộc vào cỡ hạt của cát; hạt cát càng lớn, lớp bao bọc của vữa xi măng cát càng dày và mức độ giãn cách của hạt cũng càng lớn. Có thể chọn hệ số K<sub>d</sub> của hỗn hợp bê tông tính dẻo ở bảng 5.7.

Bảng 5.7

Lượng dòng xi măng cho 1m <sup>3</sup> bê tông (kg)	Hệ số K <sub>d</sub> của bê tông	
	Với dăm	Với cuội sỏi
250	1,30	1,34
300	1,36	1,42
350	1,42	1,48
400	1,47	1,52

Một hỗn hợp cốt liệu có cấp phối tốt có thể đạt được bằng cách phối hợp các cỡ hạt khác nhau theo một tỉ lệ hợp lý. Có hai loại cấp phối cốt liệu, cấp phối liên tục và cấp phối gián đoạn.

Một hỗn hợp cốt liệu có cấp phối liên tục trong đó có đủ các cấp hạt liên nhau. Một hỗn hợp như vậy phần rỗng giữa các hạt cốt liệu lớn hơn khó có thể lấp đầy bởi những hạt có kích thước bé hơn thuộc cấp liền nó, sẽ dẫn đến hiện tượng gián cách khá lớn giữa các hạt cốt liệu.

Hàm lượng các cấp hạt trong một cấp phối liên tục có thể xác định theo các phương trình sau :

- Phương trình Fuller :  $Y_i = 100 \left( \frac{d_i}{D} \right)^{0,5}$

- Phương trình Bolômây :  $Y_i = A + (100 - A) \left( \frac{d_i}{D} \right)^{0,5}$

trong đó :  $d_i$  là cỡ hạt mắt sàng  $i$  (mm) ;

$D$  là cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu (mm) ;

$A$  là hệ số đặc trưng chất lượng cốt liệu

$$A = 10 + 15\% ;$$

$Y_i$  là lượng lọt sàng có mắt sàng  $d_i$  (%).

Thực tế cho thấy, phần rỗng giữa các hạt ở cấp lớn hơn chỉ có thể lấp kín tốt nhất bởi cấp hạt có đường kính bé hơn

trong phạm vi từ  $6 \div 8$  lần (với cuội sỏi) và từ  $8 \div 10$  lần (với dăm). Vì thế với bê tông có  $D_{\max} = 40\text{mm}$  hỗn hợp cốt liệu nên phối hợp giữa ba cấp hạt :  $0,14 \div 0,315$  ;  $2,5 \div 5$  và  $20 \div 40$ . Với  $D_{\max} = 30\text{mm}$  khó chọn được ba cấp đạt được tỉ lệ cấp hạt trên. Một cấp phối như vậy gọi là cấp phối gián đoạn.

Việc sử dụng cấp phối gián đoạn sẽ dẫn đến việc loại bỏ một khối lượng lớn cốt liệu ở những cấp trung gian sàng lọc từ hỗn hợp cốt liệu có trong tự nhiên (sỏi) hoặc từ hỗn hợp do đập đá thiên nhiên ra và như vậy chi phí về vật liệu sẽ rất lớn mà yêu cầu về mặt kinh tế không cho phép.

Vì vậy, nên sử dụng hỗn hợp cốt liệu có cấp phối nửa gián đoạn là hỗn hợp của cốt liệu lớn, bé trong đó thiếu một đến hai cấp trung gian và phối hợp theo một tỉ lệ thích hợp.

Phương pháp đúng đắn nhất để chọn một tỉ lệ hợp lý các cấp hạt của hỗn hợp cốt liệu tức là trộn trực tiếp các cấp hạt theo những tỉ lệ thay đổi. Hỗn hợp nào có độ đặc chắc lớn nhất hay có khối lượng thể tích khô lớn nhất với cùng mức độ đầm chặt là hỗn hợp tốt nhất.

### **5.3.3. Xác định lượng dùng nước cần thiết cho hỗn hợp bê tông**

*Để xác định lượng nước nhào trộn hỗn hợp bê tông cần tiến hành theo các bước sau :*

**a) Xác định tính công tác của hỗn hợp bê tông** (độ lưu động xác định bằng độ sụt hình nón cụt (cm) hoặc độ cứng tính theo sec).

Chỉ tiêu tính công tác của hỗn hợp bê tông được lựa chọn căn cứ vào hình dạng, kích thước kết cấu, mật độ cốt thép, phương pháp tạo hình và có thể lựa chọn sơ bộ theo các bảng cho sẵn theo kinh nghiệm tạo hình, thi công, (xem bảng 5.8).

**Bảng 5.8**

Dạng cấu kiện và phương pháp tạo hình	Độ cứng ĐC (sec)	Độ sụt SN (cm)
- Cấu kiện bê tông cốt thép cần tháo khuôn sớm	20÷10	0
- Tấm lát mặt đường ôtô, đường băng sân bay	10÷6	1÷2
- Bê tông toàn khối ít cốt thép	6÷4	2÷4
- Cột, dầm, bản bê tông cốt thép	≤ 4	4÷8
- Bê tông nhiều cốt thép	< 2	8÷10
- Cấu kiện lắp ghép nhà ở	-	12÷18
- Bê tông dày cốt thép	-	18÷24

**b) Xác định lượng dùng nước sơ bộ :** Căn cứ vào chỉ tiêu tính công tác của hỗn hợp bê tông và đặc tính cơ bản của cốt liệu (loại  $D_{max}$ , lượng cần nước) nhờ các bảng, các biểu đồ cho sẵn xác định sơ bộ lượng dùng nước nhào trộn cho  $1m^3$  hỗn hợp bê tông.

Ví dụ : biểu đồ hình 5-8.

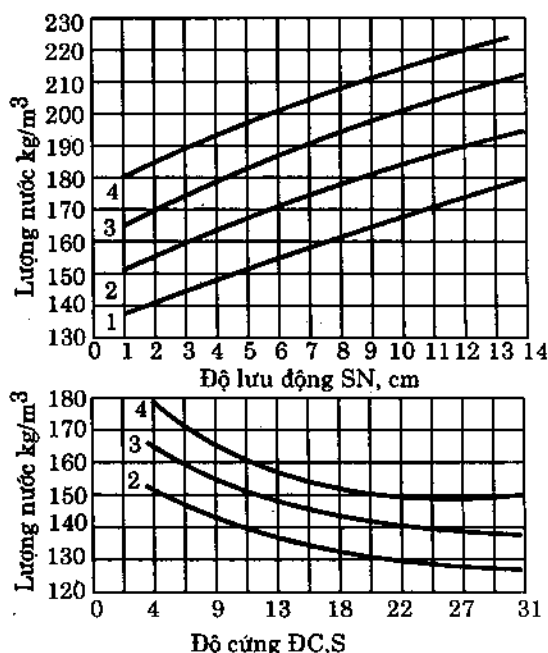
- Lượng nước xác định theo biểu đồ này phù hợp với hỗn hợp bê tông xi măng poocăng, cốt liệu lớn là sỏi và cát có lượng cần nước  $N_c = 7\%$ .

- Khi dùng xi măng poócăng puzolan hoặc poócăng xi, tăng lượng dùng nước  $15 \div 20$  lít.

- Khi dùng cốt liệu lớn là đá dăm, lượng dùng nước tăng thêm  $10 \div 15$  lít.

- Nếu dùng cát có  $N_c$  lớn hơn (hoặc bé hơn)  $7\%$  thì cứ  $1\%$  tăng (hoặc giảm) của  $N_c$ , lượng dùng nước nhào trộn tăng (hoặc giảm) tương ứng 5 lít.

Với lượng dùng nước sơ bộ này, nhào trộn thử một số mẻ trộn và điều chỉnh dần cho đến khi hỗn hợp bê tông đạt chỉ tiêu tính công tác yêu cầu. Ngoài ra cũng cần kiểm tra tính



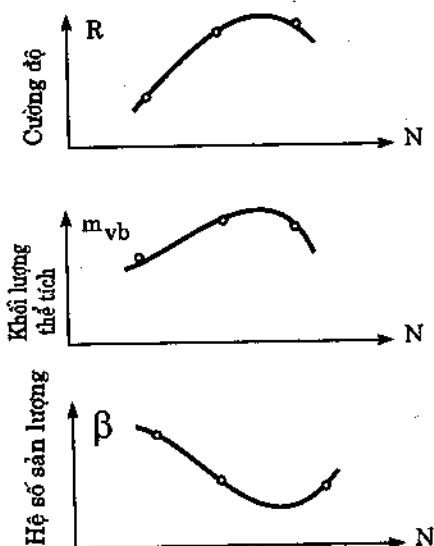
Hình 5-8. Lượng nước dùng cho hỗn hợp bê tông sử dụng xi măng poóc-lăng cát trung bình và sỏi có đường kính lớn nhất.

a - hỗn hợp dẻo ; b - hỗn hợp cứng

1.  $D_{\max}$  70mm ; 2.  $D_{\max}$  40mm ; 3.  $D_{\max}$  20mm ; 4.  $D_{\max}$  10mm.

công tác của hỗn hợp bê tông có phù hợp với điều kiện sản xuất hay không.

Để xác định lượng dùng nước tối ưu ứng với một chế độ đầm chặt nhất định thỏa mãn được yêu cầu về tính công tác, cần thí nghiệm với ba mẻ trộn : mẻ thứ nhất với lượng dùng nước sơ bộ, hai mẻ kia với hai giá trị khác nhau của lượng dùng nước lớn và bé hơn lượng dùng nước sơ bộ. Lượng dùng nước tối ưu đối với một phương pháp đầm chặt nhất định là lượng dùng nước ứng với một hỗn hợp bê tông đặc chắc nhất tức là có khối lượng thể tích lớn nhất và hệ số sản lượng bé nhất, đồng thời cho cường độ bê tông lớn nhất (hình 5-9).



Hình 5-9. Biểu đồ thực nghiệm xác định lượng dùng nước tốt nhất.

#### 5.3.4. Xác định cấp phối bê tông bằng phương pháp tính toán kết hợp thực nghiệm và tính toán sơ bộ theo thể tích tuyệt đối

Một trong những phương pháp xác định cấp phối bê tông xi măng từ cốt liệu đặc chắc phổ biến nhất là phương pháp tính toán kết hợp thực nghiệm của B. G. Skramtaev, trong đó lượng dùng vật liệu ban đầu được tính theo thể tích tuyệt đối.

Chọn cấp phối bê tông theo phương pháp này được tiến hành theo ba bước sau :

##### 1. Tính sơ bộ lượng dùng vật liệu cho $1m^3$ bê tông

a) Nhờ biểu đồ hoặc bảng cho sẵn, chọn sơ bộ lượng dùng nước cho  $1m^3$  hỗn hợp bê tông thỏa mãn yêu cầu tính

công tác (độ lưu động hay độ cứng) ở trạng thái đầm chặt (hình 5-8).

b) Dựa vào yêu cầu về cường độ bê tông, thời hạn đạt cường độ thiết kế và các giá trị cường độ trung gian khác (ví dụ : cường độ khi tháo khuôn, khi giao hàng...), điều kiện rắn chắc và hoạt tính của xi măng để quyết định tỉ lệ N/X hay X/N.

Có thể tính sơ bộ giá trị X/N (hoặc N/X) theo công thức của Bôlômây - Skramtaev hoặc L. A. Kaixe :

$$\frac{X}{N} = \frac{R_{28} + 0,5AR_x}{A \cdot R_x} \quad (\text{khi } X/N \text{ nhỏ hơn hay bằng } 2,5)$$

$$\frac{X}{N} = \frac{R_{28} - 0,5A_1R_x}{A_1 \cdot R_x} \quad (\text{khi } X/N \text{ lớn hơn } 2,5)$$

hoặc 
$$\frac{X}{N} = \frac{R_{28} + 80}{0,23R_x + 100} \quad (\text{khi } X/N \text{ nhỏ hơn hay bằng } 2,5)$$

$$\frac{X}{N} = \frac{R_{28} + 80(1 - \Delta R_p)}{(1 - \Delta R_p) \cdot (0,23R_x + 100)} \quad (\text{khi } X/N \text{ lớn hơn } 2,5).$$

c) Từ hai trị số của N và X/N đã biết tính được lượng dùng xi măng cho  $1m^3$  bê tông :

$$X = N \frac{X}{N} \quad (\text{kg})$$

d) Xác định sơ bộ lượng dùng cốt liệu lớn.

- Dựa theo giả thiết tổng thể tích tuyệt đối của các thành phần vật liệu cần cho  $1m^3$  bê tông (xi măng, nước, cốt liệu bé, cốt liệu lớn) tạo nên một thể tích đặc chắc và đúng bằng 1000 lít (bỏ qua một thể tích không lớn của không khí lọt vào trong hỗn hợp bê tông) nên có thể viết :

$$\frac{X}{\rho_x} + \frac{N}{\rho_n} + \frac{C}{\rho_c} + \frac{D}{\rho_d} = 1000 \quad (1)$$



Thể tích vữa xi măng cát trong  $1\text{m}^3$  hỗn hợp bê tông lấp đầy các phần rỗng của cốt liệu lớn và bao bọc xung quanh hạt cốt liệu lớn biểu thị gián tiếp dưới dạng hệ số dư ( $k_d$ ) của thể tích vữa xi măng cát trong hỗn hợp so với thể tích rỗng  $V_r$  của cốt liệu lớn.

$$\frac{X}{\rho_x} + \frac{N}{\rho_n} + \frac{C}{\rho_c} = \frac{D}{\rho_{vd}} \cdot r_d \cdot k_d \quad (2)$$

trong đó : X, N, C, D là lượng dùng xi măng, nước, cát, cốt liệu lớn cho  $1\text{m}^3$  bê tông tính theo kg ;

$\rho_x$  ;  $\rho_n$  ;  $\rho_c$  ;  $\rho_d$  là khối lượng riêng của xi măng, nước, cát, cốt liệu lớn tính bằng kg/l ;

$\rho_{vd}$  là khối lượng thể tích đồ đồng của cốt liệu lớn kg/l ;

$r_d$  là độ rỗng của cốt liệu lớn (hay thể tích rỗng của cốt liệu lớn trong một đơn vị thể tích bê tông) ;

$k_d$  - hệ số dư của vữa xi măng cát.

- Giải hệ hai phương trình (1) và (2) có thể xác định được lượng dùng sơ bộ cốt liệu lớn cho  $1\text{m}^3$  bê tông :

$$\begin{aligned} D &= \frac{1000}{\frac{r_d}{\rho_{vd}} \cdot k_d + \frac{1}{\rho_d}} = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_{vd}} \left[ r_d \cdot k_d + \frac{\rho_{vd}}{\rho_d} \right]} \\ &= \frac{1000 \rho_{vd}}{r_d \cdot k_d + (1 - r_d)} = \frac{1000 \rho_{vd}}{r_d \cdot (k_d - 1) + 1} \quad (\text{kg}) \end{aligned} \quad (3)$$

- Có được lượng dùng cốt liệu lớn, có thể tính ngay được lượng dùng cốt liệu bé (cát) cho  $1\text{m}^3$  bê tông :

$$C = \left[ 1000 - \left( \frac{X}{\rho_x} + \frac{N}{\rho_n} + \frac{D}{\rho_d} \right) \right] \rho_c \quad (\text{kg})$$

## 2) Điều chỉnh các thông số cấp phối

Để điều chỉnh các thông số cấp phối bê tông, cần chuẩn bị những mẻ trộn thử. Số lượng mẻ trộn phụ thuộc vào mức độ chính xác yêu cầu của cấp phối bê tông.

- Đối với những nhà máy có nguồn cung cấp ổn định và bảo quản tốt nguyên vật liệu thì chỉ cần trộn thử để điều chỉnh lượng dùng nước cần thiết và giá trị  $X/N$ , bảo đảm cường độ yêu cầu của bê tông với xi măng đem dùng.

- Để xét đầy đủ ảnh hưởng các nhân tố chưa được đưa vào các công thức tính toán, cần tiến hành các thí nghiệm về cường độ để lập được mối quan hệ giữa  $R_b = f. (X/N)$  qua những mẫu bê tông đúc từ vật liệu đã có, theo một phương thức đầm chặt và chế độ dưỡng hộ nhất định. Cần chuẩn bị ba mẻ trộn 10 ÷ 15 lít với ba giá trị của  $X/N$  khác nhau : một giá trị tính được và hai giá trị khác : bé và lớn hơn  $\pm 0,05$ . Ở mỗi một mẻ trộn cần kiểm tra lượng dùng nước cần thiết để bảo đảm đạt được tính công tác cần thiết của hỗn hợp bê tông. Từ đó thì quan hệ  $R_b = f(X/N)$  lập được qua thí nghiệm trên, ta chọn được giá trị  $X/N$  ứng với cường độ yêu cầu của bê tông trong các điều kiện cụ thể được đưa vào thí nghiệm.

Nếu quan hệ này đã thành lập được, chỉ cần một mẻ trộn để điều chỉnh lượng dùng nước và xi măng.

Nếu lượng dùng nước và xi măng ban đầu không đủ thì điều chỉnh bằng cách thêm dần nước và xi măng vào hỗn hợp cho đến khi đạt yêu cầu. Nếu trong hỗn hợp ban đầu thừa nước và xi măng thì điều chỉnh bằng cách bổ sung một lượng nhất định cốt liệu lớn và bé tức là giảm tương ứng lượng nước và xi măng để hỗn hợp đạt những tính chất yêu cầu.

Cũng bằng con đường thí nghiệm qua các mẻ trộn thử, yêu cầu xác định một tỉ lệ tốt nhất của hỗn hợp cốt liệu lớn và bé. Số lượng mẻ trộn cần cho thí nghiệm này là 9; 3 nhóm với ba giá trị khác nhau của trị số  $X/N$  (như thí nghiệm trên) và mỗi nhóm ba mẻ với những giá trị khác nhau của hàm lượng cát trong hỗn hợp có thể với ba giá trị khác nhau của  $k_d$  (một giá trị lấy theo bảng tra, hai giá trị kia lấy lệch đi so với giá trị trong bảng  $\pm (10 \div 15\%)$ ). Ở mỗi mẻ trộn (trong 9 mẻ) đều có điều chỉnh lượng dùng nước (xi măng) để đạt được tính công tác yêu cầu.

Qua xác định cường độ những mẫu bê tông thí nghiệm chọn được một cấp phối tốt nhất là cấp phối bảo đảm thỏa mãn mọi chỉ tiêu yêu cầu kỹ thuật của bê tông với lượng dùng xi măng bé nhất.

### 3) Xác định lượng vật liệu cho $1m^3$ và quyết định cấp phối của nó

Đầu tiên xác định khối lượng thể tích thực tế của hỗn hợp bê tông từ những mẻ trộn thử sau khi đầm chặt theo một trong những phương pháp tương ứng hoặc gần với phương thức thành hình sản phẩm trong điều kiện sản xuất, từ đó có thể tính thể tích thực tế của hỗn hợp bê tông của mẻ thử

$$V_{hh} = \frac{\sum P}{m_{vhh}}$$

trong đó :  $\sum P$  - tổng khối lượng vật liệu tạo nên mẻ trộn kể cả nước ;

$m_{vhh}$  - khối lượng thể tích thực tế của hỗn hợp bê tông đã đầm chặt.

Biết được thể tích hỗn hợp và liều lượng các thành phần của mẻ trộn, xác định liều lượng thực tế của vật liệu cho  $1m^3$  bê tông và cấp phối theo tỉ lệ khối lượng, lấy khối lượng xi măng làm đơn vị  $\left(1 : \frac{C}{X} : \frac{D}{X} : \frac{N}{X}\right)$ .

Sau đó đúc mẫu kiểm tra cường độ bê tông ở tuổi 28 ngày hoặc ở một tuổi nào đó từ mẻ trộn có cấp phối tốt nhất để kiểm tra mác bê tông.

### 5.3.5. Xác định cấp phối bê tông theo phương pháp lựa chọn hợp lý thông số hàm lượng không khí trong hỗn hợp

Trong quá trình nhào trộn, đổ khuôn và đầm chặt, một lượng không khí sẽ thâm nhập vào hỗn hợp bê tông, làm giảm cường độ nén và nhất là cường độ chịu kéo của bê tông. Vì vậy khi thiết kế cấp phối bê tông, tùy thuộc vào tính

chất của nguyên vật liệu và của hỗn hợp bê tông, cần không chế hợp lý hàm lượng khí này, thông qua chỉ số về độ rỗng khí  $\varepsilon$  % :

$$\varepsilon = \frac{V_k}{V_x + V_n + V_g + V_k} \cdot 100\% \quad (1)$$

trong đó :  $V_x$  ;  $V_n$  ;  $V_g$  ;  $V_k$  là thể tích tuyệt đối của xi măng, nước, cốt liệu và không khí trong  $1m^3$  hỗn hợp bê tông, do đó :

$$V_x + V_n + V_g + V_k = 1 \quad (2)$$

Từ (1) ta có :  $V_x + V_n + V_g + V_k = \frac{100 \cdot V_k}{\varepsilon}$

hay  $V_x + V_n + V_g = V_k \cdot \left( \frac{100}{\varepsilon} - 1 \right) = V_k \cdot \left( \frac{100 - \varepsilon}{\varepsilon} \right)$

Vậy :  $V_k = (V_x + V_n + V_g) \cdot \left( \frac{\varepsilon}{100 - \varepsilon} \right) \quad (3)$

• Khối lượng của  $1m^3$  hỗn hợp bê tông :

$$m_v = X + N + G = X \left( 1 + \frac{N}{X} + \frac{G}{X} \right)$$

trong đó X, N, G là lượng dùng xi măng, nước, cốt liệu cho  $1m^3$  hỗn hợp bê tông (kg).

Ký hiệu  $\omega = \frac{N}{X}$  và  $\mu = \frac{G}{X}$

Ta có  $m_v = X(1 + \omega + \mu)$

$$X = \frac{m_v}{1 + \omega + \mu} \quad (4)$$

Mặt khác :  $m_v = \frac{m}{V} = \frac{X + N + G}{V_x + V_n + V_g + V_k} \quad (5)$

Thay giá trị  $V_k$  ở (3) vào (5) ta có :

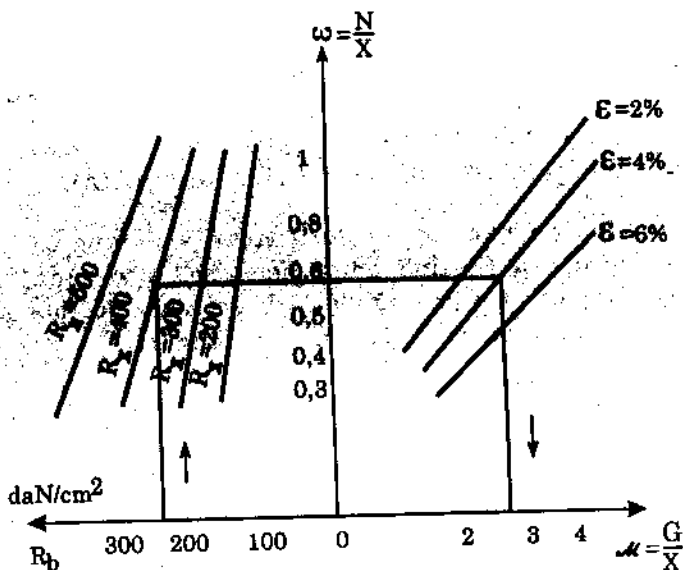
$$m_v = \frac{X(1 + \omega + \mu)}{(V_x + V_n + V_g) \cdot \left( 1 + \frac{\varepsilon}{100 - \varepsilon} \right)} = \frac{X(1 + \omega + \mu)}{\left( \frac{X}{\rho_x} + \frac{N}{\rho_n} + \frac{G}{\rho_g} \right) \cdot \left( \frac{100}{100 - \varepsilon} \right)}$$

$$m_v = \frac{(1 + \omega + \mu)}{\left(\frac{1}{\rho_x} + \frac{\omega}{\rho_n} + \frac{\mu}{\rho_g}\right) \cdot \left(\frac{100}{100 - \varepsilon}\right)} \quad (6)$$

Thay (6) vào (4) ta có lượng dùng xi măng của  $1m^3$  hỗn hợp bê tông là :

$$X = \frac{\frac{100 - \varepsilon}{100}}{\frac{1}{\rho_x} + \frac{\omega}{\rho_n} + \frac{\mu}{\rho_g}} \quad (7)$$

Lượng nước nhào trộn hỗn hợp bê tông phụ thuộc vào lượng cần nước của nguyên vật liệu và yêu cầu tính công tác. Gọi A và B là hệ số biểu thị lượng cần nước của xi măng và cốt liệu,  $N_{hh}$  là lượng cần nước của hỗn hợp bê tông ta có :



Hình 5-10

Biểu đồ quan hệ giữa cường độ bê tông tỷ lệ  $\frac{N}{X}$  và  $\frac{G}{X}$ .

$$(6) \quad N_{hh} = A \cdot X + B \cdot G = X \left( A + B \cdot \frac{G}{X} \right)$$

$$\omega = \frac{N}{X} = A + B \cdot \mu \quad (8)$$

Như vậy mối quan hệ giữa  $\omega$  và  $\mu$  là tuyến tính.

Từ quan hệ  $R = f(\omega)$  và  $\omega = f(\mu)$ , bằng thực nghiệm ta có thể lập biểu đồ thể hiện các mối quan hệ này với những giá trị khác nhau của các xi măng ( $R_x$ ) và độ rỗng khí trong hỗn hợp bê tông ( $\varepsilon$ ). (Hình 5-10).

Từ biểu đồ đã thiết lập được, căn cứ cường độ yêu cầu và mác xi măng sử dụng xác định  $\omega = N/X$  thích hợp và theo yêu cầu của độ rỗng khí tìm giá trị ( $\mu$ ). Với các giá trị đã xác định, tính  $X$  theo công thức (7). Có  $\mu$  và  $\omega$  tính được lượng dùng nước và lượng dùng hỗn hợp cốt liệu. Thay đổi hàm lượng cát trong hỗn hợp cốt liệu, với ( $\mu$ ) không đổi, bảo đảm yêu cầu tính công tác và cường độ và chọn cấp phối có lượng dùng xi măng ít nhất.

#### 5.4. MỘT SỐ LOẠI BÊ TÔNG THÔNG DỤNG KHÁC CỦA BÊ TÔNG XI MĂNG CỐT LIỆU ĐẶC CHẮC

Để đáp ứng nhu cầu sử dụng trong xây dựng cơ bản, thỏa mãn các yêu cầu về tính năng riêng biệt cho từng loại công trình và những phạm vi sử dụng khác nhau đòi hỏi sản xuất một số loại bê tông xi măng chuyên dụng như :

- Bê tông mác cao
- Bê tông hạt nhỏ
- Bê tông chịu axit, chịu muối, chịu kiềm
- Bê tông chống cháy
- Bê tông pôlime.

##### 5.4.1. Bê tông mác cao

Là bê tông có mác từ 600 + 800. Giới hạn của cường độ bê tông phụ thuộc vào trình độ phát triển của khoa học kỹ thuật sản xuất xi măng, bê tông và bê tông cốt thép. Trước

đây không lâu, bê tông mác 400 đã được liệt vào loại bê tông mác cao. Nhưng hiện nay loại bê tông mác 400 được sử dụng rộng rãi trong thực tế và trở nên loại bê tông thường và trong tương lai không xa cùng với sự phát triển sản xuất các loại xi măng có hoạt tính cao, bê tông mác 800 trở lên mới được liệt vào loại bê tông mác cao.

Cùng với việc ngày càng hoàn thiện những phương pháp tính toán kết cấu, việc sử dụng bê tông mác cao cho phép giảm nhỏ tiết diện cấu kiện, giảm khối lượng bê tông và khối lượng công trình, nâng cao giá trị sử dụng và do đó mở rộng phạm vi sử dụng bê tông cốt thép.

Bê tông mác cao do cấu trúc rất đặc chắc nên có tính bền vững cao và ổn định tốt trong các môi trường xâm thực. Bê tông mác cao chế tạo từ xi măng có hoạt tính lớn và có tỉ lệ  $N/X$  bé, nên cũng đồng thời là bê tông rắn nhanh.

Mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông mác cao có hàm lượng cốt liệu  $0,85 \div 0,95 \text{ m}^3$  trong  $1\text{m}^3$  bê tông từ  $400 \cdot 10^3 \div 500 \cdot 10^3 \text{ daN/cm}^2$ .

Mặc dù lượng dùng xi măng trong bê tông mác cao lớn nhưng độ co ngót không lớn và có trường hợp bé hơn bê tông thường do trị số  $N/X$  bé và hàm lượng dăm lớn.

Một đặc điểm về công nghệ của bê tông mác cao là chế tạo được bê tông có cường độ bằng và thậm chí có trường hợp vượt quá mác của xi măng chế tạo nên nó do sử dụng vật liệu có chất lượng cao và tạo nên một kết cấu bê tông hợp lý, phát huy cao nhất những tính năng của vật liệu. Trong cấu trúc của bê tông mác cao, hàm lượng cốt liệu lớn đặc chắc đạt đến mức bão hòa tạo nên khung cứng liên tục, nhờ đó cường độ bê tông trên thực tế có thể nâng cao lên  $15 \div 20\%$ . Mặt khác với một giá trị tỉ lệ  $N/X$  bé (trong giới hạn từ  $0,3 \div 0,4$ ) đá xi măng sẽ đạt được độ đặc chắc lớn nhất và cường độ cao, nhờ đó có thể hạn chế lượng dùng xi măng trong giới hạn từ  $600 \div 650 \text{ kg}$  cho  $1\text{m}^3$  bê tông làm cho bê tông đạt được mức độ đặc chắc cao cả về cấu trúc vì mô lãn vì mô.

Để giảm được hàm lượng nước ban đầu và lượng nước yêu cầu của hỗn hợp bê tông mác cao cần :

- 1) Sử dụng bê tông tính cứng và cứng vừa.
- 2) Sử dụng cốt liệu lớn được rửa sạch có cấp phối tốt (2-3 cấp hạt) với độ rỗng bé nhất (trong phạm vi  $37 + 38\%$ ).
- 3) Giảm đến mức tối đa hàm lượng vữa trong bê tông nhờ cấp phối hạt tối ưu của cốt liệu lớn và hạ thấp  $k_d$  đến 1,2, do đó có thể tăng mật độ của cốt liệu lớn trong hỗn hợp bê tông (đến 0,85 - 0,90).
- 4) Đồng thời với việc giảm hàm lượng cát trong hỗn hợp cốt liệu, sử dụng cát hạt lớn rửa sạch có cấp phối tốt.

5) Sử dụng xi măng có mác cao nhất với độ đặc tiêu chuẩn không vượt quá 25 - 25,5%.

6) Trong trường hợp có thể được, nên sử dụng các chất phụ gia hoạt tính bề mặt tăng dẻo ví dụ : S. S. B với liều lượng 0,2% khối lượng xi măng, hoặc phụ gia siêu dẻo.

Do bê tông mác cao có tính công tác kém và do hàm lượng thành phần vữa ít nên cần sử dụng phương pháp thành hình chấn động bảo đảm đạt hệ số đầm chặt cao (không nhỏ hơn 0,98 + 0,99). Để nâng cao chất lượng hỗn hợp, bảo đảm tính đồng nhất nên dùng máy nhào trộn cưỡng bức và thời gian nhào trộn không nhỏ hơn 5-6 phút.

Chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm và sự rắn chắc tiếp tục của sản phẩm cần bảo đảm để xi măng được thủy hóa hoàn toàn.

Cần chú ý là nếu tiếp tục nâng cao mác chịu nén của bê tông (ví dụ đến 900 + 1000) cường độ chịu kéo của nó sẽ giảm tỉ lệ với sự tăng cường độ chịu nén và do đó cần có biện pháp để nâng cao khả năng chống lại ứng suất kéo trong bê tông (ví dụ : tìm những dạng xi măng mới, tăng cường cốt thép trong bê tông).

#### 5.4.2. Bê tông cốt liệu bé

Cùng với sự phát triển kết cấu không gian kích thước lớn bằng bê tông cốt thép đã xuất hiện những kết cấu mái nhịp



lớn dạng vòm, kết cấu vỏ mỏng với chiều dày  $20 + 30\text{mm}$  và những sản phẩm có chiều dày bé khác dẫn đến nhu cầu về loại bê tông đặc chắc, có cường độ cao, cốt liệu bé với cỡ hạt lớn nhất không được quá  $10\text{mm}$  và thực tế chỉ nên  $5 + 7\text{mm}$  (có khi  $3\text{mm}$ ).

- Đặc điểm của bê tông cốt liệu bé là có tổng tỉ diện cốt liệu cao và có thể tích rỗng giữa các hạt lớn, do đó cần tăng hàm lượng hồ xi măng trong hỗn hợp so với bê tông thường.

- Bê tông cốt liệu nhỏ còn có đặc điểm là có độ đồng nhất về cấu tạo và có sự phân bố đều đặn của hạt cốt liệu nhờ đó giảm được ứng suất tập trung tại chỗ tiếp xúc giữa đá xi măng và cốt liệu.

Để giảm nhỏ lượng dùng hồ xi măng trong hỗn hợp bê tông cốt liệu bé, cần đặc biệt chú ý tới phẩm chất cốt liệu và cần xác định một cấp phối hạt cốt liệu tốt nhất, đồng thời tận dụng giảm nhỏ lượng nước nhào trộn bằng cách sử dụng các loại phụ gia hoạt tính bề mặt và sử dụng loại hỗn hợp tính cứng và cứng vừa bằng cách đầm chặt có hiệu quả khi thành hình để giảm chiều dày lớp xi măng giữa các hạt cốt liệu và tăng được mật độ thể tích cốt liệu.

Bê tông cốt liệu bé có cường độ chịu kéo bằng từ  $0,07 + 0,1$  cường độ nén (với bê tông mác  $600 + 400$ ).

- Lực dính kết giữa bê tông cốt liệu bé và cốt thép khoảng  $0,15R_{tn}$  (với cốt trơn) và  $0,2 + 0,3$  với cốt có gờ.

- Mô đun đàn hồi với loại bê tông có N/X nhỏ và có cỡ hạt trung bình của hỗn hợp cốt liệu lớn sẽ không bé hơn so với bê tông thường.

- Độ co ngót :  $0,4 + 0,7\text{mm/m}$  ở tuổi một tháng.

Một dạng của bê tông cốt liệu bé là xi măng lưới thép, đó là bê tông lưới thép có cường độ nén và kéo đều cao, nhờ độ cứng tiết diện lớn nên khả năng chịu lực cao, được dùng phổ biến trong những kết cấu không gian rất mỏng có hình dạng phức tạp.

Cốt thép có đường kính từ  $0,8 \div 1\text{mm}$  được đan thành lưới mắt cáo có độ lớn  $1\text{cm}$  và có thể bố trí nhiều lớp lưới cốt thép trong một cấu kiện. Cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu không lớn hơn  $2,5 \div 3\text{mm}$  và hỗn hợp cần có tính công tác tốt (độ sụt tối thiểu  $\text{SN} = 2 \div 3\text{cm}$ ).

### 5.4.3. Bê tông trang trí

Bê tông trang trí được sử dụng để ốp, lát tường ngoài của những tòa nhà và một số chi tiết bên trong như bậc cầu thang, sàn gác, bậc cửa sổ, bản lát cho sàn ở tiền sảnh.

Sử dụng bê tông trang trí thực chất là trang trí bề mặt công trình, gồm hai khâu : chọn vật liệu thích hợp (chú trọng đến yêu cầu mỹ quan) và gia công bề mặt. Có hai dạng cơ bản của bê tông trang trí.

1) **Khảm bề mặt** : Cốt liệu trong bê tông loại này chiếm tỉ lệ cao và không có cát mà chọn những hạt cốt liệu lớn từ đá cứng chắc như granít, cẩm thạch. Sau khi bê tông rắn chắc, làm sạch, mài mịn, đánh nhẵn lớp bề mặt sẽ có được một mặt khảm các loại đá.

2) **Vữa màu** : Cốt liệu là cát thô và có khi là những hạt đá vụn từ  $2 \div 5\text{mm}$ . Loại này được sử dụng để phun lên bề mặt định trang trí tạo thành một mặt mấp mô, sần sùi.

Bê tông trang trí cần có màu sáng, đẹp và cũng cần bền chắc, chịu được những tác dụng của điều kiện khí hậu và có khi chịu tác dụng bào mòn. Ngoài ra lớp bề mặt cũng cần đủ chắc để gia công cơ học (mài nhẵn, cạo xát mạnh) không bị hư hỏng. Bê tông trang trí thường có mác  $150 - 200$ .

Chất kết dính cho bê tông trang trí thường là xi măng poóc-lăng trắng hoặc xi măng màu hoặc dùng những sắc tố vô cơ tự nhiên với một hàm lượng lớn ôxit màu, ví dụ : sắc tố chứa ôxit sắt sẽ cho màu vàng, màu gạch nung hoặc đỏ, ôxit crôm màu lục ; ôxit mangan màu đen... Sắc tố vô cơ không làm giảm cường độ và thời gian ninh kết của xi măng.

Việc chọn cốt liệu cho bê tông trang trí rất quan trọng : không những chỉ xét đến cường độ và độ bền mà cần chú ý đến màu sắc, cỡ hạt, cấp phối hạt.

Đối với loại khảm, cần dùng hỗn hợp cốt liệu có kích thước khác nhau dưới dạng những hạt đá vụn từ đá vụn trắng và màu, hoặc đá granit màu, đá vôi và dolômít đặc chắc tiện cho việc mài nhẵn. Tổng bề mặt hạt đá trong bê tông này không bé hơn 60 - 65% bề mặt bê tông.

Với loại "vữa màu", cốt liệu là những hạt đá vụn với  $D_{\max} = 10\text{mm}$ ; khi trang trí mặt thô có thể lấy  $D_{\max} = 15 - 20\text{mm}$ . Cốt liệu nhỏ trong bê tông này là cát từ đá cứng đập ra hoặc cát thiên nhiên màu sáng và sạch với kích thước hạt không bé hơn 0,3mm. Hỗn hợp vữa màu này thuộc loại cứng, lượng dùng nước ít.

Cách chọn cấp phối của bê tông trang trí giống như đối với bê tông thường.

#### 5.4.4. Bê tông chịu muối, axit, kiềm

Những kết cấu bê tông và bê tông cốt thép ở các cơ sở công nghiệp hóa chất, luyện kim màu, ở các phân xưởng điện phân tẩy rỉ của nhà máy chế tạo máy, trực tiếp chịu tác dụng của môi trường xâm thực như hơi axit bốc lên trong không khí với nồng độ cao, hoặc các dung dịch muối hoặc kiềm.

Trong điều kiện độ ẩm cao và nhất là nhiệt độ nâng cao, tác dụng xâm thực đối với bê tông và cốt thép trong công trình càng mạnh mẽ.

Với những công trình chịu tác dụng xâm thực, cần dùng loại bê tông có tính bền vững cao hoặc dùng bê tông đặc biệt chế tạo từ các loại xi măng chống xâm thực.

Những đặc trưng cơ bản của bê tông có tính bền vững cao là :

- Mức độ đặc chắc cao do lựa chọn kỹ cấp phối hạt và cỡ hạt cốt liệu từ vật liệu đá đặc chắc, giảm nhỏ tỉ lệ N/X, đầm chặt tốt khi thành hình và có thể cần sử dụng chất phụ gia hoạt tính bề mặt tăng dẻo (cụ thể là bã rượu sulphit S.S.B hoặc K.D.T<sub>2</sub> và các phụ gia tăng dẻo khác) để có thể giảm lượng dùng nước trong hỗn hợp.

• Có khả năng chống lại ứng suất kéo xuất hiện trong quá trình làm việc của công trình và do co ngót (nói chung cần hạn chế đến mức tối thiểu hiện tượng co ngót của bê tông).

Chất lượng cốt liệu (hình dạng hạt, độ sạch, trạng thái bề mặt và tính chất bám dính) cũng như mức xi măng có ảnh hưởng lớn đến tính bền vững hóa học của bê tông.

### 1) Yêu cầu của cốt liệu đối với tính bền vững hóa học

Với bê tông chống axit, cốt liệu lớn nên dùng đá dăm từ các gốc andêrit, tranhít, badan, diabagiô, gabrô... cốt liệu nhỏ nên dùng cát thạch anh hoặc cát đập vụn từ các loại đá kể trên. Hàm lượng cốt liệu đạt các yêu cầu chất lượng trên phải chiếm 94% khối lượng chung của cốt liệu.

Cốt liệu lớn đối với bê tông chịu kiềm và muối nên chọn từ đá trầm tích đặc chắc với độ hút nước không lớn hơn 0,5 + 1% theo khối lượng và yêu cầu chịu được 15 lần liên tiếp ngâm đến bão hòa dung dịch sunphát natri ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) rồi sấy khô ở nhiệt độ 105 + 110°C. Cốt liệu nhỏ phải là cát thạch anh hoặc cát từ các đá đặc chắc đập vụn ra, hàm lượng bụi, sét trong cốt liệu không lớn hơn 1% khối lượng.

### 2) Yêu cầu của chất kết dính đối với tính bền vững hóa học của bê tông.

Với bê tông chịu muối: thường là muối sunphát, tùy thuộc nồng độ muối và điều kiện công tác của kết cấu mà dùng xi măng poóc-lăng chịu sunphát hoặc xi măng poóc-lăng pudolan và khi nồng độ cao dùng xi măng bền sunphát và xi măng pudolan thạch cao.

- Với bê tông chịu axit: với nồng độ axit cao, dùng xi măng flosilicat thạch anh chịu axit chế tạo từ hỗn hợp nghiền mịn của cát thạch anh và natri flosilicat trộn với dung dịch silicat natri (thủy tinh lỏng).

- Bê tông xi măng poóc-lăng chịu được tác dụng của dung dịch kiềm yếu nhưng khi tăng cường độ kiềm ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ), đặc biệt là dung dịch có nhiệt độ cao, bê tông sẽ chịu tác dụng xâm thực mạnh. Người ta không sản xuất ra các loại xi măng

đặc biệt chịu xâm thực kiềm mà dùng các loại xi măng poóc-lăng có hàm lượng aluminat thấp cho bê tông chịu tác dụng xâm thực kiềm, đồng thời nâng cao độ đặc chắc của đá xi măng và bê tông. Không được sử dụng cốt liệu có hàm lượng silic cao (cát thạch anh, đá dăm granít) đặc biệt loại vô cơ định hình và cũng cần hạn chế số lượng tạp chất sét chứa nhiều aluminat và các aluminat. Cốt liệu bê tông trong môi trường kiềm nên chọn các loại đá cacbonat cũng như từ xỉ lò cao...

#### 5.4.5. Bê tông chịu lửa

Với những công trình bê tông phải làm việc lâu dài ở nhiệt độ cao, phải dùng bê tông có năng lực chịu lửa tốt. Tùy theo mức độ chịu lửa của bê tông mà chọn loại chất kết dính, phụ gia vô cơ nghiền mịn và loại cốt liệu.

Theo nghiên cứu của Nêkraxốp và qua thực tế sử dụng, xi măng poóc-lăng và xi măng poóc-lăng xỉ quặng có thể dùng để chế tạo bê tông chịu lửa sử dụng ở nhiệt độ 1200°C.

- Ở nhiệt độ  $t = 350^{\circ}\text{C}$  với mác bê tông  $100 + 150 \text{ daN/cm}^2$  có thể dùng cốt liệu là gạch vụn, xỉ lò cao.

Với mác đến  $250 \text{ daN/cm}^2$  dùng cốt liệu là đá badan, andêxít, diabazơ. Cỡ hạt cốt liệu không lớn hơn 20mm với kết cấu mỏng 40mm.

- Khi sử dụng ở  $700 + 800^{\circ}\text{C}$ , chất kết dính vẫn là xi măng poóc-lăng nhưng cần thêm chất phụ gia nghiền mịn từ xỉ lò cao, đá bột, còn cốt liệu vẫn dùng đá trên.

Ở nhiệt độ  $1200^{\circ}\text{C}$  cần dùng chất kết dính chịu lửa gồm hỗn hợp xi măng poóc-lăng và samốt nghiền mịn theo tỉ lệ 1:1, cốt liệu lớn, bé cũng dùng samốt.

- Ở nhiệt độ  $1600^{\circ}\text{C}$  cần dùng xi măng cao lanh có hàm lượng  $\text{Al}_2\text{O}_3$  không nhỏ hơn 75% không có phụ gia nghiền mịn và cốt liệu là các loại đá cao lanh crômmit.

Bê tông nhẹ cốt liệu rỗng và bê tông tổ ong cũng có khả năng chịu lửa.

Khi chọn cấp phối bê tông nặng chịu lửa cần chú ý là cùng với sự tăng hàm lượng xi măng, độ co ngót bê tông tăng và

tính chịu lửa giảm. Vì thế cần hạn chế hàm lượng xi măng trong bê tông và để bảo đảm cường độ yêu cầu nên dùng xi măng mác cao và dùng loại hỗn hợp bê tông ít lưu động.

Lượng dùng xi măng nên vào khoảng  $350\text{kg/m}^3$  bê tông và phụ gia nghiền mịn chịu lửa (ở nhiệt độ  $t^\circ = 700^\circ\text{C}$ ) chừng  $120\text{kg/m}^3$ . Lượng dùng cốt liệu (lớn, bé) từ 750 (với bê tông làm việc ở nhiệt độ cao nhất tới  $700^\circ\text{C}$ ) đến  $1370\text{kg/m}^3$  (với bê tông làm việc ở nhiệt độ  $1200^\circ\text{C}$ ).

#### 5.4.6. Bê tông xi măng pôlime

Để cải thiện những tính năng kỹ thuật của các loại bê tông thường và bê tông cốt liệu nhỏ người ta cho vào xi măng những chất phụ gia bằng polime tổng hợp. Tác dụng chủ yếu của chất phụ gia pôlime là :

- Nâng cao tính chịu kéo của bê tông và do đó tăng khả năng chống nứt cho bê tông. Một số loại phụ gia pôlime có thể đồng thời nâng cao cường độ chịu nén của bê tông.

- Giảm tính dòn, nâng cao khả năng chống va chạm, bào mòn và tăng biến dạng dẻo.

- Cải thiện đáng kể tính bám dính của bê tông.

- Nâng cao độ đặc chắc và tính chống thấm nước.

- Vì chất phụ gia pôlime là một hợp chất hữu cơ cao phân tử nên có tác dụng làm chậm sự phát triển cường độ bê tông, đặc biệt ở môi trường độ ẩm cao.

Do những đặc tính trên nên bê tông xi măng pôlime được sử dụng chủ yếu dưới dạng những lớp bảo vệ bên ngoài của bề mặt công tác của các cấu kiện bê tông thường.

*Chất phụ gia pôlime chia làm hai nhóm :*

- 1) Nhũ tương : ở dưới dạng phân tán loãng của pôlime, có tính đàn hồi cao, thường dùng là hai loại : nhũ tương từ pôlivinyl axetat và nhũ tương từ cao su tổng hợp, như nhựa divinylstirôn.

- 2) Các loại nhựa đông cứng hòa tan trong nước : như nhựa phenol, cácbamit, epôxít...

Tính chất cơ lý, biến dạng đàn hồi của bê tông xi măng pôlime phụ thuộc vào loại, số lượng chất phụ gia pôlime và chất ổn định cũng như chế độ rắn chắc và các nhân tố công nghệ khác.

Hiện nay loại phụ gia pôlime tương đối phổ biến nhất là nhũ tương pôlime.

Nhược điểm chung của các loại bê tông pôlime là tính ổn định trong nước kém, nhất là loại bê tông nhũ tương pôlivin axetat, do đó tốt nhất là chỉ nên sử dụng loại phụ gia này khi bê tông rắn chắc ở điều kiện khô, có độ ẩm tương đối của môi trường  $35 \div 40\%$ . Với những điều kiện rắn chắc trên và với một hàm lượng tốt nhất của phụ gia pôlivin axetat (chừng 20% khối lượng xi măng) cường độ kéo khi uốn của bê tông có thể tăng  $2 \div 3$  lần, cường độ kéo dọc trục gấp  $4 \div 8$  lần so với bê tông thường (thí nghiệm với bê tông cốt liệu bé). Còn  $R_{\text{nén}}$  của bê tông xi măng pôlime này cũng có thể tăng  $35 \div 40\%$  so với bê tông thường, đặc biệt là khả năng chống va chạm của nó có thể tăng lên từ  $5 \div 10$  lần. Nhưng ở độ ẩm tương đối của môi trường từ  $50 \div 60\%$ , cường độ nén và kéo của bê tông với phụ gia pôlivin axetat đều thấp hơn bê tông thường. Còn dyvinin stiron là một nhũ tương hỗn hợp của hai thành phần dyvinin và stiron theo một trong các tỉ lệ 30, 50, 65% stiron, ký hiệu CKC - 30, CKC - 50, CKC - 65 khi hàm lượng stiron tăng và dyvinin giảm cường độ đông cứng của nhựa tăng lên và tính đàn hồi lại giảm. Trong các loại trên thường dùng là CKC - 65. Bê tông pôlime từ nhũ tương dyvinin stiron có tính ổn định trong nước và chịu băng giá tốt hơn loại trên và điều kiện rắn chắc tốt nhất có thể ở độ ẩm tương đối cao của môi trường  $50 \div 60\%$ . Nói chung so với loại pôlivin axetat thì loại nhũ tương cao su tổng hợp này kém bền, kém cứng nhưng tính đàn hồi tốt, nên tốt nhất là sử dụng nó để tăng tính dẻo, tính biến dạng và khả năng chịu kéo của bê tông. Ngoài ra bê tông pôlime từ nhũ tương cao su tổng hợp này có khả năng chống thấm nước tốt nhưng làm chậm sự rắn chắc và sự phát triển cường độ ban đầu (trong  $7 \div 10$  ngày đêm) của bê tông, đặc biệt khi độ ẩm môi trường cao. Liều lượng

tốt nhất của loại phụ gia nhựa dyvinin stirôn này là  $10 \div 15\%$  so với khối lượng xi măng.

Một vấn đề hết sức quan trọng trong công nghệ bê tông xi măng pôlime là sự ổn định của nhũ tương pôlime, tránh hiện tượng nhũ tương tách khỏi các phần tử hỗn hợp bê tông khi nhào trộn, đặc biệt là với nhũ tương dyvinin stirôn. Vì vậy cần thêm vào hỗn hợp chất ổn định thích hợp, ví dụ : chất keo bảo vệ kadêinát amônác với lượng dùng  $5 \div 10\%$  khối lượng pôlime, chất ổn định này làm chậm đáng kể sự hình thành cấu trúc và sự phát triển cường độ dẻo của hỗn hợp bê tông. Cũng có thể sử dụng những chất điện phân dưới dạng pôtat xút làm chất ổn định, nhưng sự ổn định chỉ có được trong thời gian ngắn và hỗn hợp bê tông nhanh chóng mất đi tính công tác (tính dễ đổ khuôn). Chất ổn định thích hợp nhất là chất nhũ hóa... loại ОП 7 hay ОП 10 với lượng dùng 10% khối lượng chất pôlime, loại này sẽ hạ thấp có hiệu quả lượng cần nước của hỗn hợp bê tông.

Khi sử dụng chất phụ gia pôlime dạng nhũ tương, không nên chưng hấp bê tông ngay sau khi tạo hình mà cần bảo dưỡng tương đối lâu trong không khí hoặc sấy nhiệt sản phẩm trong khuôn một thời gian ngắn trước khi chưng hấp.

Sự rắn chắc của bê tông xi măng pôlime chế tạo từ pôlivinin axêtat hay nhựa dyvinin stirôn có những đặc tính riêng. Chất kết dính trong loại bê tông này gồm hai thành phần khác nhau về bản chất, về đặc tính rắn chắc và cả về tính chất vật liệu. Chất kết dính vô cơ ở dạng bột mịn được nhào trộn với nước và thể phân tán loãng của hỗn hợp chất hữu cơ cao phân tử. Khi nhào trộn kỹ hỗn hợp bê tông đến trạng thái đồng nhất, hai loại vật liệu này tác dụng lẫn nhau trong những khoảng thể tích rất bé của bê tông đông rắn. Xi măng tác dụng với nước (môi trường phân tán của pôlime) thủy hóa và tạo nên những mầm đá tinh thể của chất mới tạo thành. Cùng với sự liên kết với nước tạo nên những sản phẩm thủy hóa mới của xi măng và sự tách nước tự do trong hệ, các phần tử rắn của pôlime dính kết lại thành những màng mỏng đàn hồi, những màng mỏng này được phân bố ở những nơi tiếp xúc của những



mắm đá tinh thể đá xi măng và một phần ở các phần rỗng bê tông, tạo nên mối liên hệ bổ sung bền chắc và có tính đàn hồi trong đá xi măng cũng như giữa đá xi măng và cốt liệu.

Chất phụ gia pôlime ở dạng nhựa hòa tan trong nước cũng có hiệu quả đáng kể đối với bê tông xi măng. Nó tạo cho bê tông khả năng biến dạng dẻo lớn, tính chịu kéo được nâng cao, đồng thời làm tăng khả năng chịu nén nữa. Nhựa hòa tan trong nước này không làm xấu đi tính ổn định trong nước của bê tông xi măng pôlime, có tác dụng làm tăng dẻo mạnh mẽ hỗn hợp bê tông. Lượng dùng tốt nhất của phụ gia nhựa hòa tan trong nước này (tính theo chất khô) là  $1,5 \div 2,5\%$  so với khối lượng xi măng.

Sự rắn chắc của loại bê tông xi măng pôlime với chất phụ gia nhựa hòa tan trong nước này là kết quả của hai quá trình xảy ra đồng thời, đó là sự rắn chắc do thủy hóa các chất kết dính xi măng và sự rắn chắc trùng hợp của nhựa hòa tan trong nước bằng sự chuyển hóa thành dạng không hòa tan trong nước.

## Chương 6

# BÊ TÔNG SILICÁT

### 6.1. KHÁI NIỆM VÀ NHỮNG TÍNH CHẤT CƠ BẢN

Bê tông silicát là một loại bê tông không xi măng, được chế tạo từ chất kết dính vôi - silic và cốt liệu khoáng, rắn chắc trong buồng gia công nhiệt ẩm áp suất cao (avtôclav). Thành phần khoáng cơ bản của chất kết dính vôi - silic trong bê tông silicát là các hydrosilicat canxi  $[C_2SH(A), CSH(B), C_4S_5H_5...]$  được tạo thành do vôi tác dụng với silic nghiền mịn trong avtôclav.

Theo loại cốt liệu sử dụng bê tông silicát đặc có thể được phân ra hai loại :

- Bê tông silicát hạt nhỏ khi cốt liệu có  $D_{max} \leq 5 \text{ mm}$ , tức là chỉ dùng cốt liệu nhỏ.

- Bê tông silicát có cốt liệu lớn khi ngoài cốt liệu nhỏ còn dùng cả cốt liệu lớn  $D_{max} = 5 - 20\text{mm}$ .

Loại bê tông silicát cốt liệu lớn rất ít được sử dụng. Vì vậy trong chương này ta chỉ xét loại bê tông silicát hạt nhỏ và gọi tắt là bê tông silicát.

Cường độ của bê tông silicát cũng có thể đạt các giá trị tương đương cường độ của bê tông xi măng cốt liệu đặc chắc, mặc dù khối lượng thể tích của bê tông silicát nhỏ hơn  $10 \div 15\%$ . Có được tính chất ưu việt đó là do trong bê tông silicát hạt nhỏ, đá xi măng và cốt liệu có bề mặt tiếp xúc lớn hơn, có mối liên kết hóa học bền vững, cốt liệu và cấu tử silic có tính

đồng hình cao, tạo cho bê tông silicat có cấu trúc đồng nhất cao hơn.

Cường độ nén của bê tông silicat tăng tỷ lệ thuận với khối lượng thể tích của nó và có mác theo cường độ nén tương tự như bê tông xi măng : 100, 150, 200, 250, 300, 400, 600. Ngày nay người ta đã chế tạo được bê tông silicat mác cao hơn nữa (800, 1000).

Cường độ kéo của bê tông silicat thường cao hơn một ít so với bê tông xi măng cùng mác, tức là có tỷ lệ  $R_k/R_n$  cao hơn.

Khối lượng thể tích của bê tông silicat thường nằm trong khoảng  $1.800 \div 2.200 \text{ kg/m}^3$  nhưng có thể đạt cường độ bằng cường độ của bê tông xi măng có khối lượng thể tích lớn hơn  $10 \div 15\%$ , nên làm giảm tải trọng bản thân của công trình dùng bê tông silicat.

Môđun đàn hồi ban đầu của bê tông silicat bé hơn so với bê tông thường làm tăng biến dạng của nó dưới tải trọng ngắn hạn, nhưng nhờ gia công nhiệt trong avtoclav làm tăng năng lực kết tinh của các thành phần dạng xi măng trong bê tông dẫn đến hạn chế biến dạng từ biến của bê tông silicat. Chính vì vậy tổng biến dạng của nó không lớn hơn so với bê tông xi măng, nên với các kết cấu bằng bê tông silicat không cần phải tăng kích thước tiết diện để đạt độ cứng cần thiết của công trình.

Bê tông silicat cũng có tính bám dính tốt với cốt thép và cũng có khả năng chống gỉ cho cốt thép. Tuy vậy do được gia công nhiệt trong avtoclav nên độ pH của bê tông silicat có thể thấp hơn so với bê tông xi măng, hơn nữa bê tông silicat thường có độ rỗng lớn hơn, nên trong điều kiện độ ẩm cao và hay thay đổi cần có biện pháp bảo vệ cốt thép trong bê tông silicat.

Từ bê tông silicat có thể chế tạo hầu hết các kết cấu xây dựng thông thường như : tấm sàn, cột, dầm, xà, panel, khối (blocs) xây,... Đặc biệt người ta thường dùng hỗn hợp bê tông silicat với độ ẩm nhỏ (hỗn hợp bê tông cứng) để tạo hình gạch silicat sử dụng thay cho gạch nung. Tuổi thọ của những công

trình dùng bê tông silicat đã xây dựng từ hơn 40 năm trở lại đây đã chứng minh rằng loại bê tông này không kém ổn định so với bê tông xi măng trong điều kiện sử dụng thông thường.

Nghiên cứu thêm về khả năng chống ăn mòn cốt thép và tuổi thọ, cũng như tính tiện nghi trong điều kiện khí hậu nóng ẩm của kết cấu bê tông silicat sẽ là việc làm cần thiết để khẳng định chắc chắn hơn tính ưu việt của loại bê tông này ở nước ta.

## **6.2. SỰ RÁN CHẮC CỦA BÊ TÔNG SILICÁT**

### **6.2.1. Điều kiện rắn chắc của bê tông silicat**

Chất kết dính vôi - silic chỉ có thể rắn chắc và tạo khả năng gắn kết trong điều kiện gia công nhiệt ẩm trong avtôclav chung áp với áp suất hơi nước bão hòa  $9 \div 16$  at và nhiệt độ tương ứng  $175 \div 205^{\circ}\text{C}$ .

Trong avtôclav khi nhiệt độ cao mà nước trong hệ vẫn ở trạng thái cân bằng lỏng - khí là điều kiện thuận lợi để cho phản ứng hóa học giữa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  và  $\text{SiO}_2$  nghiêng mìn xảy ra triệt để, tạo nên các thành phần khoáng dạng xi măng  $\text{C}_m\text{S}_n\text{H}_p$  trong bê tông silicat.

### **6.2.2. Các giai đoạn rắn chắc bê tông silicat**

Theo A. V. Volrenski quá trình rắn chắc bê tông silicat được chia ra 3 giai đoạn.

1) **Giai đoạn một** : Nâng nhiệt độ và áp suất đến giá trị lớn nhất quy định. Trong giai đoạn này xảy ra sự đốt nóng bê tông dần dần từ phía ngoài vào phía trong và hơi nước với áp suất tăng lên sẽ thâm nhập vào các lỗ rỗng của bê tông ngưng tụ lại vì bê tông chưa được đốt nóng đầy đủ, làm tăng độ ẩm trong hệ.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bị hòa tan, sau đó là sự hòa tan  $\text{SiO}_2$  trong dung dịch  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Nhiệt độ trong hệ càng tăng lên thì  $\text{SiO}_2$  được hòa tan càng nhiều. Khi có sự hòa tan  $\text{SiO}_2$  thì cũng là

lúc bắt đầu có phản ứng hóa học giữa nó với  $\text{Ca(OH)}_2$ . Ở cuối giai đoạn này phản ứng giữa  $\text{Ca(OH)}_2$  và  $\text{SiO}_2$  đã khá mạnh mẽ.

2) **Giai đoạn hai :** Hằng nhiệt, hằng áp. Giai đoạn này được tính từ lúc đạt được nhiệt độ cao đồng đều trong toàn bộ sản phẩm bê tông. Ở thời kỳ đầu của giai đoạn này do tốc độ hòa tan  $\text{SiO}_2$  còn chậm và môi trường kiềm bão hòa  $\text{Ca(OH)}_2$  nên sản phẩm thủy hóa được tạo thành chủ yếu ở dạng  $\text{C}_2\text{SH(A)}$ , (loại kiềm cao) có cường độ cơ học không cao và kém ổn định. Càng về sau tốc độ hòa tan  $\text{SiO}_2$  càng tăng lên, ngược lại nồng độ  $\text{Ca(OH)}_2$  lại giảm xuống do được chuyển vào pha rắn của sản phẩm thủy hóa là điều kiện thuận lợi để tạo thành các sản phẩm thủy hóa dạng ít canxi (kiềm thấp), chủ yếu là  $\text{CSH(B)}$  và một phần nhỏ  $\text{C}_4\text{S}_5\text{H}_5$  (tobemôrit), cũng như  $\text{C}_6\text{S}_6\text{H}$  (Kxônôtit). Đây là những hợp chất mới tạo thành có cường độ cao và ổn định.

Ở cuối giai đoạn hằng nhiệt nồng độ  $\text{SiO}_2$  càng tăng lên và  $\text{Ca(OH)}_2$  giảm xuống cũng tạo điều kiện để thủy phân  $\text{C}_2\text{SH(A)}$  và giải phóng ra  $\text{Ca(OH)}_2$ .  $\text{Ca(OH)}_2$  mới được giải phóng lại tác dụng với  $\text{SiO}_2$  hòa tan tạo thành các hợp chất dạng kiềm thấp  $\text{CSH(B)}$  cải thiện tính chất bê tông.

Như vậy giai đoạn hai - hằng nhiệt, hằng áp - là giai đoạn quan trọng nhất vì nó tạo điều kiện thuận lợi cho phản ứng giữa  $\text{Ca(OH)}_2$  với  $\text{SiO}_2$  xảy ra hoàn toàn. Giai đoạn này cần được kéo dài hợp lý để đảm bảo tạo nên các hợp chất thủy hóa dạng xi măng có độ kiềm thấp làm tăng cường độ của bê tông.

Nhiệt độ và thời gian hằng nhiệt, hằng áp, tỷ lệ  $\text{CaO/SiO}_2$  và độ nghiêng mìn các cấu tử ảnh hưởng rất lớn đến sự phản ứng hoàn toàn giữa các cấu tử cũng như độ kiềm của các hợp chất hydrôsilicat canxi mới tạo thành.

Trong quá trình gia công nhiệt áp các sản phẩm thủy hóa tạo thành dưới dạng keo tích tụ trên bề mặt và bao xung quanh các hạt cốt liệu, gắn kết chúng thành một khối tạo nên bê tông silicat có cấu trúc liên khối và đồng nhất.

3) Giai đoạn ba : Hạ nhiệt độ và áp suất. Khi ngừng cấp hơi nước, nhiệt độ trong avtôclav giảm nhanh, nhiệt độ trong sản phẩm bê tông giảm chậm nên có sự chênh lệch nhiệt độ với môi trường trong avtôclav làm cho nước trong bê tông bay hơi mạnh mẽ, nồng độ  $\text{Ca(OH)}_2$  trong bê tông tăng lên có thể tạo nên một lượng bổ sung  $\text{C}_2\text{SH(A)}$ . Sau khi gia công nhiệt avtôclav nếu trong bê tông vẫn còn  $\text{Ca(OH)}_2$  thì nó sẽ bị cacbonát hóa trong không khí ẩm chứa  $\text{CO}_2$ .

### 6.3. NGUYÊN VẬT LIỆU CHẾ TẠO BÊ TÔNG SILICÁT

Trong bê tông silicat cũng gồm các thành phần cơ bản là chất kết dính, cốt liệu, nước. Ngoài ra còn có thể sử dụng một vài loại phụ gia tăng dẻo hoặc điều chỉnh thời gian ninh kết đối với hỗn hợp bê tông. Điều khác biệt cơ bản so với bê tông thường là trong bê tông silicat dùng chất kết dính vôi - silic.

#### 6.3.1. Chất kết dính vôi - silic

Chất kết dính vôi - silic là một hỗn hợp gồm vôi và thành phần silic nghiền mịn.

1) Vôi : Hầu hết các loại vôi đều có thể dùng trong chất kết dính vôi - silic. Chỉ tiêu cơ bản để đánh giá chất lượng của vôi là hàm lượng  $\text{CaO} + \text{MgO}$  :

- Vôi loại 1 có hàm lượng  $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 90\%$ .
- Vôi loại 2 có hàm lượng  $\text{CaO} + \text{MgO} = 80 + 90\%$ .
- Vôi loại 3 có hàm lượng  $\text{CaO} + \text{MgO} = 70 + 80\%$
- Vôi thủy loại 1 và loại 2 có hàm lượng  $\text{CaO} + \text{MgO} = 60 + 70\%$ .

Trong vôi, hàm lượng  $\text{MgO}$  và những hạt sượng, đặc biệt là những hạt già lửa, gây hiện tượng bất lợi là tôi chậm và không đồng đều ; vì vậy cần phải khắc phục bằng các biện pháp : nghiền mịn vôi trước khi tôi, hạn chế hàm lượng  $\text{MgO} \leq 5\%$ . Cần phải đảm bảo sao cho thời gian tôi vôi không quá 25 phút, tốt nhất trong khoảng 10 - 20 phút. Để tăng tốc độ tôi vôi cần phải giảm hàm lượng  $\text{MgO}$  và các tạp chất sét, tăng độ nghiền mịn, dùng hơi nước nóng, ...

2) **Thành phần silic** : Thành phần silic trong chất kết dính vôi - silic có thể là các loại cát thạch anh, cát trắng thạch (fenspat), hoặc các loại vật liệu tro xỉ.

Để đảm bảo chất lượng cho chất kết dính vôi - silic, yêu cầu thành phần silic là cát phải có  $\text{SiO}_2$  không dưới 80%, hàm lượng bụi sét không quá 7%,  $\text{SO}_3$  không quá 3%, hàm lượng các oxyt kiềm  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  không quá 5%. Dùng cát có hàm lượng  $\text{SiO}_2$  lớn còn cho phép giảm bớt chi phí năng lượng nghiền vì không phải nghiền mịn nhiều thành phần hạt tro không chứa  $\text{SiO}_2$ .

Các loại vật liệu tro xỉ có hàm lượng  $\text{SiO}_2 > 50\%$  đều có thể dùng làm thành phần silic trong chất kết dính vôi - silic. Tuy vậy, khi dùng các loại xỉ nghiền mịn người ta thường chú ý sử dụng xỉ có hàm lượng  $\text{SiO}_2$  cao hơn nhiều để tiết kiệm năng lượng nghiền. Tốt hơn cả nên dùng các loại tro có độ mịn cao ( $\sum S \geq 2.500 + 3.000 \text{cm}^2/\text{g}$ ) để không phải qua khâu nghiền thành phần silic. Khi sử dụng các loại vật liệu tro xỉ, ngoài việc cần khống chế các hàm lượng  $\text{SO}_3$ ,  $\text{R}_2\text{O}$  và bụi sét như đối với cát, còn phải khống chế các hàm lượng  $\text{Al}_2\text{O}_3$  không quá 30%,  $\text{MgO}$  không quá 3%, than chưa cháy không quá 8 + 10%.

### 6.3.2. Cốt liệu

Cốt liệu trong bê tông silicat có thể là các loại cát hoặc vật liệu tro xỉ có kích thước hạt  $D_{\text{max}} \leq 5\text{mm}$ . Khi dùng các loại cát, yêu cầu chúng phải thỏa mãn các đòi hỏi về chất lượng như đối với cát dùng trong bê tông xi măng. Khi dùng các loại vật liệu tro xỉ cũng nên khống chế các thành phần hóa học của chúng như trong thành phần silic của chất kết dính vôi - silic.

## 6.4. NHỮNG TÍNH CHẤT CƠ BẢN CỦA CHẤT KẾT DÍNH VÔI - SILIC

Những tính chất cơ bản của chất kết dính vôi - silic là độ nghiền mịn, hoạt tính và thời gian ninh kết. Thời gian ninh kết của chất kết dính vôi - silic phụ thuộc chủ yếu vào loại

vôi sử dụng (vôi tôi hoặc vôi sống) và có thể được điều chỉnh bằng cách sử dụng một vài loại phụ gia cần thiết (6.5). Trong phần này chủ yếu là xét ảnh hưởng của độ nghiêng mịn và hàm lượng các thành phần... đến hoạt tính của chất kết dính vôi - silic.

#### 6.4.1. Độ nghiêng mịn

Độ nghiêng mịn của chất kết dính vôi - silic càng cao khả năng thủy hóa của nó để tạo thành các sản phẩm dính kết dạng hydrôsilicat canxi càng lớn. Vì vậy cần đảm bảo độ nghiêng mịn của chất kết dính vôi silic đạt  $\sum S \geq 3.000 \text{ cm}^2/\text{g}$  (lượng sót trên sàng  $N_0 008 \leq 8 + 10\%$ ).

#### 6.4.2. Hoạt tính

Cũng như đối với xi măng, hoạt tính của chất kết dính vôi - silic được đánh giá bằng giới hạn cường độ nén và kéo khi uốn đến phá hoại các mẫu dầm  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  được đúc theo phương pháp tiêu chuẩn từ hỗn hợp vữa có tỷ lệ chất kết dính/cát tiêu chuẩn là 1/3, được gia công nhiệt trong autôclav với chế độ  $2 + 8 + 2$  giờ ở áp suất 9at.

Mác của chất kết dính vôi - silic cũng xác định như mác của xi măng. Hiện nay người ta đã tạo được chất kết dính vôi - silic có cường độ nén  $800 + 1.000 \text{ daN/cm}^2$ , và có thể quy về mác 800, 1.000.

#### 6.4.3. Các nhân tố ảnh hưởng đến hoạt tính

Hoạt tính của chất kết dính vôi - silic phụ thuộc chủ yếu vào độ nghiêng mịn, tỷ lệ  $\text{CaO/SiO}_2$  [hoặc  $\text{CaO}/(\text{CaO} + \text{SiO}_2)$ ], chất lượng các cấu tử thành phần, thời gian và nhiệt độ gia công nhiệt trong autôclav.

Chất lượng của các cấu tử trong chất kết dính vôi - silic thể hiện qua hoạt tính và độ phân tán của vôi, dạng và độ mịn của thành phần silic.

Khi chất lượng nguyên vật liệu đạt yêu cầu quy định (6.3) và đảm bảo được một chế độ gia công chung áp hợp lý thì tỷ

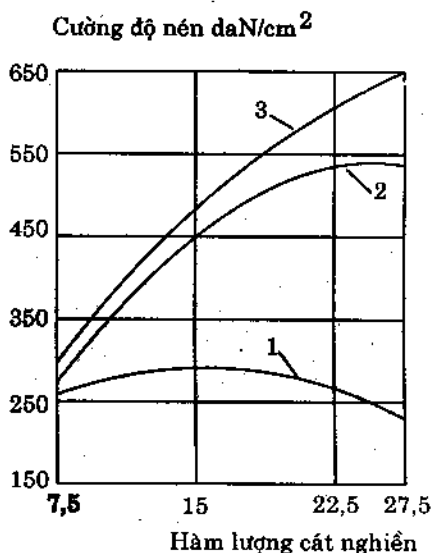


lệ  $\text{CaO/SiO}_2$  hoặc  $\text{CaO}/(\text{CaO} + \text{SiO}_2)$  và độ nghiêng mịn của cấu tử silic là hai yếu tố quyết định hoạt tính của chất kết dính vôi - silic. Nếu chọn được giá trị tối ưu của hai yếu tố này sẽ đảm bảo ra được sản phẩm thủy hóa chất kết dính chứa chủ yếu là cát hydrosilicat canxi kiềm thấp, đảm bảo cho chất kết dính vôi - silic có cường độ cao. Lượng  $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$  trong sản phẩm thủy hóa chất kết dính vôi - silic vì có cường độ kém nên cần khống chế ở trong một giới hạn nhất định do yêu cầu cải thiện tính chất biến dạng của bê tông sau này.

Điều chỉnh hàm lượng cấu tử silic (cũng tương đương với việc điều chỉnh  $\text{CaO/SiO}_2$  khi  $\text{CaO}$  không đổi) và độ nghiêng mịn của nó có thể thay đổi hoạt tính của chất kết dính vôi - silic trong một phạm vi khá lớn, đồng thời cải thiện được một số tính chất khác của bê tông silicat. Hình 6-1 thể hiện quan hệ này khi lượng dùng  $\text{CaO}$  hoạt tính trong hỗn hợp là 12,5%.

Hiện nay để chế tạo bê tông silicat người ta thường dùng chất kết dính vôi -

silic có độ nghiêng mịn của vôi gấp 2 + 2,5 lần của cấu tử silic, có tỷ lệ  $\text{CaO/SiO}_2 = 0,25 + 0,50$  và độ nghiêng mịn của cấu tử silic từ 1.500 + 3.500  $\text{cm}^2/\text{g}$ . Khi dùng tỉ lệ  $\text{CaO/SiO}_2$  cao thì



Hình 6-1. Ảnh hưởng của độ nghiêng mịn và hàm lượng cát thạch anh đến cường độ bê tông silicat.

1 - độ nghiêng mịn của cát

$$\sum S_c = 1.500 \text{ cm}^2/\text{g};$$

2 -  $\sum S_c = 2.500 \text{ cm}^2/\text{g};$

3 -  $\sum S_c = 4.500 \text{ cm}^2/\text{g}.$

độ nghiêng mịn của cấu tử silic cũng phải tăng lên. Tuy nhiên hàm lượng cát nghiêng mịn trong hỗn hợp và mức độ nghiêng mịn cũng chỉ nên đạt đến một giới hạn cần thiết để đảm bảo cường độ yêu cầu của bê tông bởi vì việc nghiêng cát đòi hỏi sử dụng một diện năng đáng kể. Ở mỗi cấp độ nghiêng mịn của cấu tử silic có một tỷ lệ  $\text{CaO/SiO}_2$  tối ưu bảo đảm cho chất kết dính vôi - silic có hoạt tính cao nhất. Việc xác định tỷ lệ  $\text{CaO/SiO}_2$  tối ưu đó thường được tiến hành bằng phương pháp thực nghiệm.

Khi đảm bảo chế tạo được chất kết dính vôi - silic có hoạt tính ổn định, có thể sử dụng hoạt tính đó để xác định cấp phối bê tông silicat theo phương pháp xác định cấp phối bê tông xi măng.

## 6.5. CÁC NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN TÍNH CHẤT BÊ TÔNG SILICAT

Các nhân tố cơ bản ảnh hưởng đến cường độ và các tính chất khác (độ đặc, độ co ngót, độ ổn định trong không khí, ...) của bê tông silicat là : hoạt tính chất kết dính, phẩm chất của cốt liệu (cường độ, tính chất bề mặt, cấp phối hạt,...), loại vôi sử dụng, tỷ lệ nước/chất kết dính, lượng dùng chất kết dính, phương pháp tạo hình, chế độ gia công nhiệt avtôclav, trong đó ảnh hưởng của các loại vôi sử dụng là nhân tố đặc thù nhất đối với bê tông silicat.

### 6.5.1. Ảnh hưởng của loại vôi sử dụng

Trong chế tạo bê tông silicat có thể dùng vôi tôi hay vôi bột sống. Khi dùng vôi tôi thì toàn bộ lượng vôi trong hỗn hợp bê tông được tôi hoàn toàn trước khi tạo hình sản phẩm ; cho nên hỗn hợp bê tông dẻo ninh kết chậm, dễ tạo hình ; nhưng độ đặc và cường độ của bê tông trong sản phẩm thấp hơn so với phương pháp dùng vôi sống.

Khi dùng bột vôi sống (cả trong dây chuyền công nghệ liên hợp) thì khi tạo hình sản phẩm chỉ có một phần ( $30 \div 60\%$ ) vôi được tôi, sau khi đã tạo hình sản phẩm xong phần vôi còn lại mới được tôi. Mục đích của việc áp dụng phương pháp này là tận dụng một phần nhiệt tôi vôi để đốt nóng sản phẩm trước

khi gia công nhiệt avtôclav, giảm lượng nước trộn ban đầu trong hỗn hợp bê tông 25 ÷ 30% so với trường hợp dùng vôi tôi, đồng thời tận dụng khả năng tự lèn chặt hỗn hợp bê tông trong sản phẩm mới tạo hình do khi thủy hóa bột vôi sống tạo nên  $\text{Ca(OH)}_2$ , thể tích pha rắn tăng lên cũng làm tăng độ đặc bê tông.

Như vậy ưu điểm của phương pháp dùng bột vôi sống là giảm bớt được chi phí nhiệt để đốt nóng sản phẩm trong avtôclav, tăng được độ đặc và cường độ của bê tông trong sản phẩm do tác dụng tự lèn chặt và do giảm lượng nước trộn hỗn hợp bê tông ban đầu. Tuy vậy trong phương pháp này cần phải khống chế nghiêm ngặt lượng vôi sống hợp lý được giữ lại trong hỗn hợp bê tông đến trước khi tạo hình. Lượng vôi sống đó nếu quá lớn, sau khi tôi sẽ có thể gây nứt nẻ sản phẩm mới tạo hình.

Khi sử dụng bột vôi sống, cần điều chỉnh thời gian ninh kết để không bắt đầu quá sớm (trước khi đổ hỗn hợp vào khuôn) và quá nhanh, gây nên sự tách nhiệt mạnh mẽ làm nước nhào trộn chuyển sang trạng thái hơi, hỗn hợp bê tông sẽ bị mất nước quá sớm. Mặt khác sự ninh kết cũng không nên quá chậm làm giảm hiệu quả lượng nhiệt tách ra có tác dụng làm tăng nhanh cường độ dẻo của hỗn hợp bê tông đẩy nhanh quá trình rắn chắc.

Để điều chỉnh thời gian ninh kết và tốc độ của quá trình thủy hóa bột vôi sống, cần lựa chọn loại vôi có hoạt tính, độ mịn và hàm lượng thích hợp. Khi cần có thể sử dụng chất làm chậm ninh kết như thạch cao với lượng dùng 5 ÷ 7% khối lượng vôi (tính theo  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) và bã rượu sunfint (SSB) hoặc hợp chất tương tự và tốt nhất là dùng hỗn hợp hai loại trên bằng cách trộn thạch cao khi nghiền vôi, còn SSB thì hòa tan vào nước nhào trộn.

### 6.5.2. Ảnh hưởng của các nhân tố khác

- Hoạt tính chất kết dính vôi - silic và phẩm chất cốt liệu ảnh hưởng đến tính chất bê tông silicat cũng tương tự như trong bê tông xi măng.

- Tỷ lệ nước/chất kết dính (hoặc CKD/N), lượng dùng chất kết dính và phương pháp tạo hình ảnh hưởng đến độ đặc của bê tông silicat. Khi các nhân tố khác không đổi, nếu hỗn hợp bê tông có tỷ lệ nước/chất kết dính (hay chất kết dính/nước) và lượng dùng chất kết dính hợp lý, đồng thời được đầm chặt tốt nhất khi tạo hình sẽ đảm bảo cho thành phần kết dính dạng xi măng và bê tông silicat nói chung có độ đặc và cường độ cao nhất.

Nhiều công trình nghiên cứu đều đi đến kết luận là cường độ bê tông silicat tỷ lệ thuận với tỷ lệ chất kết dính/nước, khi độ mịn của cát và các điều kiện khác không thay đổi. Vì vậy có thể thiết lập các công thức tính toán cường độ bê tông silicat và áp dụng tính toán kết hợp với thực nghiệm để chọn cấp phối bê tông này.

- Cũng tương tự như trong bê tông xi măng, lượng dùng chất kết dính phải đảm bảo tạo ra lượng hồ vừa đủ để gắn kết các hạt cốt liệu và lấp đầy phần rỗng giữa chúng. Lượng chất kết dính không đủ hoặc thừa nhiều đều làm giảm cường độ và các tính chất khác của bê tông silicat. Lượng dùng chất kết dính và tỷ lệ nước/chất kết dính phải đảm bảo sao cho hỗn hợp bê tông có tính công tác phù hợp với phương thức tạo hình đã chọn, tức là hỗn hợp bê tông silicat phải được lèn chặt tốt bằng phương pháp đầm chặt thích hợp khi tạo hình sản phẩm. Ví dụ : hỗn hợp bê tông silicat có hàm lượng vôi thấp  $6 \div 8\%$  tổng khối lượng vật liệu khô, với lượng dùng nước  $8 \div 9\%$  khối lượng hỗn hợp bê tông (tỷ lệ nước/chất kết dính thấp) thì chỉ có thể được lèn chặt tốt bằng phương pháp ép dưới áp lực  $100 \div 150 \text{ daN/cm}^2$ . Nếu dùng phương pháp gia công chấn động để tạo hình sản phẩm bê tông silicat kích thước lớn thì yêu cầu phải tăng tương ứng lượng dùng chất kết dính vôi - silic.

- Chế độ gia công nhiệt avtôclav quyết định mức độ phản ứng hoàn toàn của  $\text{Ca(OH)}_2$  với  $\text{SiO}_2$  nghiền mịn để tạo thành các chất kết dính dạng xi măng có hàm lượng canxi thấp. Ngoài ra chế độ nâng, hạ nhiệt độ và áp suất khác nghiệt có thể gây ảnh hưởng xấu đến cấu trúc bê tông.

Khi nghiên cứu các nhân tố ảnh hưởng đến tính chất bê tông silicat người ta đã tìm ra các phương pháp hữu hiệu để cải thiện các tính chất của nó. Ngày nay người ta đã chế tạo được bê tông silicat mác cao 400 ÷ 800 và hơn nữa. Những biện pháp chủ yếu để cải thiện tính chất bê tông silicat là :

- + Dùng các cấu tử silic nghiêng mịn giàu  $\text{SiO}_2$ , chứa ít các tạp chất có hại, với độ nghiêng mịn cao 3.000 ÷ 5.000  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

- + Dùng chất kết dính vôi - silic có tỷ lệ  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  hợp lý, đảm bảo hoạt tính cao.

- + Áp dụng sơ đồ dây chuyền công nghệ liên hợp để gia công nguyên vật liệu, chế tạo hỗn hợp bê tông và tạo hình sản phẩm.

- + Sử dụng hỗn hợp bê tông cứng (tỷ lệ nước/chất kết dính thấp) được chế tạo trong các máy trộn cưỡng bức có khả năng trộn mạnh mẽ (trộn chấn động, trộn chảy rối - xoáy,...).

- + Lèn chặt hỗn hợp bê tông khi tạo hình bằng phương pháp ép với áp lực cao, ép nhiều bậc hoặc ép kết hợp với gia công chấn động.

- + Gia công nhiệt autoclav với chế độ tối ưu đảm bảo cho phản ứng giữa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  với  $\text{SiO}_2$  xảy ra thuận lợi và triệt để, tạo ra chất kết dính dạng xi măng kiềm thấp là chính, đồng thời hạn chế đến mức thấp nhất các tổn hại cấu trúc có thể xảy ra do năng, hạ nhiệt độ và áp suất gây nên.

## 6.6. CẤP PHỐI BÊ TÔNG SILICAT

Để thiết kế cấp phối bê tông silicat cần phải biết các thông số ban đầu là : mác của bê tông, đặc điểm về sản phẩm và phương pháp tạo hình hoặc tính công tác của hỗn hợp bê tông, loại và tính chất nguyên vật liệu sử dụng (hàm lượng  $\text{CaO}$  trong vôi, độ mịn của cấu tử silic trong chất kết dính, loại cốt liệu,...).

### 6.6.1. Các phương pháp xác định cấp phối

Việc xác định cấp phối hỗn hợp bê tông silicat có thể tiến hành theo các phương pháp khác nhau.

Khi biết hoạt tính của chất kết dính vôi - silic, có thể tiến hành xác định cấp phối bê tông silicat theo phương pháp như đã dùng trong bê tông xi măng. Lúc này cần phải dựa vào các

hệ số điều chỉnh phù hợp, có tính đến ảnh hưởng của tính chất nguyên vật liệu và công nghệ bê tông silicat.

Khi không có số liệu tin cậy về hoạt tính chất kết dính thì có thể dùng phương pháp tính toán kết hợp với thực nghiệm, sử dụng kết quả nghiên cứu hoặc thực tế sản xuất đã đúc kết thành các công thức quan hệ, bảng, hoặc đồ thị đã cho sẵn để xác định sơ bộ lượng dùng các loại vật liệu sao cho đảm bảo được những yêu cầu đã đề ra đối với hỗn hợp bê tông và bê tông.

Ngoài ra còn có thể sử dụng phương pháp toán học quy hoạch thực nghiệm để xác định cấp phối bê tông silicat. Nhờ phương pháp toán học quy hoạch thực nghiệm người ta thiết lập được các phương trình biểu diễn quan hệ phụ thuộc giữa cường độ, khối lượng thể tích của bê tông, và tính công tác của hỗn hợp bê tông... (gọi là các nhân tố phụ thuộc - hàm mục tiêu) với các nhân tố ảnh hưởng đến tính chất của chúng như tỉ lệ  $\text{CaO/SiO}_2$ , độ nghiêng mịn cấu tử silic, tỷ lệ nước/chất kết dính  $\text{N/CKD}$  (hay  $\text{CKD/N}$ ), chế độ đầm chặt khi tạo hình (áp lực ép, thời gian và cường độ chấn động...), và chế độ gia công nhiệt (nhiệt độ và áp suất lớn nhất, thời gian hằng nhiệt) (gọi là các nhân tố độc lập - biến số). Trong điều kiện sản xuất cụ thể nhờ cố định được một số các nhân tố ảnh hưởng nên có thể giảm xuống còn  $3 \div 4$  biến số độc lập. Do vậy với một khối lượng thí nghiệm không lớn ( $20 \div 31$  loạt mẫu) cho phép ta có những thông tin khá chính xác để làm cơ sở thiết kế cấp phối bê tông silicat thỏa mãn những yêu cầu đã đề ra.

### **6.6.2. Xác định cấp phối bê tông silicat theo phương pháp tính toán kết hợp thực nghiệm**

Việc xác định cấp phối bê tông silicat theo phương pháp này có thể chia làm hai giai đoạn : Trước hết sử dụng các bảng hoặc đồ thị cần thiết để xác định cấp phối sơ bộ, sau đó tiến hành điều chỉnh cấp phối bằng thực nghiệm.

#### **1) Xác định cấp phối sơ bộ theo các bước sau**

- Xác định tính công tác của hỗn hợp bê tông căn cứ vào tính chất và phương pháp tạo hình (lèn chặt). Khi cần thiết có thể tham khảo bảng 6.1 cho biết độ cứng của hỗn hợp bê tông silicat cần phải đảm bảo để tạo hình theo một số phương pháp khác nhau.

Bảng 6.1

Phương pháp tạo hình	Độ cứng lớn nhất, s	Thời gian lên chặt chấn động, phút
Rung cán bằng các phương pháp khác nhau hoặc dùng lõi rung	$\geq 30$	$3 \div 3,5$
Rung đập	$20 \div 25$	2,5
Tạo hình trên bàn rung có gia tải $0,5 \text{ N/mm}^2$	$10 \div 15$	2
Tạo hình các sản phẩm dạng tấm trong các khuôn casset	$2 \div 5$	$1 \div 1,5$
Tạo hình trên bàn rung	$2 \div 5$	$1 \div 1,5$

• Xác định độ ẩm tạo hình w/% của hỗn hợp bê tông cần cứ vào tính công tác và loại cốt liệu. Bảng 6.2 cho biết quan hệ phụ thuộc giữa độ cứng T(s) (xác định bằng nhót kế kỹ thuật) với độ ẩm w của hỗn hợp bê tông silicat khi dùng các loại cát cốt liệu khác nhau.

Bảng 6.2

Độ ẩm hỗn hợp bê tông (w, %)	Độ cứng hỗn hợp bê tông silicat (s) khi dùng cát			
	Rất mịn $\rho_s = 1,2 - 1,29 \text{ T/m}^3$	Mịn $\rho_s = 1,3 - 1,39 \text{ T/m}^3$	Trung bình $\rho_s = 1,4 - 1,55 \text{ T/m}^3$	Thô $\rho_s = 1,56 - 1,65 \text{ T/m}^3$
10	—	—	30	19
11	—	40	20	10
12	40	30	12	6
13	30	20	8	4
14	22	12	5	2,5
15	14	6	3	1,5
16	8	4	2	1
17	5	2,5	1	0,5

• Xác định sơ bộ KLTT khô  $m_{vbk}$ ,  $\text{kg/m}^3$  của bê tông căn cứ vào mức thiết kế và độ ẩm tạo hình. Khi không có những số liệu tin cậy hơn có thể dùng bảng 6.3, trong đó cho quan hệ phụ thuộc giữa khối lượng thể tích  $m_{vbk}$  của bê tông silicat mức 150 và 200 với độ ẩm tạo hình  $w\%$ .

**Bảng 6.3**

w, %	m <sub>vbk</sub> theo mức		w, %	m <sub>vbk</sub> theo mức	
	150	200		150	200
10	1795	1960	14	1740	1840
11	1780	1930	15	1730	1810
12	1770	1895	16	1710	1770
13	1755	1870	17	1700	1750

Xác định lượng dùng nước  $N(\text{l/m}^3)$  và chất kết dính CKD, ( $\text{kg/m}^3$ ) cho  $1\text{m}^3$  hỗn hợp bê tông căn cứ vào độ ẩm tạo hình, mức bê tông và độ mịn cấu tử silic  $\Sigma S$ , ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ), (bảng 6.4).

**Bảng 6.4**

w, %	Đối với bê tông mức 150			Đối với bê tông mức 200				
	N, $\text{l/m}^3$	CKD, $\text{kg/m}^3$ , khi $\Sigma S =$		N, $\text{l/m}^3$	CKD, $\text{kg/m}^3$ , khi $\Sigma S =$			
		1500	2000		1500	2000	2500	3000
10	190	260	225	210	310	260	250	240
11	205	280	245	225	325	275	260	250
12	220	300	255	240	340	290	275	260
13	230	320	270	250	360	305	290	270
14	245	335	290	260	375	320	300	290
15	260	355	305	275	395	340	315	300
16	280	375	320	290	410	350	330	310
17	290	390	353	300	425	370	340	320



Ngoài ra, còn có thể lấy lượng dùng nước bằng  $10 \div 15\%$  tổng trọng lượng hỗn hợp vật liệu khô nếu tạo hình bằng chấn động và bằng  $7 \div 9\%$ , nếu tạo hình bằng phương pháp ép.

● Xác định hàm lượng vôi hoạt tính CaO ( $v_{ht}$ ) trong hỗn hợp bê tông căn cứ vào mác bê tông và tính chất của cát cốt liệu. Bảng 6.5 cho biết hàm lượng ôxyt canxi (CaO) cần dùng (tính theo % khối lượng thể tích bê tông khô) để có thể chế tạo được bê tông silicat mác  $200 \div 500$  khi dùng loại cát cốt liệu khác nhau.

**Bảng 6.5**

Mác BTS LC	Loại cát			
	Rất mịn	Mịn	Trung bình	Thô
200	6,5	6,2	6	5
300	7,5	7,2	7	6,5
400	9	8,5	8	7,5
500	10,5	9,5	8,5	8

● Tính lượng dùng các loại vật liệu cho  $1m^3$  hỗn hợp bê tông silicat :

$$V_h = \frac{v_{ht} \cdot m_{vbk}}{100} ; V_s = \frac{V_h}{h_v} \cdot 100 ;$$

$$C_{ng} = CKD - V_s ; C_{cl} = m_{vbk} - CKD ;$$

trong đó :  $V_h$  - lượng dùng vôi hoạt tính, (kg) ;

$v_{ht}$  - hàm lượng ôxyt canxi trong hỗn hợp bê tông silicat, % (theo bảng 6.5) ;

$V_s$  - lượng dùng vôi sống, (kg) ;

$h_v$  - hàm lượng vôi hoạt tính CaO trong vôi sử dụng, % ;

$C_{ng}$  - lượng dùng cấu tử silic nghiền mịn, (kg) ;

$C_{cl}$  - lượng dùng cốt liệu, (kg) ;

CKD - lượng dùng chất kết dính vôi - silic (kg).

Độ hoạt tính của chất kết dính theo tỷ lệ CaO/CKD lúc này là :

$$h_{\text{CKD}} = \frac{V_h}{\text{CKD}} \cdot 100, \%$$

## 2) Điều chỉnh cấp phối bằng thực nghiệm

Trước hết cần xác định tỷ lệ CaO/SiO<sub>2</sub> tối ưu của chất kết dính vôi - silic theo cường độ lớn nhất. Muốn vậy cần chế tạo một nhóm mẫu thử có tỷ lệ CaO/SiO<sub>2</sub> như kết quả xác định sơ bộ ở trên và hai nhóm mẫu khác có tỷ lệ CaO/SiO<sub>2</sub> sai khác  $\pm 10 \div 15\%$  so với nhóm mẫu đầu. Nhóm mẫu nào cho cường độ nén của chất kết dính cao nhất thì tỷ lệ CaO/SiO<sub>2</sub> của nó được coi là tối ưu.

Tiếp theo cần xác định lượng dùng chất kết dính và nước tối ưu của hỗn hợp bê tông silicat bằng cách chế tạo một mẻ trộn thử với cấp phối có lượng dùng chất kết dính như đã tính toán sơ bộ trên, và hai mẻ khác có lượng dùng chất kết dính sai lệch  $\pm 10\%$  so với mẻ đầu.

Đối với mỗi mẻ trộn như vậy cần xác định lượng dùng nước tối ưu đảm bảo đạt độ đặc lớn nhất khi điều kiện đầm chặt hỗn hợp bê tông như nhau. Người ta thường tiến hành thử với ba lượng nước khác nhau. Lượng dùng nước tối ưu ứng với cấp phối bê tông cho cường độ cao nhất, khối lượng thể tích lớn nhất và hệ số sản lượng bê tông thấp nhất (hình 6.3).

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm các mẫu được chế tạo và rắn chắc trong điều kiện gần với thực tế sản xuất, người ta thiết lập các đường cong biểu diễn các quan hệ giữa cường độ bê tông với lượng dùng chất kết dính, lượng dùng thành phần silic nghiền mịn và nước :  $R_b = f_1(\text{CKD})$ ,  $R_b = f_2(C_{\text{ng}})$  và  $R_b = f_3(N)$ . Từ yêu cầu về cường độ nhờ các biểu đồ trên có thể xác định giá trị thích hợp các thông số cấp phối và tính toán điều chỉnh lại các thành phần hỗn hợp bê tông để thỏa mãn các yêu cầu đề ra. Khi những điều kiện sản xuất ổn định có thể bỏ qua một số bước trong khi tiến hành điều chỉnh thành phần hỗn hợp bê tông ví dụ : xác định CaO/SiO<sub>2</sub> tối ưu, lượng dùng nước tối ưu, v.v...

## Chương 7

# BÊ TÔNG NHẸ CỐT LIỆU RỒNG

### 7.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Bê tông nhẹ cốt liệu rồng là một loại vật liệu xây dựng rất phổ biến trong xây dựng cơ bản hiện nay. Chúng được sử dụng trong rất nhiều lĩnh vực khác nhau : làm khung, sàn, tường cho các ngôi nhà nhiều tầng ; dùng trong các kết cấu vỏ mỏng, tấm cong ; trong kết cấu bê tông cốt thép ứng suất trước ; trong chế tạo các cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn.

Cốt liệu rồng từ đá bọt đã được sử dụng ở Châu Âu từ cuối thế kỷ XIX. Những năm đầu của thế kỷ XX người ta đã dùng lò quay để sản xuất cốt liệu rồng nhẹ cường độ cao dùng cho bê tông nhẹ.

Trong chiến tranh thế giới thứ I và thứ II người ta đã dùng bê tông nhẹ cốt liệu rồng có khối lượng thể tích  $1750 \text{ kg/m}^3$  và cường độ nén  $345 \text{ daN/cm}^2$  để chế tạo các tàu và sà lan cứu nạn. Sau chiến tranh thế giới thứ II người ta đã xây dựng nhà nhiều tầng bằng bê tông cốt thép dùng cốt liệu rồng.

Từ những năm 1950 cho tới nay việc sử dụng bê tông nhẹ cốt liệu rồng ngày càng được phát triển mạnh mẽ, khối lượng sản xuất và sử dụng ngày càng lớn.

Bê tông nhẹ cốt liệu rồng ngoài các ưu điểm như của bê tông thường còn có tính cách âm, cách nhiệt tốt hơn và đặc biệt là tổng giá thành của công trình nhà cao tầng xây dựng bằng bê tông nhẹ cốt liệu rồng thường thấp hơn đáng kể so với sử dụng các loại bê tông khác, mặc dù giá thành của  $1\text{m}^3$

bê tông nhẹ cốt liệu rỗng cao hơn do giá cốt liệu rỗng thường cao hơn so với các loại cốt liệu thông thường.

## 7.2. PHÂN LOẠI VÀ TÍNH CHẤT KỸ THUẬT

### 7.2.1. Phân loại

1) Theo khối lượng thể tích và phạm vi sử dụng người ta phân chia bê tông nhẹ cốt liệu rỗng ra ba loại :

- Bê tông cách nhiệt còn gọi là bê tông rất nhẹ, có khối lượng thể tích ở trạng thái khô  $m_{vb}^k \leq 500 \text{ kg/m}^3$  và cường độ nén  $R_{nén} = 15 \div 35 \text{ daN/cm}^2$  được sử dụng với mục đích cách nhiệt.

- Bê tông công trình cách nhiệt cần có cường độ tương đối lớn để chịu tải trọng cần thiết, đồng thời có hệ số dẫn nhiệt nhỏ để thỏa mãn yêu cầu cách nhiệt cho công trình. Loại này có cường độ nén  $R_n = 35 \div 100 \text{ daN/cm}^2$  và khối lượng thể tích  $m_{vb}^k = 600 \div 1400 \text{ kg/m}^3$ .

- Bê tông công trình cần thỏa mãn chủ yếu yêu cầu chịu lực (không cần yêu cầu về cách nhiệt) :  $R_n = 150 \div 400 \text{ daN/cm}^2$ ,  $m_{vb}^k = 1400 \div 1800 \text{ kg/m}^3$ .

2) Theo cấu trúc, bê tông nhẹ cốt liệu rỗng được phân thành ba loại :

- Bê tông nhẹ cấu trúc đặc, còn gọi là bê tông nhẹ vữa đặc, trong đó phần rỗng giữa các hạt cốt liệu rỗng được lấp đầy bằng vữa cát nhẹ hoặc cát thường hoặc phối hợp hai loại cát đó.

- Bê tông nhẹ cấu trúc bán đặc chắc, còn gọi là bê tông nhẹ vữa rỗng, trong đó phần vữa cũng được tạo rỗng theo phương pháp tạo bọt, tạo khí hay ngậm khí và có dùng cát hoặc không dùng cát.

- Bê tông nhẹ cấu trúc rỗng lớn (phần rỗng giữa các hạt cốt liệu để hổng) được tạo nên bằng cách kết khối các hạt cốt liệu rỗng bằng hồ xi măng thường không dùng cát nên gọi là

bê tông nhẹ cấu trúc rỗng lớn không có cát và để giảm lượng dùng xi măng có thể dùng các loại phụ gia khoáng nghiền mịn.

3) Theo loại cốt liệu rỗng, bê tông nhẹ cốt liệu rỗng chia thành hai loại

Bê tông cốt liệu tự nhiên và bê tông cốt liệu nhân tạo và thường gọi tên bê tông theo tên cốt liệu. Ví dụ khi dùng cốt liệu nguồn gốc tự nhiên là đá bọt người ta gọi là bê tông đá bọt ; khi dùng cốt liệu nhân tạo keramzit ta có bê tông keramzit.

4) Ngoài ra có thể phân loại bê tông nhẹ cốt liệu rỗng theo chất kết dính

Ví dụ khi dùng chất kết dính vôi - silic ta có bê tông silicat cốt liệu rỗng. Tuy vậy hiện nay chất kết dính thường dùng cho các loại bê tông nhẹ là xi măng.

Theo tài liệu ACI (Mỹ) người ta phân loại bê tông nhẹ cốt liệu rỗng như sau :

- Bê tông có khối lượng thể tích nhỏ  $m_{vb}^k \leq 800 \text{ kg/m}^3$ ,  $R_n = 6,9 - 69 \text{ daN/cm}^2$  có hệ số dẫn nhiệt thấp.

- Bê tông nhẹ công trình có  $m_{vb}^k = 1440 - 1850 \text{ kg/m}^3$ ,  $R_n \geq 173 \text{ daN/cm}^2$ . Trên thực tế người ta thường dùng loại bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có  $m_{vb}^k = 1440 - 1600 \text{ kg/m}^3$  cá biệt còn dùng cả loại có  $m_{vb}^k = 1900 \text{ kg/m}^3$  (loại này không cần có hệ số dẫn nhiệt bé).

- Bê tông nhẹ cường độ trung bình : có khối lượng thể tích và cường độ cũng như hệ số dẫn nhiệt nằm giữa hai loại trên ; được dùng trong những kết cấu yêu cầu khả năng chịu lực không cao hoặc làm bê tông lấp đầy.

### 7.2.2. Tính chất kỹ thuật

Khối lượng thể tích và cường độ nén là các đặc trưng kỹ thuật cơ bản ảnh hưởng đến hầu hết các tính chất khác của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng.

Khối lượng thể tích của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng ở trạng thái khô có thể đạt từ  $300 + 1800 \text{ kg/m}^3$ , nó là một chỉ tiêu

ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ và tính chất dẫn nhiệt của bê tông. Muốn tăng cường độ bê tông nhẹ cốt liệu rỗng thường phải dùng các biện pháp làm tăng đồng thời khối lượng thể tích của nó ; song để có hệ số dẫn nhiệt thấp thì phải giảm khối lượng thể tích bê tông. Vì vậy để thoả mãn đồng thời ba yếu tố : khối lượng thể tích nhỏ  $m_{vb}^k$ , cường độ  $R_n$  cao và hệ số dẫn nhiệt thấp là vấn đề rất khó thực hiện.

Cường độ nén của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng thường là một chỉ tiêu quan trọng hàng đầu, nhất là đối với bê tông công trình và công trình cách nhiệt. Cường độ nén của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có thể dao động trong một phạm vi khá rộng tùy thuộc vào khối lượng thể tích :  $R_n = 15 \div 400 \text{ daN/cm}^2$  khi  $m_{vb}^k = 350 \div 1900 \text{ kg/m}^3$ .

Theo cường độ nén thì bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có các loại mác 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 v.v... Riêng đối với loại bê tông công trình cách nhiệt còn có mác theo khối lượng thể tích.

Cường độ chịu kéo  $R_k$  của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng thay đổi phụ thuộc cường độ nén, thường  $R_k = 1/10 \div 1/15 R_n$  và cũng phụ thuộc vào cường độ gắn kết giữa đá xi măng - cốt liệu rỗng và tính chất của cát. Bê tông nhẹ dùng cát thường có cường độ kéo cao hơn loại không dùng cát khi có cùng cường độ nén. Môđun đàn hồi ban đầu của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có thể xác định gần đúng theo công thức :

$$E_b = 5100 \sqrt{(m_{vb}^k)^3 R_n} , \text{ daN/cm}^2$$

trong đó :  $m_{vb}^k$  - khối lượng thể tích của bê tông nhẹ đã sấy khô kg/l.

$R_n$  - cường độ nén ở tuổi 28 ngày dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn, daN/cm<sup>2</sup>.

Khi cần có độ chính xác cao về trị số  $E_b$  của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng phải xác định bằng thực nghiệm theo tiêu chuẩn hiện hành.

Nhìn chung môđun đàn hồi của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng nhỏ hơn nhiều so với bê tông nặng, vì môđun đàn hồi cốt liệu

rỗng nhỏ hơn cốt liệu đặc chắc. Do vậy biến dạng của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng thường lớn hơn bê tông nặng từ  $1,5 \div 2$  lần. Biến dạng khi nén của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng đạt từ  $0,6 \div 2\text{mm/m}$ , khi kéo đạt  $0,2 \div 0,3\text{mm/m}$ . Các biến dạng co ngót và từ biến của bê tông nhẹ cũng lớn hơn bê tông nặng chừng  $20 \div 30\%$  : biến dạng co ngót đạt tới từ  $1 \div 1,5 \text{ mm/m}$ , từ biến đạt  $1,5 \div 9\text{mm/m}$ .

Đối với các loại bê tông dùng trong các kết cấu cách nhiệt cần phải quan tâm đến hệ số dẫn nhiệt. Nói chung bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có khối lượng thể tích càng thấp thì có hệ số dẫn nhiệt càng nhỏ. Bê tông cách nhiệt thường có trị số  $\lambda = 0,1 \div 0,2 \text{ kcal/(m}^\circ\text{C.h)}$ , còn bê tông công trình cách nhiệt có  $\lambda = 0,15 \div 0,55 \text{ kcal/(m}^\circ\text{C.h)}$ . Các yếu tố cơ bản khác ảnh hưởng đến hệ số dẫn nhiệt là độ ẩm và nhiệt độ. Độ ẩm của bê tông nhẹ càng tăng thì hệ số dẫn nhiệt của nó càng tăng.

Đối với các loại bê tông công trình và công trình cách nhiệt phải quan tâm đến khả năng dính kết của chúng với cốt thép. Các loại bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có cường độ nén  $R_n \geq 100 \text{ daN/cm}^2$  đảm bảo được khả năng dính kết với cốt thép như trong bê tông nặng. Những loại bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có cường độ thấp hơn  $R_n < 100 \text{ daN/cm}^2$  và với lượng dùng xi măng dưới  $200 \text{ kg/m}^3$  bê tông thì khả năng dính kết với cốt thép không cao, đồng thời thường không bảo vệ cốt thép khỏi gỉ ; vì vậy phải áp dụng các biện pháp tăng khả năng neo chắc cốt thép trong bê tông và xử lý chống gỉ cho cốt thép.

## **7.3. CỐT LIỆU RỖNG TRONG BÊ TÔNG NHẸ CỐT LIỆU RỖNG**

### **7.3.1. Phân loại cốt liệu rỗng**

Theo nguồn gốc có thể chia cốt liệu rỗng ra hai loại là : cốt liệu rỗng tự nhiên và cốt liệu rỗng nhân tạo.

Cốt liệu rỗng tự nhiên có nguồn gốc núi lửa (đá bọt, tuff núi lửa, xỉ núi lửa) hoặc nguồn gốc trầm tích (đá vôi, đá dolômít rỗng, tuff đá vôi, trepen - diatômít v.v...).

*Cốt liệu rỗng nhân tạo được chia thành hai nhóm chính.*

- *Nhóm thứ nhất* : cốt liệu rỗng thu được qua gia công cơ học các loại xỉ xốp là những thái phẩm của công nghiệp luyện kim, hóa chất hoặc năng lượng.

- *Nhóm thứ hai* : nhóm cốt liệu rỗng nhân tạo chế tạo bằng cách nung đất sét, diệp thạch, thủy tinh núi lửa làm phồng nở thành dạng hạt sau đó qua các khâu gia công cơ học (sàng phân loại hoặc đập nhỏ rồi sàng phân loại) để đạt được cốt liệu rỗng kích thước và cấp phối hạt cần thiết. Cốt liệu rỗng nhân tạo có chất lượng cao và ổn định nhưng thường có giá thành cao hơn các loại cốt liệu rỗng tự nhiên.

Theo kích thước hạt người ta phân chia cốt liệu rỗng ra hai loại là cốt liệu lớn (sỏi hoặc dăm xốp) và cốt liệu bé (cát xốp hoặc cát thường).

Sỏi xốp có được do nung các viên phối liệu đã được chuẩn bị từ trước để làm phồng nở chúng, hoặc do tạo hạt chuyên dụng từ xỉ nóng chảy. Sỏi xốp có bề mặt hạt nhẵn tạo nên bởi các màng thiêu kết khi nung. Dăm xốp được tạo do đập nhỏ và sàng phân loại các cục đá xốp nguồn gốc tự nhiên hay nhân tạo. Dăm gồm các hạt có góc cạnh với bề mặt nhám ráp và có nhiều lỗ rỗng hở. Dăm và sỏi xốp với kích thước hạt từ  $5 + 40\text{mm}$  thường được chia thành ba cấp hạt :  $5 + 10\text{mm}$ ,  $10 + 20\text{mm}$ ,  $20 + 40\text{mm}$ .

Cốt liệu bé dùng trong bê tông nhẹ cốt liệu rỗng là các loại cát tự nhiên hay cát xốp với kích thước hạt từ  $0 + 5\text{mm}$  ; đôi khi người ta còn phân ra hai cấp hạt  $0 + 1,25\text{mm}$  và  $1,25 + 5\text{mm}$ .

### **7.3.2. Một số loại cốt liệu rỗng thường gặp**

1) **Keramzit** : là loại cốt liệu rỗng nhân tạo chế tạo bằng cách nung làm phồng nở những viên đất sét dễ chảy đã được chuẩn bị sẵn, hoặc dùng bột đất sét hoặc diệp thạch trộn với nước và nhiên liệu (có thể dùng một phần tro bay nhiệt điện trong thành phần phối liệu) sau đó tạo hạt bằng máy vè viên hay máy dùn ép, rồi đem nung. Cốt liệu được tạo ra là



các loại hạt sỏi hình cầu, bầu dục hoặc hình trụ. Keramzit có thể chế tạo bằng lò quay : nguyên liệu dạng bột đã khuấy thành bùn được cấp vào đầu cao hơn của lò, quá trình tạo thành viên và nung làm phồng nở xảy ra trong lò quay ; các viên sỏi keramzit được lấy ra ở đầu thấp của lò và được sàng phân cấp.

Nhìn chung cốt liệu keramzit có cấu trúc rỗng bé, gồm chủ yếu là các lỗ rỗng kín, bề mặt hạt nhẵn do thiếu kết, khối lượng thể tích rời tự nhiên từ  $500 \div 1200 \text{ kg/m}^3$ , cường độ ép vỡ trong xi lanh từ  $14 \div 65 \text{ daN/cm}^2$  ; độ hút nước 24 giờ từ  $5 + 20\%$  khối lượng vật liệu khô.

Cát keramzit nhận được bằng cách đập và nghiền những hạt lớn hơn ra, sau đó sàng phân loại đạt cấp hạt cần thiết. Cát keramzit là loại cốt liệu rỗng xốp có cường độ không cao, lượng nước yêu cầu lớn ( $11 + 18\%$ ). Cường độ thấp của cát keramzit cũng như các loại cát xốp khác ảnh hưởng rất nhiều đến cường độ bê tông nhẹ, vì vậy để đạt yêu cầu cường độ trong nhiều trường hợp người ta thay một phần hay toàn bộ cát xốp bằng cát thường. Ngoài ra cần lưu ý là cát keramzit thường có giá thành cao hơn cát tự nhiên.

**2) Aglôpôrit :** là loại hạt rỗng được tạo nên do thiếu kết và kết tụ trên ghi lò đối với các loại đất sét dễ chảy, hoặc phế liệu khai thác than, cũng như các loại tro xỉ... Mặc dù loại này có ưu điểm hơn keramzit là nguồn nguyên liệu ban đầu dồi dào, dễ kiếm và chi phí nhiên liệu để sản xuất cốt liệu thấp hơn ; nhưng so với keramzit nó có nhiều nhược điểm : do chủ yếu là các lỗ rỗng hở thông nhau và bề mặt hạt gồ ghề lồi lõm nên aglôpôrit có cấu trúc kém ổn định hơn, cường độ thấp hơn (cường độ ép vỡ trong xi lanh đạt từ  $6 + 20 \text{ daN/cm}^2$ ) độ hút nước cao hơn, lượng vữa và hồ xi măng trong bê tông lớn hơn, dẫn đến làm tăng đáng kể khối lượng thể tích của bê tông nhẹ.

Cát aglôpôrit nhận được bằng cách sàng lấy phần hạt nhỏ được tạo nên do đập aglôpôrit thành dăm.

**3) Xi xốp :** còn gọi là đá bọt xi hoặc termozit được chế tạo bằng cách làm phồng nở xi nóng chảy trong lò sau đó làm nguội, đập nhỏ và sàng phân loại. Xi xốp dạng cục có cường

độ nén đạt từ  $25 \div 150 \text{ daN/cm}^2$ . Dăm từ đá bột xi này có khối lượng thể tích từ  $600 \div 1300 \text{ kg/m}^3$ . Loại cốt liệu này tuy có cường độ cao hơn, nhưng cũng có nhược điểm như aglôpôrit.

4) **Xi hạt** : là một dạng sỏi rỗng được tạo nên bằng phương pháp chuyên dụng như sau : xi nóng chảy có nhiệt độ  $\geq 1200^\circ\text{C}$  được gia công với một lượng nước nhất định, qua cấp liệu rung có bộ phận làm nguội bằng nước phân phối vào một tang quay, các cạnh của tang quay xé xi lỏng thành những hạt nhỏ bắn vào không khí rồi rắn lại thành những hạt nhỏ hình cầu chứa các lỗ rỗng ở bên trong ; lỗ rỗng được tạo nên do nước hóa hơi trong lòng các hạt xi nóng chảy. Đây là cốt liệu rỗng có chất lượng cao hơn so với xi xốp nói trên.

Ngoài những loại cốt liệu rỗng trên có thể sử dụng nhiều loại cốt liệu rỗng khác như : đá bọt, xi núi lửa, tuff núi lửa, perlit phồng nở, vermiculit phồng nở, tuff đá vôi, đá sò ốc.

### 7.3.3. Tính chất cốt liệu rỗng

Các tính chất cốt liệu ảnh hưởng lớn đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông nhẹ là : hình dáng và cấu trúc bề mặt hạt, khối lượng thể tích, cỡ hạt lớn nhất, cường độ, độ ẩm và độ hút nước

#### 1) Ảnh hưởng của hình dạng hạt và cấu trúc bề mặt hạt

Cốt liệu rỗng có thể khác biệt lớn về hình dạng và cấu trúc bề mặt hạt. Hình dạng hạt cốt liệu có thể là hình lập phương, tứ diện đều hay không đều cạnh, hình cầu, bầu dục, trụ. Cấu trúc bề mặt hạt có thể trơn nhẵn hoặc gồ ghề nhám ráp nhiều vết rỗ với vô số lỗ rỗng hở. Nói chung hình dạng và cấu trúc bề mặt hạt cốt liệu rỗng ảnh hưởng đến : tính công tác, tỷ lệ cốt liệu bé/cốt liệu lớn, lượng dùng xi măng và nước của hỗn hợp bê tông.

Dăm rỗng và cát nhẹ gồm những hạt hình dáng không xác định, với bề mặt hạt gồ ghề góc cạnh có tổng tỷ diện lớn, nhiều lỗ rỗng hở và độ rỗng giữa các hạt lớn. Để lấp đầy phần rỗng đó và tạo một lớp hồ đủ gián cách và bôi trơn giữa các hạt cốt liệu để hỗn hợp không bị phân tầng và có tính công tác

tốt cần phải dùng lượng hồ xi măng lớp gấp  $1,5 \div 2$  lần so với khi dùng đá dăm và cát thường dẫn đến làm tăng đáng kể khối lượng thể tích của bê tông nhẹ. Tuy nhiên bề mặt nhám ráp cao của cốt liệu cũng có ưu điểm là đảm bảo sự gắn kết tốt giữa đá xi măng và cốt liệu. Ngược lại sỏi keramzit có dạng hạt hình cầu, bầu dục hoặc hình trụ bề mặt hạt trơn nhẵn nhờ có màng thiêu kết không chứa các lỗ rỗng hở nên có độ hút nước nhỏ, ít hút nước từ hồ xi măng trong hỗn hợp bê tông khi mới trộn, đảm bảo cho hỗn hợp bê tông keramzit có tính công tác tốt mà không cần phải tăng đáng kể lượng dùng xi măng và nước so với hỗn hợp từ cốt liệu đặc chắc.

## 2) Ảnh hưởng của khối lượng thể tích cốt liệu rỗng

Khối lượng thể tích tự nhiên của cốt liệu rỗng thấp hơn nhiều so với cốt liệu đặc chắc.

Trong bê tông nhẹ cốt liệu rỗng thường dùng cốt liệu lớn có khối lượng thể tích  $\rho_{vd}^k \leq 900 \text{ kg/m}^3$  và cát xốp có khối lượng thể tích  $\rho_{vc}^k \leq 1100 \text{ kg/m}^3$ . Khối lượng thể tích của cốt liệu rỗng càng thấp sẽ tạo được bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có khối lượng thể tích càng nhỏ. Với cùng một loại cốt liệu rỗng khi khối lượng thể tích càng thấp thì cường độ của nó càng nhỏ sẽ cho bê tông nhẹ có cường độ càng thấp. Vì vậy trong một số trường hợp phải thay một phần hoặc toàn bộ cát xốp bằng cát nặng để thỏa mãn yêu cầu về cường độ bê tông nhẹ.

Với bê tông nhẹ loại công trình và công trình cách nhiệt mật độ thể tích của cốt liệu rỗng trong hỗn hợp bê tông (tức thể tích chiếm chỗ của dăm sỏi rỗng trong một đơn vị thể tích hỗn hợp bê tông) có ảnh hưởng đáng kể đến các tính chất chủ yếu của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng. Để giảm nhẹ khối lượng thể tích của bê tông cần nâng đến tối đa mật độ thể tích cốt liệu rỗng, tuy nhiên không thể vượt quá một giá trị nào đó, vì cần một lượng vừa đủ để lấp đầy khoảng trống giữa các hạt cốt liệu với mức gián cách nào đó mới đảm bảo được tính công tác của hỗn hợp bê tông và yêu cầu về cường độ của bê tông.

### 3) Ảnh hưởng của cỡ hạt lớn nhất ( $D_{\max}$ )

Cốt liệu rỗng thông thường được phân ra ba cấp hạt  $5 \div 10$ ,  $10 \div 20$  và  $20 \div 40\text{mm}$ . Cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu rỗng cũng gây ảnh hưởng đến tính công tác, tỷ lệ cốt liệu bê/cốt liệu lớn và lượng dùng xi măng của hỗn hợp bê tông nhẹ tương tự như trong hỗn hợp bê tông nặng (chương 5); đồng thời nó còn ảnh hưởng đến cường độ và độ co ngót của bê tông nhẹ.

### 4) Ảnh hưởng của cường độ cốt liệu rỗng

Cường độ của các loại cốt liệu rỗng khác nhau thay đổi theo loại và nguồn gốc của chúng, thường được đánh giá gián tiếp theo cường độ ép vỡ hạt trong xilanh. Trong hỗn hợp cốt liệu rỗng có thể gặp những hạt rất dai và cứng lẫn với những hạt giòn và yếu. Nhưng vẫn có thể dùng hỗn hợp cốt liệu rỗng như vậy để chế tạo bê tông nhẹ có cường độ khá cao và cao hơn nhiều so với cường độ cốt liệu. Điều đó được giải thích là do thành phần vữa xi măng xâm nhập vào lỗ rỗng cốt liệu tạo nên một lớp vỏ bền chắc bao bọc hạt cốt liệu rỗng làm cho hai thành phần này làm việc đồng thời trong mọi trường hợp chịu tải và thực tế có sự phân bố lại ứng suất trong bê tông nhẹ nâng cao khả năng chịu lực của nó. Như vậy mối quan hệ giữa cường độ cốt liệu rỗng  $R_k$  và cường độ bê tông  $R_b$  còn chịu ảnh hưởng của cường độ vữa xi măng  $R_v$ , cùng một loại cốt liệu rỗng nếu tăng cường độ vữa xi măng sẽ làm tăng cường độ bê tông. Nhưng với mỗi loại cốt liệu rỗng có một giới hạn cường độ của bê tông  $R_b^h$  và khi đã đạt tới giới hạn cường độ đó nếu có tăng cường độ của vữa xi măng thì cường độ của bê tông tăng không đáng kể (hình 7-2a).

Giới hạn cường độ  $R_b^h$  được tăng lên đáng kể nếu giảm kích thước  $D_{\max}$  của cốt liệu lớn. Đối với cốt liệu càng yếu và giòn thì quy luật đó thể hiện càng rõ.

Ví dụ dùng một loại cốt liệu rỗng chế tạo bê tông nhẹ với cùng một lượng dùng xi măng là  $450 \text{ kg/m}^3$  (có thể coi như cùng giá trị  $R_v$ ). Giá trị cường độ nén  $R_b$  đạt được là 345, 426, 524 daN/cm<sup>2</sup> tương ứng với các giá trị  $D_{\max}$  là 19, 13, 10mm.

Đồng thời khối lượng thể tích của bê tông  $m_{vb}^k$  trong hai trường hợp sau tăng lên so với trường hợp đầu tương ứng là 48 ; 80  $\text{kg/m}^3$ .

Biến dạng của cốt liệu rỗng lớn hơn so với cốt liệu đặc chắc do vậy làm giảm mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ, nhưng nó cũng có tác dụng làm giảm ảnh hưởng bất lợi do sự co ngót của đá xi măng, ngăn ngừa xuất hiện hiện tượng nứt do co ngót, vì khi đóng rắn đá xi măng bị co ngót thì cốt liệu rỗng do có khả năng biến dạng lớn cũng co theo, hạn chế được tổn hại cấu trúc bê tông do hiện tượng co ngót đá xi măng gây ra.

#### 5) Ảnh hưởng của độ ẩm và độ hút nước của cốt liệu rỗng

Cốt liệu rỗng sau 24 giờ ngâm trong nước có độ hút nước đạt từ 5 + 20% khối lượng mẫu khô tùy thuộc vào cấu trúc rỗng hạt cốt liệu.

Khi bảo quản trong các kho hở tùy thuộc thời gian lưu kho và độ ẩm không khí xung quanh cốt liệu rỗng có thể có độ ẩm thay đổi trong một khoảng rộng.

So với cốt liệu đặc chắc, cốt liệu rỗng có độ hút nước cao hơn và phần lớn độ ẩm trong cốt liệu được hấp thụ vào bên trong các hạt (với cốt liệu đặc chắc, độ ẩm chủ yếu ở trên bề mặt các hạt). Vì vậy lượng ẩm trong cốt liệu rỗng không thể nhanh chóng chuyển cho xi măng trong khi đó gần như toàn bộ lượng ẩm của cát tự nhiên là ẩm bề mặt và có thể chuyển cho xi măng ngay sau khi trộn hỗn hợp bê tông.

Khi nhào trộn hỗn hợp bê tông, cốt liệu rỗng hút một phần nước từ vữa xi măng, quá trình đó xảy ra mạnh mẽ nhất ở 10 + 15 phút đầu kể từ khi trộn với nước. Khối lượng nước được cốt liệu rỗng hút phụ thuộc vào loại hỗn hợp bê tông (khối lượng đó lớn hơn với hỗn hợp bê tông lưu động và nhỏ đối với hỗn hợp bê tông cứng) vào độ ẩm ban đầu của cốt liệu, thường chỉ đạt chừng 50 + 70% độ hút nước 24 giờ của cốt liệu ; vì hồ xi măng trong hỗn hợp bê tông có năng lực giữ nước, nó

hấp phụ lên bề mặt hạt cốt liệu và ngăn cản sự hấp phụ nước tiếp theo của cốt liệu.

Để khắc phục hiện tượng giảm độ lưu động hoặc tăng độ cứng do cốt liệu rỗng hút nước, phải tăng lượng dùng nước ban đầu cho hỗn hợp bê tông. Mức độ tăng lượng dùng nước phụ thuộc vào hàm lượng cốt liệu rỗng, độ hút nước của cốt liệu lớn và vào lượng nước yêu cầu của cát xốp.

Sự hút nước của cốt liệu rỗng cũng có tác dụng cải thiện năng lực giữ nước của hỗn hợp bê tông, làm giảm khả năng phân tầng của hỗn hợp lưu động cho phép sử dụng hỗn hợp bê tông nhẹ với tỷ lệ N/X cao. Với hỗn hợp bê tông cứng cốt liệu rỗng dễ bị phân tầng khi chấn động kéo dài.

Ngoài ra, do chứa một lượng ẩm bên trong nên có khả năng trao đổi ẩm với hồ xi măng, ảnh hưởng lớn đến sự hình thành cấu trúc bê tông. Ở giai đoạn ban đầu sau khi trộn và tạo hình, cốt liệu rỗng hút ẩm từ hồ xi măng tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành lớp tiếp xúc đá xi măng - cốt liệu đặc chắc và bền vững hơn. Ở giai đoạn sau, trong quá trình rắn chắc của bê tông, khi nước trong xi măng đã giảm xuống do quá trình thủy hóa xi măng và do bay hơi thì cốt liệu rỗng chuyển trả cho xi măng lượng nước đã hút trước đây, tạo điều kiện thuận lợi để phản ứng thủy hóa tiếp tục xảy ra, đồng thời có tác dụng hạn chế hiện tượng co ngót trong đá xi măng.

#### **7.4. CÁC NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN KHỐI LƯỢNG THỂ TÍCH VÀ CƯỜNG ĐỘ CỦA BÊ TÔNG NHẸ CỐT LIỆU RỖNG**

Khối lượng thể tích ở trạng thái khô  $m_{vb}^k$  và cường độ  $R_b$  là hai chỉ tiêu chất lượng quan trọng không thể tách rời của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng. Chúng chịu ảnh hưởng chủ yếu của loại, lượng dùng và cường độ của cốt liệu rỗng cũng như phần vữa trong bê tông.

### 7.4.1. Các nhân tố ảnh hưởng đến khối lượng thể tích

Đối với bê tông nhẹ cốt liệu rỗng cấu trúc đặc chắc và bán đặc chắc, phần rỗng giữa các hạt cốt liệu lớn được lấp đầy bằng vữa (đặc hoặc rỗng), có thể xác định khối lượng thể tích của bê tông theo công thức :

$$m_{vb}^k = \rho_{vk} \cdot \varphi + \rho_{vv}(1 - \varphi), \text{ kg/m}^3. \quad (1)$$

trong đó :  $\rho_{vk}$  và  $\rho_{vv}$  là khối lượng thể tích cốt liệu lớn và khối lượng thể tích của vữa ở trạng thái khô  $\text{kg/m}^3$  ;  
 $\varphi$  - mật độ thể tích của cốt liệu lớn  $\text{m}^3/\text{m}^3$  ;  
 $(1-\varphi)$  - thể tích vữa trong  $1\text{m}^3$  bê tông,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ .

Từ công thức (1) ta thấy, muốn giảm khối lượng thể tích bê tông nhẹ cần giảm khối lượng thể tích của cốt liệu rỗng (tức là dùng cốt liệu rỗng có phẩm chất cao) hoặc giảm khối lượng thể tích phần vữa (dùng vữa nhẹ) hoặc tăng mật độ cốt liệu rỗng, cũng có nghĩa là giảm tương ứng lượng vữa trong bê tông.

Tuy vậy để đảm bảo yêu cầu về cường độ của bê tông nhẹ cần phải có đủ lượng vữa để lấp đầy thể tích rỗng giữa các hạt và tạo một màng vữa bao bọc các hạt cốt liệu lớn vốn có cường độ thấp hơn cường độ vữa. Mặt khác để đảm bảo cho hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt cũng phải tạo cho cốt liệu lớn có một khoảng giãn cách nhất định, vì vậy không thể tùy tiện tăng mật độ cốt liệu rỗng. Kinh nghiệm nghiên cứu và sản xuất cho thấy mật độ cốt liệu lớn trong bê tông nhẹ chỉ nên giới hạn ở những giá trị  $\varphi \leq 0,54$ . Hiện nay, trong sản xuất bê tông nhẹ cốt liệu rỗng giá trị  $\varphi$  được quyết định căn cứ vào khối lượng thể tích cần đạt của bê tông, khối lượng thể tích cốt liệu rỗng, lượng nước yêu cầu của cát, cũng như tính công tác của hỗn hợp bê tông và thường dao động trong khoảng  $\varphi = 0,27 + 0,54$ .

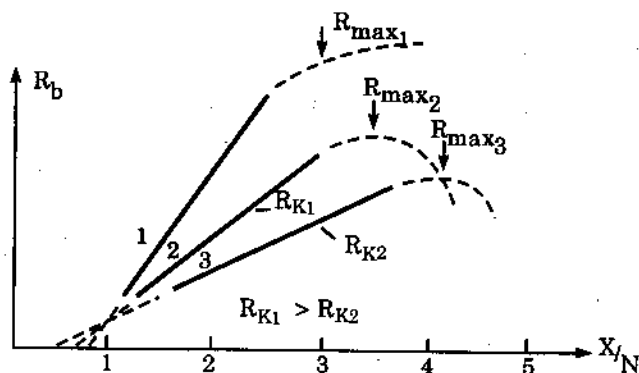
Để giảm thể tích phần vữa trong bê tông, tức là tăng giá trị của  $\varphi$  lên gần giới hạn trên có thể dùng các biện pháp : cải thiện cấp phối hạt cốt liệu rỗng, chọn tỷ lệ phối hợp hợp lý giữa các cấp hạt để giảm độ rỗng giữa các hạt cốt liệu, dùng hỗn hợp bê tông cứng vữa và cứng kết hợp chấn động hợp lý khi tạo hình.

Giảm khối lượng thể tích phần vữa cũng là một biện pháp hữu hiệu để giảm khối lượng thể tích của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng ; và có thể thực hiện được nhờ dùng cát nhẹ, sử dụng xi măng mác cao để giảm lượng dùng của nó, tạo rỗng cho vữa bằng phương pháp tạo khí, tạo bọt khí hoặc ngâm khí.

#### 7.4.2. Các nhân tố ảnh hưởng đến cường độ

Cường độ của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng chịu ảnh hưởng của tỷ lệ  $N/X$ , cường độ vữa  $R_v$ , cường độ cốt liệu rỗng  $R_k$ , loại và mật độ ( $\varphi$ ) cốt liệu rỗng.

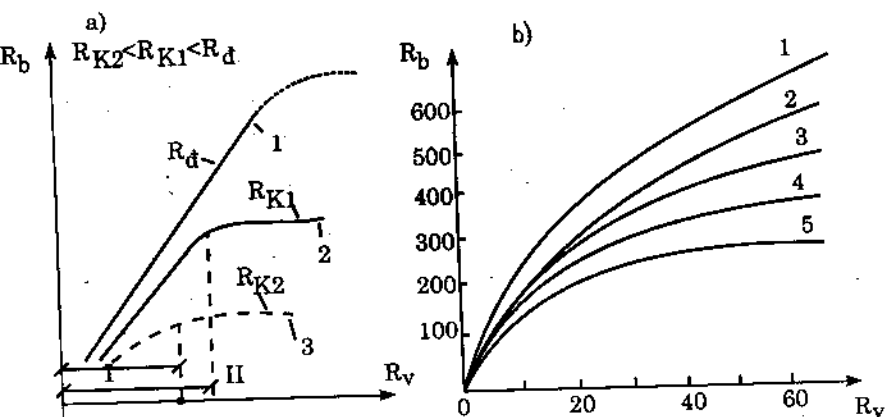
Tỷ lệ  $N/X$  (hay  $X/N$ ) là nhân tố cơ bản quyết định tính chất của đá xi măng mà trước hết là cường độ vữa xi măng khi các nhân tố khác không thay đổi. Nhưng do cốt liệu rỗng có cường độ nhỏ hơn nhiều so với cường độ vữa nên bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có cường độ nhỏ hơn so với bê tông cốt liệu đặc chắc và mật độ của cốt liệu rỗng càng lớn thì cường độ của bê tông nhẹ càng giảm. Do vậy các đường cong quan hệ  $R_b = f(X/N)$  của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng luôn ở mức thấp hơn bê tông nặng ; đồng thời khi cốt liệu rỗng có cường độ khác nhau thì cường độ bê tông nhẹ cũng khác nhau (hình 7-1).



Hình 7-1. Quan hệ giữa cường độ của bê tông nặng (1) và của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng (2 và 3) với tỷ lệ  $X/N$ .



Cường độ vữa xi măng ( $R_v$ ) ảnh hưởng rất lớn đến cường độ bê tông nhẹ cốt liệu rỗng ( $R_b$ ). Nhưng mối quan hệ phụ thuộc giữa  $R_b$  và  $R_v$  còn chịu ảnh hưởng của cường độ cốt liệu rỗng. Sự phụ thuộc này tuân theo quy luật đường thẳng trong một giới hạn nào đó ; quá giới hạn này sự tăng cường độ vữa sẽ không có tác dụng làm tăng cường độ bê tông, giới hạn này càng lớn khi cường độ cốt liệu lớn càng cao (hình 7-2).



**Hình 7-2. Ảnh hưởng của cường độ sỏi keramzit và của vữa đến cường độ bê tông keramzit.**

a - quy luật chung : 1 - bê tông từ đá dăm granit ;  
2, 3 - bê tông nhẹ cốt liệu rỗng ;

I - vùng cường độ bê tông tăng ;

II - vùng sau giới hạn cường độ.

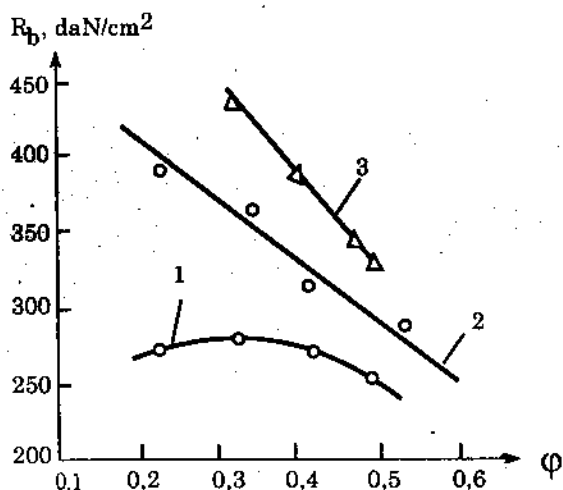
b - kết quả thực nghiệm với keramzit có cường độ  
( $\text{daN/cm}^2$ ) : 1 - 70 ; 2 - 50 ; 3 - 40 ; 5 - 20.

Như vậy muốn tăng cường độ của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng ngoài việc tăng cường độ vữa phải tăng đồng thời cường độ cốt liệu rỗng.

Cường độ cốt liệu rỗng  $R_k$  thực sự ảnh hưởng đến cường độ của bê tông nhẹ (hình 7-2b). Để chế tạo bê tông nhẹ cốt liệu rỗng đạt những mác khác nhau cần phải chọn thích hợp

loại cốt liệu rỗng, phát huy khả năng chịu lực của cả xi măng và cốt liệu, tức là cần phải đảm bảo chế tạo bê tông nhẹ tương ứng với vùng I trên đường cong quan hệ  $R_b = f(R_v)$  (hình 7-2a) không dùng cốt liệu rỗng có cường độ thấp chế tạo bê tông nhẹ mác cao để phải tăng quá nhiều giá trị  $R_v$  dẫn đến phải sử dụng vùng II. Chỉ khi có yêu cầu đặc biệt về độ đặc của bê tông nhẹ thì mới chế tạo bê tông tương ứng vùng II.

Mật độ thể tích cốt liệu rỗng  $\varphi$  là nhân tố ảnh hưởng lớn đến cường độ bê tông nhẹ. Cốt liệu lớn trong bê tông nhẹ có độ rỗng lớn, có cường độ nhỏ hơn cường độ vừa khá nhiều, nên nếu tăng mật độ  $\varphi$  thì cường độ bê tông nhẹ giảm đi (hình 7-3). Tuy nhiên quy luật trên chỉ hoàn toàn đúng khi tỷ lệ  $R_v/R_k$  khá lớn; có nghĩa là quan hệ  $R_b = f(\varphi)$  còn phụ thuộc vào tỷ lệ  $R_v/R_k$ .



Hình 7-3. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu lớn  $\varphi$  đến cường độ bê tông

- 1 - cường độ bê tông có cực trị khi  $R_v/R_k = 5,7$  ;
- 2 - cường độ vừa cao,  $\varphi$  tăng ( $R_v/R_k = 7,5$ ) thì  $R_b$  giảm ;
- 3 - cường độ vừa cao,  $\varphi$  tăng ( $R_v/R_k = 10,6$ ) thì  $R_b$  giảm.

Khi cường độ vừa  $R_v$  cao tức là tỷ lệ  $R_v/R_k$  cao thì nếu tăng giá trị của  $\varphi$  cường độ bê tông sẽ liên tục giảm (đường thẳng 2 và 3 hình 7-3). Còn khi cường độ vừa chênh lệch ít hơn so với cường độ cốt liệu rỗng, tức là tỷ lệ  $R_v/R_k$  nhỏ hơn thì có một giá trị tối ưu đảm bảo cho cường độ bê tông nhẹ có một giá trị cực đại (đường cong 1 hình 7-3). Khi chế tạo bê tông nhẹ với tỷ lệ  $R_v/R_k$  thấp cần phải chọn mật độ cốt liệu lớn  $\varphi$  sao cho có thể đạt được cường độ thiết kế của bê tông trùng với giá trị cực đại này.

Một nhân tố quan trọng quyết định cường độ bê tông nhẹ cốt liệu rỗng là lượng dùng xi măng, lượng dùng xi măng lại phụ thuộc chủ yếu vào lượng nước yêu cầu của hỗn hợp bê tông. Lượng dùng nước cần thiết của hỗn hợp bê tông nhẹ cốt liệu rỗng tương đối lớn dao động trong một phạm vi rộng phụ thuộc vào độ rỗng, tính chất rỗng của cốt liệu, bề mặt hạt của cốt liệu. Do tính hút nước lớn của cốt liệu nên mặc dù hỗn hợp bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có lượng dùng nước lớn vẫn ít lưu động, tính công tác kém, tương đối dễ phân tầng.

Để khắc phục điều này và giảm lượng cần nước cho hỗn hợp bê tông nên dùng phụ gia hoạt tính bề mặt loại kỵ nước. Ngoài ra việc sử dụng lượng phụ gia tạo khí tạo bọt khi trộn để tạo rỗng trong đá xi măng làm giảm khối lượng thể tích bê tông nhẹ và cải thiện những đặc trưng lưu biến của hỗn hợp bê tông.

## **7.5. THIẾT KẾ CẤP PHỐI BÊ TÔNG NHẸ CỐT LIỆU RỎNG THEO PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KẾT HỢP VỚI THỰC NGHIỆM**

Các thông số ban đầu cần biết khi chọn cấp phối bê tông nhẹ cốt liệu rỗng là mức về cường độ nén và khối lượng thể tích ở trạng thái khô của bê tông, chỉ tiêu tính công tác (độ sụt hoặc độ cứng) của hỗn hợp bê tông, loại và các chỉ tiêu tính chất của các vật liệu sử dụng (mác xi măng, loại cốt liệu lớn, loại cát, khối lượng thể tích cốt liệu lớn, khối lượng riêng của cát...).

Để thiết kế cấp phối bê tông nhẹ cốt liệu rỗng có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau, tuy vậy cho đến nay phương pháp tính toán kết hợp với thực nghiệm của giáo sư I. U. M. Bazrenov (Nga) đạt được độ chính xác cao nhất, vì khi xác định cấp phối sơ bộ đã sử dụng triệt để các quan hệ phụ thuộc và có xét đến ảnh hưởng của các loại cốt liệu rỗng khác nhau tới các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông nhẹ. Theo phương pháp này đầu tiên xác định cấp phối sơ bộ, sau đó tiến hành điều chỉnh cấp phối bằng các mẻ trộn thí nghiệm.

### 7.5.1. Những vấn đề chung khi thiết kế cấp phối sơ bộ

Khác với bê tông nặng, khi thiết kế cấp phối bê tông nhẹ cốt liệu rỗng cần phải đảm bảo đồng thời ba chỉ tiêu là tính công tác của hỗn hợp bê tông, cường độ và khối lượng thể tích của bê tông ở trạng thái khô. Khối lượng thể tích này phụ thuộc vào tính chất và hàm lượng của cốt liệu rỗng nên cần xác định lượng dùng cốt liệu lớn và nhỏ để đạt được khối lượng thể tích yêu cầu của bê tông.

Để có cấp phối hợp lý với lượng dùng xi măng nhỏ nhất, cần phải chọn đúng các loại vật liệu sử dụng. Mác xi măng được quyết định căn cứ vào mác bê tông theo bảng 7-1. Bảng này giới thiệu mác xi măng (XM) nên dùng và cho phép dùng đối với bê tông nhẹ cốt liệu rỗng (BTNCLR) mác 150 ÷ 500.

**Bảng 7.1**

Mác BTNCLR		150	200	250	300	350	400	500
Mác xi măng	- Nên dùng	400	400	400	500	500	500	600
	- Cho phép dùng	300	300	300	400	400	400	500
		500	500	500 600	600	600	600	

Cường độ cốt liệu lớn cần đạt giá trị không thấp hơn các trị số trong bảng 7.2. Bảng này dùng để chọn mác cốt liệu

rỗng (CLR) tương ứng với mức thiết kế của bê tông. Tùy theo loại cốt liệu rỗng và độ ép vỡ trong xi lanh quy ra mức theo cường độ nén của CLR.

**Bảng 7.2**

Mức BTNCLR	Mức CLR cho theo cường độ nén	Cường độ ép vỡ của CLR trong xi lanh, (daN/cm <sup>2</sup> )		
		Sỏi	Dăm (trừ dăm aglôpôrit)	Dăm aglôpôrit
150	75	15	10	6
200	100	20	12	7
250	125	25	15	8
300	150	35	18	10
350	200	45	22	12
400	250	55	27	14
500	300	65	33	16

Khối lượng thể tích rời tự nhiên (đổ đóng) của cốt liệu rỗng không nên vượt quá các giá trị trong bảng 7.3. Trong bảng này cho mức lớn nhất theo khối lượng thể tích đổ đóng của cốt liệu lớn từ các loại sỏi rỗng hoặc dăm rỗng phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông nhẹ.

**Bảng 7.3**

Loại CLR	Khối lượng thể tích BTNCLR ở trạng thái khô, mẫu, (kg/m <sup>3</sup> )						
	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
Sỏi rỗng	-/500	-/600	-/700	600/800	700/900	800/-	900/-
Dăm rỗng	-	-/500	-/600	500/700	600/800	700/900	800/1000

*Ghi chú :* từ số là khối lượng thể tích của cốt liệu lớn khi dùng cốt liệu bé là cát thường ; mẫu số là khối lượng thể tích của cốt liệu lớn khi dùng cốt liệu bé là cát nhẹ.

Tỷ lệ phối hợp giữa các cấp hạt trong cốt liệu lớn nên lấy như sau : khi phối hợp hai cấp  $(5 \div 10) : (10 \div 20)$  là 40 : 60%, khi phối hợp 3 cấp  $(5 \div 10) : (10 \div 20) : (20 \div 40)$  là 20 : 30 : 50%. Cường độ trung bình của cốt liệu lớn tính theo công thức :

$$R_k = (R_{k1} \cdot x_1 + R_{k2} \cdot x_2 + R_{k3} \cdot x_3) : 100$$

trong đó :  $R_{k1}$ ,  $R_{k2}$ ,  $R_{k3}$  - cường độ nén của từng cấp cốt liệu lớn quy đổi từ độ ép vỡ trong xi lanh thép đường kính 120mm, daN/cm<sup>2</sup> ;

$x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  - hàm lượng của mỗi cấp hạt trong hỗn hợp cốt liệu, %.

Cát nhẹ dùng trong bê tông nhẹ mác 150 ÷ 500 cần đảm bảo môđun độ lớn 1,8 ÷ 2,5 và khối lượng thể tích đổ đồng không dưới 600 kg/m<sup>3</sup>. Đối với bê tông mác 150 có thể sử dụng cát perlit phồng nở có khối lượng thể tích không dưới 200 kg/m<sup>3</sup>, lượng hạt mịn lọt sàng 0,14mm không quá 10% theo thể tích. Ngoài ra đối với bê tông mác 150 ÷ 200 nếu mác xi măng vượt quá giá trị cho phép dùng trong bảng 7.1 có thể dùng cát có lượng lọt sàng 0,14 mm tới 25%.

Khi xác định lượng dùng xi măng có thể sử dụng các số liệu thực nghiệm trong bảng 7.4 và 7.5, có xét đến sự phụ thuộc của cường độ bê tông nhẹ không chỉ vào hoạt tính chất kết dính (mác xi măng) và tỷ lệ N/X, mà còn vào tính chất và hàm lượng cốt liệu lớn cũng như tính công tác của hỗn hợp bê tông. Bảng 7.4 cho lượng dùng xi măng đối với bê tông nhẹ từ cốt liệu lớn có  $D_{\max} = 20\text{mm}$  và cát thường, khi độ cứng hỗn hợp bê tông là 20 ÷ 30s. Còn bảng 7.5 cho hệ số thay đổi lượng dùng xi măng khi thay mác xi măng, loại cát, cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu và tính công tác của hỗn hợp bê tông. Đầu tiên theo bảng 7.4 xác định lượng dùng xi măng phụ thuộc vào mác bê tông và mác theo cường độ nén của cốt liệu lớn. Sau đó theo bảng 7.5 người ta điều chỉnh lượng dùng xi măng này phù hợp với tính chất của vật liệu sử dụng và tính công tác của hỗn hợp bê tông.

Bảng 7.4

Lượng dùng xi măng cho  $1m^3$  bê tông nhẹ cốt liệu rỗng

Mức BTNCLR	Mức xi măng nền dùng	Mức CLR theo cường độ hạt						
		75	100	125	150	200	250	300
150	400	300	280	260	240	230	220	210
200	400	-	340	320	300	280	260	250
250	400	-	-	390	360	330	310	290
300	500	-	-	-	420	390	360	330
350	500	-	-	-	-	450	410	380
400	500	-	-	-	-	-	480	450
500	600	-	-	-	-	-	570	540

Bảng 7.5

Hệ số hiệu chỉnh lượng dùng xi măng cho  $1m^3$  BTNCLR

Đặc tính vật liệu và tính công tác HHT	Mức BTNCLR						
	150	200	250	300	350	400	500
XM mức : 300	1,15	1,2	-	-	-	-	-
400	1	1	1	1,25	1,2	1,25	-
500	0,85	0,88	0,9	1	1	1,1	1,1
600	-	-	0,85	0,88	0,88	0,9	1
Cát : thường	1	1	1	1	1	1	1
nhẹ	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
$D_{max}$ CLR 40	0,9	0,9	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95
20	1	1	1	1	1	1	1
10	1,1	1,1	1,07	1,0	1,05	1,05	1,05
Độ cứng HHT : 20-30s	1	1	1	1	1	1	1
30-50s	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
50-80s	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Độ lưu động SN : 1-2cm	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
2-5cm	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
8-12cm	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Lượng dùng nước  $N_0$  được xác định trước hết theo tính công tác của hỗn hợp bê tông và loại cốt liệu lớn với giả thiết là dùng cát thường (bảng 7.6). Sau đó người ta hiệu chỉnh lượng dùng nước  $N_0$  đã xác định có xét đến các yếu tố khác ảnh hưởng đến lượng nước của hỗn hợp bê tông.

Đầu tiên phải xét đến ảnh hưởng của cốt liệu nhỏ vì loại, tính chất và lượng dùng của nó làm thay đổi đáng kể lượng dùng nước của hỗn hợp bê tông. Lượng nước yêu cầu của cát nhẹ, còn gọi là lượng cần nước ( $N_c$ ) được xác định theo phương pháp như đối với cát thường (5.1.3), nhưng dùng vữa có cấp phối xi măng : cát nhẹ = 1 : 2,28 theo thể tích :

$$N_c = \frac{(N/X) - N_{lc}}{2,28} 100$$

trong đó :  $N/X$  tỷ lệ nước/xi măng đảm bảo độ bết của vữa trên bàn nhảy đạt 170mm ;

$N_{lc}$  - lượng nước tiêu chuẩn (độ đặc tiêu chuẩn) của hồ xi măng, %.

**Bảng 7.6**

Hỗn hợp bê tông có		Lượng dùng nước $N_0$ , (l/m <sup>3</sup> ) cho hỗn hợp bê tông dùng cát thường ( $N_c = 7\%$ )					
Độ sụt (cm)	Độ cứng (s)	$D_{max}$ mm, đối với					
		Sỏi			Đã		
		10	20	40	10	20	40
8-12	-	235	220	205	265	250	235
3-7	-	220	205	190	245	230	215
1-2	10-20	205	190	175	225	210	195
-	20-30	195	180	165	215	200	185
-	30-50	185	170	160	200	185	175
-	50-80	175	160	150	190	175	165

Lượng nước yêu cầu của cát nhẹ lớn gấp 2 ÷ 2,5 lần so với của cát thường. Ví dụ : đối với cát keramzit  $N_{cn} = 13 \div 16\%$ , đối với đá bọt xỉ (termôzit)  $N_{cn} = 16 \div 18\%$ .



Khi lượng dùng cát trung bình là  $250 \text{ l/m}^3$  tính ra thể tích riêng phần của cát tức thể tích chiếm chỗ của cát trong hỗn hợp bê tông ; nếu lượng nước yêu cầu của cát thay đổi 1% sẽ tương ứng với sự thay đổi lượng nước  $0,02 \text{ l/l}$  thể tích riêng phần của cát. Trong bảng 7.6 người ta đã giả thiết là dùng cát thường có lượng nước yêu cầu  $N_c = 7\%$ . Vậy khi dùng cát có lượng nước yêu cầu  $N_c$  khác đi thì lượng nước trong hỗn hợp bê tông phải được hiệu chỉnh là :

$$\Delta N_1 = 0,02(C/\rho_c)(N_c - 7), \quad (3)$$

trong đó :  $C$  - lượng dùng cát,  $\text{kg/m}^3$  ;

$\rho_c$  - khối lượng riêng đối với cát thường và là khối lượng riêng phần của cát trong hồ xi măng đối với cát nhẹ. Khối lượng riêng phần là khối lượng 1 đơn vị thể tích hạt loại trừ thể tích hổng giữa các hạt.

Lượng dùng nước của hỗn hợp bê tông còn chịu ảnh hưởng của lượng dùng xi măng và mật độ  $\varphi$  của cốt liệu lớn. Khi lượng dùng xi măng  $X$  vượt quá  $450 \text{ kg/m}^3$  thì cứ 1 kg tăng lên của lượng dùng xi măng phải tăng lượng dùng nước  $\approx 0,15 \text{ l}$ . Vậy lượng dùng nước của hỗn hợp bê tông phải tăng lên là :

$$\Delta N_2 = 0,15(X - 450), \text{ l}. \quad (4)$$

Đối với bê tông công trình lượng dùng nước của hỗn hợp bê tông nhỏ nhất khi mật độ cốt liệu lớn  $\varphi = 0,35 \div 0,40$ . Khi  $\varphi$  khác giá trị này phải hiệu chỉnh lượng dùng nước theo công thức :

$$\Delta N_3 = 2000(\varphi - 0,37)^2. \quad (5)$$

Như vậy tổng lượng dùng nước của hỗn hợp bê tông là :

$$N = N_0 + \Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3. \quad (6)$$

Sau khi đã xác định được lượng dùng xi măng và nước, lượng dùng cốt liệu lớn ( $K$ ) và nhỏ ( $C$ ) có thể tính được bằng cách giải hệ phương trình :

$$m_{vb}^k = 1,15X + C + K, \quad (7)$$

$$\frac{X}{\rho_x} + \frac{C}{\rho_c} + \frac{K}{\rho_{vk}} + N = 1000, \quad (8)$$

trong đó :  $m_{vb}^k$  - khối lượng thể tích BTNCLR ở trạng thái khô,  $\text{kg/m}^3$  ;

1,15X - khối lượng đá xi măng (kg) trong  $1\text{m}^3$  BTNCLR tính với lượng nước liên kết hóa học bằng 15% lượng dùng xi măng ;

$\rho_x$  - khối lượng riêng của xi măng,  $\text{kg/l}$  ;

$\rho_c$  - khối lượng riêng của cát thường hoặc khối lượng riêng phần của cát nhẹ trong hồ xi măng,  $\text{kg/l}$  ;

$\rho_{vk}$  - khối lượng thể tích riêng phần của cốt liệu lớn,  $\text{kg/l}$  ;

X, C, K, N - lượng dùng xi măng, cát, cốt liệu lớn và nước, (kg) trong  $1\text{m}^3$  bê tông.

Về nguyên tắc thì sau khi thay giá trị N từ phương trình (6) vào phương trình (8) và giải hệ phương trình (7), (8) sẽ tìm được lượng dùng cốt liệu nhỏ và lớn. Tuy vậy, việc tính toán đó khá phức tạp, nên trong thực tế người ta sử dụng các bảng mật độ cốt liệu lớn  $\varphi$  là kết quả tính toán sẵn từ trước theo hệ phương trình (7), (8).

Bảng 7.7 và 7.8 cho mật độ cốt liệu lớn  $\varphi$  thay đổi phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông ở trạng thái khô, khối lượng riêng phần của cốt liệu lớn trong hồ xi măng, lượng dùng nước và xi măng, cũng như lượng nước yêu cầu của cát. Để có cùng khối lượng thể tích của bê tông ngay cả khi không thay đổi khối lượng thể tích cốt liệu lớn thì mật độ cốt liệu lớn cũng có thể thay đổi tới 1,5 ÷ 2 lần phụ thuộc vào lượng dùng xi măng, nước và lượng nước yêu cầu của cát. Vì yêu cầu đảm bảo khối lượng thể tích đã định của bê tông, nên trong một số trường hợp người ta buộc phải sử dụng cấp phối có mật độ cốt liệu lớn  $\varphi$  không tối ưu về mặt yêu cầu tính công tác của hỗn hợp bê tông, lúc này để có hỗn hợp bê tông không phân tầng, trị số  $\varphi$  cần đảm bảo không thấp hơn quá 0,025 và không cao hơn quá 0,050 so với trị số  $\varphi$  cho trong bảng 7.8, tức là phải đảm bảo điều kiện :

$$\varphi = (\varphi_{l,u} - 0,025) + (\varphi_{l,u} + 0,05)$$

trong đó :  $\varphi$  - trị số mật độ cốt liệu lớn được chọn để tính lượng dùng cốt liệu lớn ;

$\varphi_{l,u}$  - trị số mật độ cốt liệu lấy theo bảng 7.8 phụ thuộc vào độ rỗng giữa các hạt cốt liệu lớn và tính công tác hỗn hợp bê tông.

**Bảng 7.7**

$m_{\text{vỗ}}^k$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{\text{vỗ}}$ kg/l	Trị số $\varphi$ khi lượng nước yêu cầu của cát, %								
		6			8			10		
		và lượng dùng nước, (l)								
		160	200	240	160	200	240	160	200	240
1500	1	0,47	0,43	0,38	0,46	0,41	0,35	0,45	0,4	0,32
	1,2	0,5	0,46	0,42	0,5	0,45	0,4	0,48	0,44	0,38
	1,4	—	0,5	0,46	—	0,49	0,45	—	0,48	0,43
1600	1	0,43	0,38	0,32	0,42	0,35	0,25	0,39	0,32	—
	1,2	0,47	0,42	0,35	0,46	0,4	0,3	0,44	0,38	0,27
	1,4	0,5	0,46	0,41	0,5	0,45	0,39	0,48	0,43	0,36
	1,6	0,54	0,5	0,45	0,53	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43
1700	1	0,39	0,31	—	0,36	0,25	—	0,32	—	—
	1,2	0,43	0,38	0,27	0,41	0,33	—	0,38	0,28	—
	1,4	0,47	0,41	0,33	0,45	0,39	0,3	0,43	0,36	0,29
	1,6	0,5	0,46	0,4	0,49	0,44	0,37	0,48	0,42	0,31
	1,8	0,54	0,5	0,45	0,53	0,49	0,43	0,53	0,48	0,41
1800	1,2	0,37	0,29	—	0,33	—	—	—	—	—
	1,4	0,42	0,34	0,25	0,39	—	—	0,36	—	—
	1,6	0,45	0,4	0,26	0,45	0,37	0,25	0,42	0,3	—
	1,8	0,51	0,45	0,38	0,49	0,44	0,30	0,48	0,41	0,27
	2,0	—	0,5	0,44	—	0,49	0,42	—	0,48	0,44

Ghi chú : Trị số  $\varphi$  ở bảng này ứng với lượng dùng xi măng là 300 kg/m<sup>3</sup>, cứ mỗi 100 kg/m<sup>3</sup> tăng (giảm) trị số  $\varphi$  sẽ tăng (hoặc giảm) chừng 0,01.

Bảng 7.8

Độ rỗng giữa các hạt	Trị số $\varphi_{t,u}$ khi hỗn hợp bê tông có		
	Độ cứng > 30s	Độ sụt 1-3cm hoặc độ cứng 10-30s	Độ sụt > 3cm
0,36	0,52	0,49	0,47
0,38	0,5	0,47	0,45
0,4	0,48	0,45	0,43
0,42	0,46	0,43	0,41
0,44	0,44	0,41	0,39
0,46	0,42	0,39	0,37
0,48	0,4	0,37	0,35
0,5	0,38	0,35	0,33
0,52	0,36	0,33	0,31
0,54	0,34	0,31	0,29

Lượng dùng cốt liệu lớn K xác định theo mật độ cốt liệu  $\varphi$  và khối lượng thể tích của nó trong hồ xi măng :

$$K = 1000 \cdot \varphi \cdot \rho_{vk} \text{ kg.} \quad (9)$$

Lượng dùng cát thường được xác định căn cứ vào khối lượng thể tích của bê tông, lượng dùng xi măng và cốt liệu :

$$C_t = m_{vb}^k - 1,15X - K. \quad (10)$$

Khối lượng thể tích của bê tông có thể điều chỉnh được bằng cách dùng cát nhẹ và thay đổi tỷ lệ giữa cát thường và cát nhẹ để đảm bảo mật độ cốt liệu lớn  $\varphi$  tối ưu. Để xác định lượng dùng cát thường  $C_t$  và cát nhẹ  $C_n$  khi đã có lượng dùng xi măng (X), nước (N) và mật độ cốt liệu lớn  $\varphi$  cần phải giải hệ phương trình (suy từ hệ phương trình 7, 8 ra) như sau :

$$\frac{C_t}{\rho_{vct}} + \frac{C_n}{\rho_{vcn}} + N = 1000(1 - \varphi) - \frac{X}{\rho_x}; \quad (11)$$

$$C_t + C_n = m_{vb}^k - 1,15X - 1000\varphi\rho_{vk}; \quad (12)$$

trong đó :  $\rho_{vct}$  và  $\rho_{vcn}$  - khối lượng riêng của cát thường và khối lượng riêng phần của cát nhẹ, kg/l.

Từ (11) và biết :

$$\Delta N_{1ct} = 0,02 \frac{C_t}{\rho_{vct}} (N_{ct} - 7)$$

$$\Delta N_{1cn} = 0,02 \frac{C_n}{\rho_{vcn}} (N_{cn} - 7)$$

có thể chứng minh được :

$$\begin{aligned} & C_t \frac{1}{\rho_{vct}} [1 + 0,02(N_{ct} - 7)] + C_n \frac{1}{\rho_{vcn}} [1 + 0,02(N_{cn} - 7)] \\ &= 1000(1 - \varphi) - \frac{X}{\rho_x} - (N_o + \Delta N_2 + \Delta N_3) \end{aligned}$$

$$\text{Nếu đặt : } A = 1000(1 - \varphi) - \frac{X}{\rho_x} - (N_o + \Delta N_2 + \Delta N_3) ; \quad (13)$$

$$Q = C_t + C_n = m_{vb}^k - 1,15X - 1000\varphi\rho_{vk} ; \quad (14)$$

$$n_{ct} = \frac{1}{\rho_{vct}} [1 + 0,02(N_{ct} - 7)] ; \quad (15)$$

$$n_{cn} = \frac{1}{\rho_{vcn}} [1 + 0,02(N_{cn} - 7)] ; \quad (16)$$

(trong đó :  $N_{ct}$  và  $N_{cn}$  là lượng nước yêu cầu của cát thường và của cát nhẹ), thì từ (11) và (12) ta sẽ có lượng dùng các loại cát nhẹ và cát thường là :

$$C_n = \frac{A - Q \cdot n_{ct}}{n_{cn} - n_{ct}}, \text{ kg} ; \quad (17)$$

$$C_t = Q - C_n, \text{ kg} . \quad (18)$$

## 7.5.2. Trình tự xác định cấp phối sơ bộ của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng

### 1) Khi dùng cát thường

• Xác định lượng dùng xi măng phụ thuộc vào mác bê tông nhẹ, mác xi măng và cường độ của cốt liệu lớn (bảng 7.4 và bảng 7.5).

- Xác định lượng dùng nước  $N_o$  phụ thuộc vào tính công tác của hỗn hợp bê tông, loại và cỡ hạt lớn nhất  $D_{max}$  của cốt liệu lớn (bảng 7.6).

- Xác định mật độ cốt liệu lớn  $\varphi$  phụ thuộc vào lượng dùng xi măng, nước  $N_o$ , khối lượng thể tích cốt liệu lớn trong hồ xi măng và lượng nước yêu cầu của cát (bảng 7.7). Nếu giá trị  $\varphi$  nằm trong khoảng giữa các giá trị cho trong bảng thì phải dùng phép nội suy. Nếu giá trị  $\varphi > \varphi_{l,u}$  (bảng 7.8) quá 0,05 thì phải dùng cốt liệu rỗng nhẹ hơn hoặc tạo rỗng phần vữa.

- Xác định lượng dùng cốt liệu lớn theo công thức (9).

- Xác định lượng dùng cốt liệu bé theo công thức (10).

- Xác định lượng dùng nước theo công thức (6).

## 2) Khi dùng cát nhẹ hoặc cát thường phối hợp

- Xác định các lượng dùng xi măng, nước  $N_o$ , hàm lượng cốt liệu lớn và lượng dùng của nó như trường hợp 1) ở trên.

- Xác định lượng dùng cát nhẹ bảo đảm có được khối lượng thể tích đã định của bê tông theo công thức (17), trong đó các giá trị  $A$ ,  $Q$ ,  $n_{ct}$ ,  $n_{cn}$  được xác định theo công thức (13) + (16).

- Xác định lượng dùng cát thường theo công thức (18). Nếu xảy ra trường hợp lượng dùng một trong hai loại cát thường hoặc nhẹ dưới  $20\text{ kg/m}^3$  thì chế tạo bê tông nhẹ chỉ dùng một loại cát có hàm lượng lớn hơn.

- Xác định tổng lượng dùng nước :

$$N = N_o + \Delta N_{lct} + \Delta N_{lcn} + \Delta N_2 + \Delta N_3 ;$$

trong đó :  $\Delta N_{lct}$  và  $\Delta N_{lcn}$  - hiệu chỉnh lượng dùng nước của cát thường và cát nhẹ được xác định theo công thức (3).

Trước khi tiến hành xác định cấp phối sơ bộ của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng theo trình tự trên, cần phải sử dụng các bảng 7.1, 7.2, 7.3 để kiểm tra xem tính chất của các vật liệu sử dụng có đủ đảm bảo chế tạo được bê tông với các tính chất đã định không.

### 7.5.3. Điều chỉnh các thông số cấp phối bằng thực nghiệm

Đối với những mẻ trộn thí nghiệm ngoài cấp phối sơ bộ vừa xác định theo các bước trên, cần tính thêm 2 cấp phối nữa, trong đó lượng dùng xi măng lấy lớn hơn và bé hơn so với cấp phối sơ bộ  $10 + 20\%$ . Nếu những vật liệu đã sử dụng không đảm bảo đạt được khối lượng thể tích yêu cầu của bê tông  $m_{vb}^k$  với những giá trị mật độ cốt liệu lớn  $\varphi$  cho phép, thì phải giảm khoảng biến thiên của lượng dùng xi măng sao cho các trị số  $\varphi$  đó nằm trong giới hạn cho phép, hoặc phải chuyển sang dùng loại cốt liệu khác.

Theo kết quả thí nghiệm người ta xây dựng các đồ thị quan hệ  $R_b = f(X/N)$ , rồi căn cứ vào đó quyết định lượng dùng xi măng và điều chỉnh lượng dùng các vật liệu khác cho  $1m^3$  bê tông. Việc xác định lượng dùng vật liệu cho  $1m^3$  bê tông nhẹ cốt liệu rỗng cũng được tiến hành như đối với bê tông nặng (5.3.4).

### 7.5.4. Ví dụ về xác định cấp phối sơ bộ

Ví dụ 1 : Xác định cấp phối bê tông Keramzit mác 250 có  $m_{vb}^k = 1700 \text{ kg/m}^3$  độ lưu động của hỗn hợp bê tông  $SN = 3 + 7cm$ . Vật liệu sử dụng là xi măng mác 500, cát thường có  $\rho_{ct} = 2,65 \text{ kg/l}$  và  $N_{ct} = 6,5\%$ , sỏi Keramzit có các tính chất cho trong bảng 7.9.

**Bảng 7.9**

Tên các chỉ tiêu	Cấp hạt, mm		Hỗn hợp cốt liệu 40 : 60%
	5+10	10+20	
Khối lượng thể tích rời, $kg/m^3$	570	650	680
Khối lượng riêng phần trong hỗ xi măng, $kg/l$	1,25	1,19	1,22
Độ rỗng	0,46	0,45	0,43
Cường độ, $daN/cm^2$	59	51	55

Tỷ lệ phối hợp 2 cấp hạt  $5 + 10$  và  $10 + 20$  mm của cốt liệu lớn lấy là 40 : 60% (theo khối lượng). Vậy khối lượng riêng phần hạt trong hồ xi măng của Keramzit là :

$$\rho_{vk} = \frac{100}{\frac{40}{1,25} + \frac{60}{1,19}} = 1,22 \text{ kg/l}$$

Cường độ ép vỡ trong xi lanh trung bình của Keramzit là :

$$R_k = 0,01(59 \times 40 + 51 \times 60) = 55 \text{ daN/cm}^2$$

So sánh tính chất của các vật liệu sử dụng với các giá trị trong bảng 7.1 ÷ 7.3 cho phép kết luận chúng đủ đảm bảo để chế tạo được bê tông với các tính chất đã định.

Theo bảng 7.4 lượng dùng xi măng là  $310 \text{ kg/m}^3$ . Các hệ số điều chỉnh (bảng 7.5) cho xi măng mác 500 là 0,90 và cho hỗn hợp bê tông có độ sụt  $SN = 3 \div 7 \text{ cm}$  là 1,1.

Vậy lượng dùng xi măng :  $X = 310 \times 0,90 \times 1,1 = 305 \text{ kg/m}^3$ .

Theo bảng 7.6 có lượng dùng nước sơ bộ  $N_0 = 205 \text{ l/m}^3$ .

Theo bảng 7.7 bằng phép nội suy ta có mật độ cốt liệu lớn  $\varphi = 0,38$ . Giá trị này nhỏ hơn giá trị cho trong bảng 7.8 ( $\varphi = 0,4$  khi độ rỗng keramzit 0,43 và độ sụt hỗn hợp bê tông  $SN > 3 \text{ cm}$ ) không quá 0,025, tức là  $\varphi$  nằm trong giới hạn cho phép.

Lượng dùng keramzit :

$$K = 1000 \times 0,38 \times 1,22 = 465 \text{ kg/m}^3$$

Lượng dùng cát :

$$C = 1700 - 1,15 \times 305 - 465 = 886 \text{ kg/m}^3$$

Tổng lượng dùng nước :

$$N = 205 + 0,02(886/2,65)(6,5-7) + 2000(0,38-0,37)^2 = 202 \text{ l/m}^3$$

**Ví dụ 2 :** Xác định cấp phối bê tông keramzit mác 150 có  $m_{vb}^k = 1600 \text{ kg/m}^3$ , độ cứng hỗn hợp bê tông  $T = 30 \div 50 \text{ s}$ . Vật liệu sử dụng xi măng mác 400, cát thường có  $\rho_{ct} = 2,65 \text{ kg/l}$  và  $N_{ct} = 6\%$ , cát keramzit có khối lượng riêng phần  $\rho_{vcn}^k = 1,8 \text{ kg/l}$  và  $N_{cn} = 14\%$ , dăm keramzit cấp hạt 5 ÷ 10 có khối lượng riêng phần trong hồ xi măng  $\rho_{vk} = 1,75 \text{ kg/l}$  độ rỗng 0,5 ; cường độ ép vỡ trong xi lanh  $R_k = 15 \text{ daN/cm}^2$ .



Theo các bảng 7.1 đến bảng 7.3 ta thấy chất lượng của các vật liệu sử dụng đủ đảm bảo để chế tạo được bê tông với các tính chất đã định:

Lượng dùng xi măng theo bảng 7.4 là  $X = 260 \text{ kg/m}^3$ . Theo bảng 7.5 ta có các hệ số điều chỉnh cho cát nhẹ (hỗn hợp cát nhẹ và cát thường) là 1,1 ; cho cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu  $D_{\max} = 10$  là 1,1 ; cho độ cứng hỗn hợp bê tông 30 ÷ 50s là 0,9. Vậy lượng dùng xi măng trong trường hợp này :

$$X = 260 \times 1,1 \times 1,1 \times 0,9 = 283 \text{ kg/m}^3.$$

Lượng dùng nước sơ bộ theo bảng 7.6 là  $N_0 = 200 \text{ l/m}^3$ .

Hàm lượng cốt liệu lớn theo bảng 7.8 là  $\varphi = 0,38$ . Lượng dùng cốt liệu lớn :

$$K = 1000 \times 0,38 \times 1,75 = 665 \text{ kg/m}^3.$$

*Lượng dùng cát nhẹ :*

$$\Delta N_2 = 0 ; \Delta N_3 = 0 ;$$

$$A = 1000(1 - 0,38) - \frac{283}{3,1} - 200 = 329 \text{ l/m}^3 ;$$

$$Q = 1600 - 1,15 \times 283 - 665 = 610 \text{ kg/m}^3 ;$$

$$n_{ct} = \frac{1}{2,65} [1 + 0,02(6 - 7)] = 0,37 ;$$

$$n_{cn} = \frac{1}{1,8} [1 + 0,02(14 - 7)] = 0,63 ;$$

$$C_n = \frac{329 - 610 \times 0,37}{0,63 - 0,37} = 395 \text{ kg/m}^3.$$

*Lượng dùng cát thường :*

$$C_t = 610 - 395 = 215 \text{ kg/m}^3.$$

*Lượng dùng nước cần hiệu chỉnh :*

$$\Delta N_{lct} = 0,02 \cdot \frac{215}{2,65} (6 - 7) \approx -1,62 \text{ l/m}^3 ;$$

$$\Delta N_{lcn} = 0,02 \cdot \frac{395}{1,8} (14 - 7) = 30,7 \text{ l/m}^3.$$

Tổng lượng dùng nước :

$$N = 200 - 1,6 + 30,7 = 229 \text{ l/m}^3.$$

## Chương 8

# BÊ TÔNG TỔ ONG

### 8.1. PHÂN LOẠI VÀ TÍNH CHẤT KỸ THUẬT

#### 8.1.1. Khái niệm và phân loại

Bê tông tổ ong là một loại bê tông nhẹ chứa một khối lượng lớn các lỗ rỗng nhân tạo bé và kín giống hình tổ ong có chứa khí hoặc hỗn hợp khí - hơi nước có kích thước từ  $0,5 \div 2\text{mm}$  phân bố một cách đồng đều và được ngăn cách nhau bằng những vách mỏng, chắc. Trong bê tông tổ ong bao gồm hai hệ thống cấu trúc rỗng, cấu trúc rỗng lớn được tạo nên từ các tổ ong nhân tạo nối trên và cấu trúc rỗng bé được tạo nên từ các lỗ rỗng gel và hệ thống mao quản nằm trong phần vách ngăn giữa các lỗ rỗng lớn.

Có nhiều cách phân loại bê tông tổ ong

1) Theo phạm vi sử dụng có thể chia bê tông tổ ong ra 3 loại

- Bê tông tổ ong công trình được dùng với mục đích chịu tải, có khối lượng thể tích ở trạng thái khô  $m_{vb}^k \geq 1000 \div 1200 \text{kg/m}^3$  và có cường độ nén  $R_n \geq 100 \div 200 \text{daN/cm}^2$ .

- Bê tông tổ ong công trình cách nhiệt được dùng với cả hai mục đích chịu tải và cách nhiệt có  $m_{vb}^k = 600 + 1000 \text{kg/m}^3$  và có cường độ nén  $R_n = 30 \div 100 \text{daN/cm}^2$

- Bê tông tổ ong cách nhiệt được dùng với mục đích cách nhiệt có  $m_{vb}^k \leq 500 \div 800 \text{kg/m}^3$ .

2) Theo phương pháp tạo rỗng chia bê tông tổ ong làm hai loại

- Bê tông khí được chế tạo theo phương pháp tạo khí ;
- Bê tông bọt bằng phương pháp tạo bọt.

3) Theo chất kết dính và điều kiện rắn chắc bê tông

- Khi dùng chất kết dính thuần khiết là xi măng thì không cần phải gia công nhiệt trong avtôclav, bê tông cứng rắn tự nhiên.

- Khi dùng chất kết dính vôi - silic hoặc chất kết dính hỗn hợp xi măng và vôi - silic với tỷ lệ vôi - silic cao, nhất thiết phải gia công nhiệt trong avtôclav nên gọi là bê tông silicat khí chưng áp và bê tông silicat bọt chưng áp.

Như vậy trong tên gọi của bê tông tổ ong thường bao hàm cả 3 cách phân loại : theo phương pháp tạo rỗng, chất kết dính và điều kiện cứng rắn. Ví dụ : khi gọi bê tông khí có thể hiểu rằng đây là một loại bê tông tổ ong được chế tạo theo phương pháp tạo khí dùng chất kết dính xi măng và rắn chắc tự nhiên, còn bê tông silicat bọt là bê tông tổ ong được sản xuất bằng phương pháp tạo bọt từ chất kết dính vôi - silic hoặc có thành phần vôi - silic trội hơn thành phần xi măng và được rắn chắc trong avtôclav.

### 8.1.2. Tính chất kỹ thuật của bê tông tổ ong

Khối lượng thể tích  $m_{vb}^k$  và cường độ nén  $R_n$  là hai chỉ tiêu quan trọng hàng đầu của bê tông tổ ong. Với bê tông công trình và bê tông công trình cách nhiệt đạt được yêu cầu về cường độ  $R_n \geq 30 + 200 \text{ daN/cm}^2$ , khối lượng thể tích thường nằm trong khoảng  $m_{vb}^k \geq 600 + 1200 \text{ kg/m}^3$  và mác bê tông được xác định theo cường độ chịu nén. Ví dụ : bê tông tổ ong mác 200 phải có  $R_n \geq 200 \text{ daN/cm}^2$  ; còn đối với bê tông tổ ong cách nhiệt mác bê tông được xác định theo khối lượng thể tích. Cường độ  $R_n$  của bê tông tổ ong được xác định bằng cách nén mẫu lập phương cạnh 100 mm ở độ ẩm tự nhiên  $\approx 8\%$  vì

cường độ bê tông tổ ong phụ thuộc vào độ ẩm của nó, độ ẩm trong bê tông càng cao cường độ của nó càng giảm.

Có thể đánh giá phẩm chất bê tông tổ ong theo chỉ tiêu hệ số chất lượng là tỷ số của khối lượng thể tích và cường độ :

$$A = \frac{R_n}{(m_{vb}^k)^2} ;$$

trong đó :  $R_n$  - cường độ nén (daN/cm<sup>2</sup>) ;

$m_{vb}^k$  - khối lượng thể tích bê tông ở trạng thái khô (kg/l).

Hệ số chất lượng (A) của bê tông tổ ong nằm trong khoảng 40 ÷ 150. Mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông tổ ong có  $m_{vb}^k = 600 \div 1200$  kg/m<sup>3</sup> thường đạt từ 15.000 đến 70.000 daN/cm<sup>2</sup>. Như vậy bê tông tổ ong có biến dạng lớn hơn so với bê tông nặng (mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông xi măng 110.000 ÷ 400.000 daN/cm<sup>2</sup>).

Cường độ dính kết với cốt thép của bê tông tổ ong khi thí nghiệm với cốt thép trơn đạt 10 ÷ 20 daN/mm<sup>2</sup> nhỏ hơn nhiều so với của bê tông nặng (0,15 ÷ 0,2  $R_{28}$ ).

Hệ số dẫn nhiệt  $\lambda$  của bê tông tổ ong công trình và công trình cách nhiệt nằm trong khoảng 0,175 ÷ 0,465 W/m.°C (0,15 ÷ 0,55 Kcal/(m.°C. h)).

Độ co ngót của bê tông tổ ong chung áp  $\alpha = 0,4 - 0,6$  mm/m ; không chung áp  $\alpha = 1,5 \div 2,5$  mm/m, lớn hơn đáng kể so với bê tông xi măng thông thường (0,2 ÷ 0,35 mm/m) vì trong hỗn hợp bê tông tổ ong chứa nhiều thành phần hạt mịn và lượng dùng nước ban đầu lớn. Để giảm bớt co ngót cho bê tông tổ ong có thể dùng một phần hạt thô trong thành phần silic (cát nhẹ hoặc các loại cát tự nhiên có kích thước hạt không quá 2mm) với hàm lượng  $\leq 15\%$  tổng khối lượng các vật liệu khô.

Độ ẩm của bê tông tổ ong nói chung cao và khi bị ẩm thường rất khó sấy khô, nhất là đối với những loại có khối lượng thể tích thấp. Đối với bê tông tổ ong chất kết dính là

xi măng với  $m_{vb}^k = 600 \div 1000 \text{ kg/m}^3$  có độ ẩm theo thể tích từ  $3 \div 5\%$ , khi độ ẩm tương đối của không khí  $\varphi_{kk} = 100\%$  còn khi dùng chất kết dính vôi - silic độ ẩm của bê tông tổ ong ở những điều kiện như trên lên tới  $5 \div 8\%$ . Độ ẩm tăng làm giảm cường độ và tăng hệ số dẫn nhiệt của bê tông tổ ong, khi độ ẩm theo thể tích tăng  $1\%$  thì cường độ giảm  $10 \div 15\%$  và hệ số dẫn nhiệt tăng  $6 \div 8\%$  so với khi bê tông hoàn toàn khô.

Độ hút nước của bê tông tổ ong khi tiếp xúc với nước đạt  $20 \div 25\%$  khi dùng chất kết dính xi măng, và  $25 \div 35\%$  khi dùng chất kết dính vôi - silic. Khi hút nước khối lượng thể tích của bê tông tăng lên làm tăng tải trọng công trình và giảm cường độ cũng như khả năng cách nhiệt. Vì vậy cần phải áp dụng các biện pháp làm giảm độ hút nước cho bê tông tổ ong có tiếp xúc với nước như chế tạo loại bê tông chứa chủ yếu là lỗ rỗng kín, tăng khả năng chống thấm cho phần bê tông tạo vách các lỗ rỗng tổ ong bằng cách dùng các loại phụ gia kỵ nước hoặc tăng độ đặc (giảm tỷ lệ N/X) cho bê tông, phủ bề mặt tiếp xúc với nước của bê tông bằng các màng không thấm...

## 8.2. NGUYÊN VẬT LIỆU ĐỂ CHẾ TẠO BÊ TÔNG TỔ ONG

Nguyên vật liệu để chế tạo bê tông gồm chất kết dính, thành phần silic, chất tạo rỗng, nước và một số phụ gia cần thiết khác.

### 8.2.1. Chất kết dính

Để chế tạo các loại bê tông tổ ong có thể sử dụng các loại xi măng, chất kết dính vôi - silic, vôi belit hoặc chất kết dính hỗn hợp gồm cả xi măng và một trong các loại chất kết dính khác nói trên. Các loại xi măng được dùng trong bê tông tổ ong không gia công nhiệt trong avtôclav. Đối với bê tông tổ ong cứng rắn trong avtôclav thường dùng chủ yếu là chất kết dính vôi - silic và chất kết dính hỗn hợp (xi măng và vôi - silic theo tỷ lệ 1 : 1).

Nói chung các loại bê tông tổ ong có dùng xi măng trong thành phần chất kết dính đạt được nhiều tính chất cơ lý xây dựng tốt hơn so với khi chỉ dùng vôi - silic. Vì vậy đối với các loại bê tông silicat khí hoặc bê tông silicat bột người ta thường dùng thêm  $50 \div 70$  kg xi măng cho  $1m^3$  bê tông và giảm tương ứng lượng vôi sử dụng.

Khi dùng chất kết dính vôi - silic có một phần vôi chưa tôi (bột vôi sống), hỗn hợp bê tông tổ ong sau khi trộn và đổ khuôn có khả năng phát triển cường độ dẻo - nhót ban đầu nhanh hơn và đạt nhiệt độ cao hơn so với khi dùng xi măng, nhờ vậy đảm bảo điều kiện tách khí và phồng nở thuận lợi, giữ khí trong khối bê tông tổ ong tốt hơn và sớm ổn định cấu trúc rỗng tổ ong hơn, dẫn đến giảm được thời gian tĩnh định bê tông trước khi gia công nhiệt avtôclav.

Các yêu cầu đối với chất kết dính vôi - silic dùng trong bê tông tổ ong cũng tương tự như trong bê tông silicat (chương 6). Trong thành phần chất kết dính người ta thường dùng vôi loại 1 và loại 2, và bất kỳ loại xi măng nào. Độ nghiêng mịn của chất kết dính càng cao thì chất lượng của nó càng tốt, để chế tạo bê tông tổ ong yêu cầu các loại chất kết dính phải có độ nghiêng mịn  $\sum S \geq 3000 \div 3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

### 8.2.2. Thành phần silic

Thành phần silic trong bê tông tổ ong thường dùng là cát thạch anh và các loại tro xỉ nghiêng mịn. Lượng dùng, loại và độ mịn của thành phần silic có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ và các tính chất khác nhau của bê tông tổ ong nhất là đối với bê tông dùng chất kết dính vôi - silic.

Khi dùng cát thạch anh nghiêng mịn thì lượng dùng tốt nhất là  $30 \div 50\%$  với chất kết dính là xi măng,  $50 \div 65\%$  với chất kết dính hỗn hợp và  $65 \div 80\%$  với chất kết dính vôi - silic.

Với bê tông tổ ong có khối lượng thể tích  $m_{vb}^k \geq 1000 \text{ kg/m}^3$  cho phép thay thế khoảng 50% cát nghiêng mịn bằng cát tự nhiên chứa không dưới 50% lượng hạt lọt sàng 1,2mm nếu sự thay thế này không làm phân tầng hỗn hợp bê tông và đảm bảo được yêu cầu về khối lượng thể tích và cường độ của bê tông.

Độ nghiêng mịn của cát cũng như các thành phần silic khác ảnh hưởng đến cường độ vách ngăn của các lỗ rỗng dạng tổ ong và khả năng phản ứng giữa  $\text{Ca(OH)}_2$  và  $\text{SiO}_2$  vì vậy với cát thạch anh nghiêng mịn cần đạt tới độ mịn  $2000 \div 3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Tuy nhiên để giảm co ngót và hạn chế nứt do ứng suất nhiệt, với các sản phẩm có độ dày hơn 30cm và chiều dài lớn nên dùng cát có độ nghiêng mịn thô hơn ( $1500 \div 2000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ).

Khi dùng các loại tro xỉ làm cấu tử silic trong bê tông tổ ong cần xét đến các chỉ tiêu về hàm lượng  $\text{SiO}_2$ , độ nghiêng mịn và hàm lượng than chưa cháy.

Tro xỉ nhiệt điện có hàm lượng silic dao động từ  $40 \div 65\%$  có thể dùng chế tạo bê tông tổ ong nhưng cần đạt đến độ nghiêng mịn cao  $3000 \div 4500 \text{ cm}^2/\text{g}$  và phải khống chế chặt chẽ lượng than chưa cháy. Lượng than chưa cháy trong tro xỉ nhiệt điện càng thấp càng tốt, vì nhiều nghiên cứu cho rằng ngoài nhược điểm là xốp và tro thành phần than chưa cháy có thể là một trong những nguyên nhân gây ăn mòn cốt thép trong bê tông. Nói chung hàm lượng than chưa cháy trong vật liệu tro xỉ dùng làm cấu tử silic cho bê tông tổ ong cần phải hạn chế không vượt quá  $10 \div 15\%$ . Các loại xỉ, đặc biệt là loại xỉ thải lỏng, có hàm lượng than chưa cháy thấp hơn nhiều và có chất lượng cao hơn so với các loại tro và hỗn hợp tro xỉ.

Ngoài ra khi sử dụng các loại vật liệu tro xỉ axit (hàm lượng  $\text{CaO} + \text{MgO}$  thấp hơn  $5 \div 10\%$ ) thường làm cho chất kết dính ninh kết chậm ở thời kỳ ban đầu vì vậy đối với các loại bê tông tổ ong không gia công nhiệt trong autoclav cần khắc phục hiện tượng trên bằng cách sử dụng các loại phụ gia rắn nhanh.

### 8.2.3. Chất tạo rỗng

Tùy theo phương pháp công nghệ, chất tạo rỗng trong bê tông tổ ong có thể là chất tạo khí hoặc chất tạo bọt.

Chất tạo khí có thể dùng là  $\text{H}_2\text{O}_2$ , các loại cacbonat  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ; các loại bột kim loại  $\text{Al}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Mg}$ , nhưng hiện nay thường dùng nhất là bột nhôm (8.3.1).

Các loại chất tạo bọt có thể dùng là xà phòng - keo nhựa thông, huyết thủy hóa và các loại chất tạo bọt tổng hợp khác (8.3.2). Ngoài ra, có thể dùng các loại phụ gia hoạt tính bề mặt khác có tác dụng cuốn không khí vào hỗn hợp bê tông tổ ong trong quá trình nghiền và trộn các cấu tử thành phần. Ngoài ra, để điều chỉnh thời gian ninh kết trong sản xuất bê tông tổ ong người ta còn sử dụng các loại phụ gia rắn nhanh như Canxi clorua ( $\text{CaCl}_2$ ), tryetanolamin (TEA) hoặc phụ gia làm chậm tốc độ tôi của bột vôi sống là thạch cao tự nhiên ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) với độ mịn có lượng sót trên sàng 4900 lỗ/cm<sup>2</sup> không quá 3% và có thể dùng kết hợp với phụ gia hóa dẻo như ligninsulfat, SSB.

### 8.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP TẠO RỔNG

Để tạo rỗng trong bê tông tổ ong có thể dùng phương pháp tạo khí, tạo bọt hoặc kết hợp một trong hai phương pháp trên với phương pháp ngâm khí. Các phương pháp tạo rỗng nói trên được xảy ra ở nhiệt độ thường ( $25 \div 40^\circ\text{C}$ ).

#### 8.3.1. Phương pháp tạo rỗng trong bê tông khí

Để tạo rỗng cho bê tông tổ ong khí ta dùng chất tạo khí trộn đồng đều với hỗn hợp bê tông đã được nhào trộn gồm chất kết dính, thành phần silic và một lượng nước cần thiết, sản phẩm khí tạo ra làm cho hỗn hợp bê tông nở phồng trong khuôn, sau khi kết thúc quá trình tạo khí hỗn hợp bê tông rỗng này rắn chắc lại, tạo thành bê tông tổ ong.

Tùy thuộc vào chất tạo khí sử dụng mà xảy ra các phản ứng tạo khí khác nhau. Khi dùng các bột kim loại (Al, Zn, Mg) chúng tác dụng với sản phẩm thủy hóa chất kết dính tạo ra khí hydro. Dung dịch  $\text{H}_2\text{O}_2$  có khả năng tách khí oxy trong môi trường kiềm  $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ . Các hợp chất cacbon ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) phản ứng với axit (ví dụ HCl) tạo ra khí  $\text{CO}_2$  :



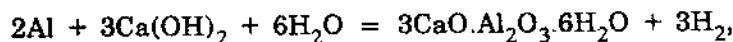


Hiện nay bột nhôm là chất tạo khí được dùng phổ biến nhất. Bột nhôm ở dạng bột mịn gồm các hạt mỏng dẹt hình bánh đa có đường kính  $20 \div 50 \mu\text{m}$ , dày  $1 \div 3 \mu\text{m}$  có độ nghiêng mịn tương ứng  $\sum S = 4000 \div 6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ , được cách ly với không khí và ẩm bằng một màng rất mỏng paraffin hoặc stearin bao phủ bề mặt ngay trong quá trình chế tạo.

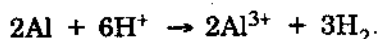
Tuy vậy, bề mặt các hạt nhôm đã bị oxy hóa trong quá trình chế tạo thành bột tạo một màng oxyt nhôm bao phủ. Khi sử dụng các chất kiềm hoặc axit mạnh có nồng độ trung bình sẽ có tác dụng phá vỡ màng oxyt này.



Sau đó từ bề mặt các hạt nhôm nguyên chất xảy ra phản ứng tạo khí :



hoặc viết thu gọn ta có :



Chỉ số tạo khí của bột nhôm, tức là lượng khí hydro do 1g bột nhôm tách ra khi phản ứng tạo khí xảy ra ở điều kiện nhiệt độ thuận lợi nhất do được ở trạng thái tiêu chuẩn là  $k_{\text{tr}} = 1250 \text{ cm}^3/\text{g}$  ; còn ở  $50^\circ\text{C}$ , 1g bột Al tách ra  $1500 \text{ cm}^3$  khí  $\text{H}_2$ .

Quá trình tạo khí và các biện pháp nhằm nâng cao hiệu quả tạo rỗng khi dùng bột nhôm có thể trình bày tóm tắt như sau

Sự bắt đầu tách khí được xảy ra sau khi trộn bột nhôm vào hỗn hợp bê tông có nhiệt độ  $40 \pm 5^\circ\text{C}$  khoảng  $3 \div 5$  phút. Trong quá trình tách khí và phồng nở hỗn hợp, tại mỗi vị trí có mặt hạt nhôm, phản ứng tạo khí được xảy ra. Số lượng bong bóng khí không ngừng được hình thành và tăng dần lên do lượng khí được tạo ra ngày càng nhiều, do sự gắn kết các bong bóng khí ở gần kề nhau và do tăng nhiệt độ của hỗn hợp (khi dùng bột vôi sống). Đồng thời dưới tác dụng của lực trọng trường và do hỗn hợp bê tông có tính lưu động các bong bóng khí mới được hình thành còn có khả năng dịch chuyển tương đối trong nội bộ hỗn hợp bê tông, chủ yếu là theo hướng từ dưới lên trên.

Để có cấu trúc rỗng hợp lý ; tức là cấu trúc rỗng gồm các lỗ rỗng kín, không thông nhau, kích thước nhỏ và được phân bố đều khắp trong toàn bộ thể tích bê tông, cần phải đảm bảo sao cho quá trình tạo khí và phồng nở xảy ra trong điều kiện thuận lợi, tạo ra và duy trì nhiệt độ thích hợp, đảm bảo đủ các chất phản ứng, dùng bột nhôm có độ phân tán cao và phân bố thật đồng đều các hạt bột nhôm trong hỗn hợp bê tông, đảm bảo cho hỗn hợp bê tông có độ lưu động phù hợp trong từng giai đoạn của quá trình tách khí.

Khi các điều kiện khác đã đảm bảo được thì yếu tố quan trọng nhất để tạo nên cấu trúc rỗng tối ưu trong bê tông khí là phải điều khiển được tính chất dẻo nhớt của hỗn hợp bê tông sao cho phù hợp với động học của quá trình tách khí và phồng nở. Trong quá trình tách khí, hỗn hợp bê tông phải đủ lưu động để quá trình tạo khí xảy ra thuận lợi và dễ dàng phân bố bọt khí một cách đồng đều, nhưng vẫn phải đảm bảo sao cho tránh được sự gắn kết và nối liền các bọt khí nhỏ thành những lỗ rỗng lớn và thông nhau. Đặc biệt phải khống chế độ nhớt dẻo của hỗn hợp bê tông để lượng khí tách ra không thể có cơ hội thoát ra khỏi hỗn hợp, đảm bảo phát huy cao nhất hiệu quả tạo rỗng và tránh hình thành các lỗ rỗng hờ. Khi quá trình tạo khí đã kết thúc thì độ nhớt dẻo của hỗn hợp bê tông tổ ong cần được tăng lên nhanh chóng để ổn định kích thước và vị trí các lỗ rỗng, tránh phân tán và mất khí từ trong bê tông vào môi trường.

Sử dụng gia công chấn động là một biện pháp công nghệ có hiệu quả để điều khiển tính chất dẻo - nhớt của hỗn hợp bê tông trong quá trình tạo khí và ổn định cấu trúc rỗng của bê tông khí.

### **8.3.2. Phương pháp tạo rỗng trong bê tông bọt**

Việc tạo rỗng cho bê tông tổ ong bọt được tiến hành theo ba bước.

- Chế tạo bọt kỹ thuật
- Chế tạo hỗn hợp vữa dẻo

- Trộn vữa với bột tạo thành hỗn hợp bê tông bột (khối vữa rỗng). Hỗn hợp bê tông bột như trên sau khi tạo hình và cứng rắn sẽ tạo thành bê tông bột.

Để chế tạo bột kỹ thuật cần phải sử dụng các chất tạo bọt, là các chất có hoạt tính bề mặt lớn. Khi khuấy trộn mạnh mẽ dung dịch chất tạo bọt trong không khí, các chất hoạt tính bề mặt này làm giảm sức căng bề mặt của nước, làm cho các bề mặt phân chia lỏng - khí được tạo ra ngày càng nhiều. Đồng thời các hạt keo của chất tạo bọt do tính phân cực phân tử được hấp phụ một cách định hướng trên các bề mặt phân chia lỏng - khí đó và tạo nên các màng mỏng ổn định bao quanh các bong bóng khí - (bọt). Bọt tạo ra chịu tác dụng của sức căng bề mặt nén từ ngoài vào theo hướng bán kính và lực đàn hồi của không khí đẩy từ phía trong ra theo hướng ngược lại. Do vậy bọt có thể dễ bị phá vỡ, người ta phải dùng các bột khoáng rất mịn để ổn định cấu trúc tổ ong của bọt. Bọt được chế tạo như vậy gọi là bột kỹ thuật.

• Khi trộn bột kỹ thuật với hỗn hợp vữa, các phân tử của hỗn hợp vữa được phân bố đồng đều trên bề mặt các bong bóng khí và len lỏi vào chiếm không gian giữa các bọt, nhờ vậy tạo nên hỗn hợp bê tông tổ ong có độ rỗng nhất định.

Trong thời gian ninh kết và hình hình cường độ, cấu trúc ban đầu của bê tông (2 + 3 giờ kể từ sau khi trộn) bọt đóng vai trò bộ khung không gian chịu lực để duy trì vị trí và kích thước của các lỗ rỗng tổ ong. Vì vậy bột kỹ thuật phải đủ bền (ổn định) và không bị rút nước. Độ ổn định của bột kỹ thuật phụ thuộc vào cấu trúc, kích thước của bọt, chiều dày màng nước và các tính chất đàn hồi cơ học của màng.

Cấu trúc bê tông tổ ong phụ thuộc vào cấu trúc ban đầu của bọt và của hỗn hợp bê tông bột. Bọt được chuẩn bị tốt có cấu trúc tổ ong nhỏ với các bong bóng khí có kích thước đồng đều, không thông nhau; đồng thời có độ đàn hồi và khả năng chịu lực tốt, không bị bẹp và chìm xuống dưới tác dụng của những phân tử vữa nặng hơn.

Ngoài hai phương pháp nói trên, bê tông tổ ong còn có thể được chế tạo theo phương pháp ngậm khí kết hợp với tạo

khí hoặc tạo bọt, bằng cách dùng phụ gia cuốn khí (là chất hoạt tính bề mặt) để đưa vào hỗn hợp bê tông một lượng lỗ rỗng khí trong quá trình nghiền và trộn các cấu tử, sau đó lại dùng phương pháp tạo khí hoặc tạo bọt để đạt được đủ lượng lỗ rỗng cần thiết trong bê tông tổ ong.

## 8.4. CÁC NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN TÍNH CHẤT BÊ TÔNG TỔ ONG

### 8.4.1. Các nhân tố ảnh hưởng đến khối lượng thể tích

Đối với bê tông tổ ong, khối lượng thể tích là một chỉ tiêu quan trọng cần phải được đảm bảo. Nếu khối lượng thể tích vượt quá yêu cầu đề ra, bê tông tổ ong có thể bị hạ cấp hoặc không được nghiệm thu.

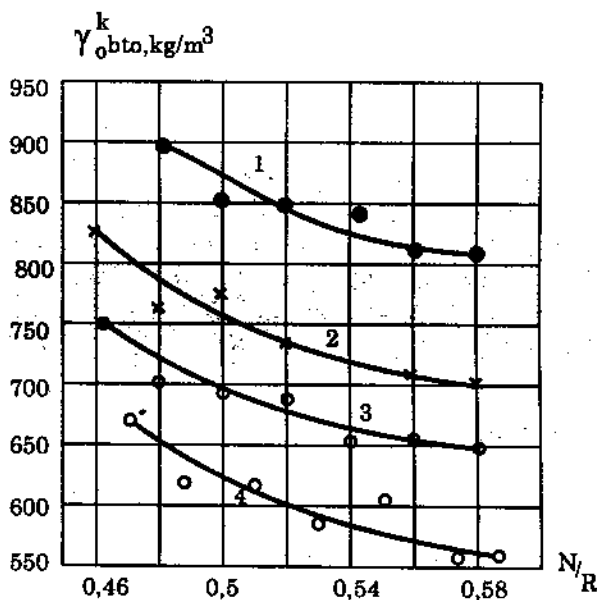
Khối lượng thể tích của bê tông tổ ong phụ thuộc vào lượng dùng chất tạo rỗng ( $P_{ctr}$ ), khả năng tạo rỗng ( $K_{tr}$ ) của chúng, tức là thể tích bọt hoặc khí do 1 kg chất tạo rỗng sinh ra và mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng  $\alpha$  để làm phồng nở hỗn hợp bê tông tổ ong.

Mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng  $\alpha$  là mức độ giữ được một lượng khí hoặc bọt nhiều hay ít từ cùng một lượng chất tạo rỗng đã dùng. Khi nhiệt độ tạo khí hoặc tạo bọt thuận lợi và ổn định thì mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng chỉ còn phụ thuộc chủ yếu vào tính lưu động của hỗn hợp bê tông và tính lưu động chịu ảnh hưởng của lượng dùng nước trong hỗn hợp thể hiện qua tỷ lệ khối lượng của nước và thành phần rắn ( $N/R$ ). Người ta thấy rằng khi tỷ lệ  $N/R \leq 0,6$  thì quan hệ  $\alpha = f(N/R)$  là một hàm số đồng biến, tức là nếu  $N/R$  tăng thì  $\alpha$  cũng tăng và khối lượng thể tích của bê tông tổ ong sẽ giảm (hình 8-1, 8-2)

Khi tính chất của hỗn hợp vữa như nhau nếu lượng dùng chất tạo rỗng càng nhiều, khối lượng thể tích của bê tông tổ ong càng thấp (và ngược lại) (hình 8-1).

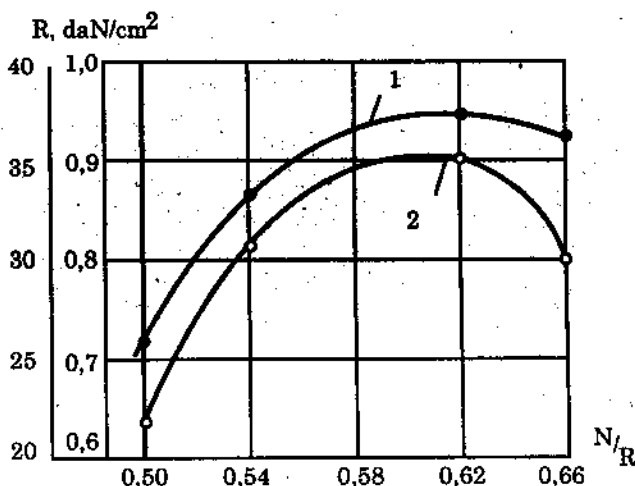
Mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng còn phụ thuộc vào khả năng bảo toàn cấu trúc rỗng của bê tông tổ ong sau khi tạo

hình. Đối với bê tông tổ ong nói chung sau khi tạo hình nếu cường độ nhớt dẻo của hỗn hợp bê tông nhỏ (do tỷ lệ N/R quá cao - hình 8-2 hoặc chất kết dính ninh kết chậm) sẽ không cản trở được sự dịch chuyển và thoát khí ra môi trường xung quanh, kết quả là làm giảm mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng  $\alpha$ . Đối với bê tông bọt nếu tính ổn định (độ bền) của bọt kém thì sau khi trộn vữa với bọt và tạo hình, bọt sẽ bị bẹp và chìm xuống dưới tác dụng của các phần tử vữa, làm giảm mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng  $\alpha$ , dẫn đến làm tăng khối lượng thể tích của bê tông.



Hình 8-1. Sự phụ thuộc của khối lượng thể tích bê tông khi vào lượng dùng bột nhôm và tỷ lệ nước/rắn (N/R).

- 1 - lượng dùng bột nhôm :  $P_{CTR} = 250 \text{ g/m}^3$  ;
- 2 -  $P_{CTR} = 350 \text{ g/m}^3$  ;
- 3 -  $P_{CTR} = 450 \text{ g/m}^3$  ;
- 4 -  $P_{CTR} = 550 \text{ g/m}^3$ .



**Hình 8-2.** Sự phụ thuộc của cường độ bê tông tổ ong  $R$  và của mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng  $\alpha$  vào tỷ lệ nước/rắn ( $N/R$ ).

$$1 - R_n = f_1(N/R) ;$$

$$2 - \alpha = f_2(N/R)$$

#### 8.4.2. Các nhân tố ảnh hưởng đến cường độ

Cường độ của bê tông tổ ong phụ thuộc vào cường độ vách ngăn giữa các lỗ rỗng, độ rỗng, cấu trúc phân rỗng, hình dạng kích thước trung bình của lỗ rỗng và sự phân bố các lỗ rỗng trong bê tông.

Cường độ phân vữa tạo các vách ngăn giữa các lỗ rỗng càng cao sẽ đảm bảo cho bê tông tổ ong có cường độ càng cao khi các điều kiện khác không đổi. Các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ vữa là loại chất kết dính và cấu tử silic, tỷ lệ phối hợp giữa chúng, hoạt tính chất kết dính, tỷ lệ  $N/R$ , độ nghiêng mịn các cấu tử, mức độ đặc chắc của phân vữa, chế độ cứng rắn sau khi tạo hình.

Khi độ rỗng của bê tông tổ ong càng lớn nghĩa là lượng vữa đặc tạo nên các vách ngăn giữa các lỗ rỗng càng ít, dẫn đến bề dày các vách ngăn càng mỏng, thì cường độ bê tông càng nhỏ. Như vậy khi độ rỗng của bê tông tổ ong càng lớn, tức là khối lượng thể tích của nó càng thấp, thì cường độ của nó càng nhỏ. Tuy vậy các bê tông tổ ong có cùng khối lượng thể tích có thể có cường độ khác nhau đáng kể là do ảnh hưởng của độ đặc chắc và cường độ phần vữa tạo nên vách ngăn giữa các lỗ rỗng và của cấu trúc rỗng.

Bê tông tổ ong có cấu trúc rỗng tối ưu chưa chủ yếu là các lỗ rỗng kín không thông nhau ; có kích thước bé và đồng đều được phân bố đều trong bê tông tổ ong sẽ cho cường độ bê tông cao nhất khi các điều kiện khác không đổi.

Tỷ lệ nước/rắn (N/R) ảnh hưởng đến hầu hết các nhân tố nói trên. Khi chọn được tỷ lệ N/R thích hợp, tức là tạo nên sự kết hợp hài hòa giữa việc đảm bảo độ đặc và cường độ của phần vữa trong vách ngăn giữa các lỗ rỗng với việc đảm bảo điều kiện tạo rỗng thuận lợi, tạo nên cấu trúc rỗng tổ ong tối ưu trong bê tông ; sẽ đạt được cường độ bê tông tổ ong cao nhất (hình 8-2).

### 8.4.3. Ảnh hưởng của gia công chấn động hỗn hợp bê tông khi

Chấn động là một biện pháp công nghệ rất có hiệu quả cải thiện cấu trúc rỗng và chất lượng sản phẩm nói chung của bê tông tổ ong và rút ngắn thời gian phóng nổ hỗn hợp bê tông. Có thể dùng hai loại công nghệ chấn động, một là chỉ chấn động khi tạo hình sản phẩm ; hai là kết hợp trộn chấn động và tạo hình chấn động.

Việc chấn động hỗn hợp bê tông tổ ong trong khuôn (chấn động khi tạo hình) có thể được tiến hành trên bàn rung hoặc bằng cách dùng các tấm rung thả vào trong lòng hỗn hợp bê tông tạo nên các dao động có hướng theo phương nằm ngang để giảm xác suất xảy ra hiện tượng "sỏi" hỗn hợp bê tông khi phóng nổ, hạn chế được khả năng mất khí ra môi trường xung quanh, đảm bảo mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng  $\alpha$  cao. Có

thể áp dụng chấn động một giai đoạn với tần số  $f = 15 \div 150\text{Hz}$  và biên độ dao động  $A = 0,2 \div 0,6 \text{ mm}$  ; nhưng đối với hỗn hợp bê tông khí tốt nhất là dùng phương pháp chấn động hai giai đoạn.

*Giai đoạn 1* : với tần số  $f = 10 \div 15\text{Hz}$  và biên độ  $A = 1 \div 2,5\text{mm}$ .

*Giai đoạn 2* :  $f = 100 \div 150\text{Hz}$  và  $A = 0,15 \div 0,2\text{mm}$ .

Khi chấn động hai giai đoạn như vậy trong bê tông tạo thành những lỗ rỗng nhỏ và có kích thước đều nhau hơn, chúng được phân bố đều đặn hơn trong toàn bộ thể tích sản phẩm, đồng thời hạn chế được sự thoát khí ra khỏi bê tông tốt hơn so với khi chấn động một giai đoạn.

Áp dụng chấn động đối với hỗn hợp bê tông tổ ong trong quá trình phồng nở có những tác dụng chủ yếu như sau :

Để tạo hình chấn động thường dùng hỗn hợp bê tông có độ nhớt cao (tỷ lệ  $N/R = 0,35 \div 0,40$  thay cho giá trị  $0,55 \div 0,70$  trong trường hợp không dùng chấn động). Dưới tác dụng của chấn động hỗn hợp bê tông được hóa lỏng xúc biến dẫn đến đẩy nhanh quá trình đông thể hóa - tức là hỗn hợp có cấu trúc dẻo - nhớt cao và đồng nhất. Đồng thời khi chấn động do có sự cọ xát làm lộ các bề mặt phản ứng mới trên các hạt nhôm, tăng cường sự dịch chuyển hấp phụ của môi trường trong hệ và của các bọt khí, tạo ra các bọt nhỏ và được phân bố đồng đều trong thể tích sản phẩm. Nhờ vậy quá trình tách khí và phồng nở xảy ra rất nhanh ( $3 \div 6$  phút thay cho  $25 \div 50$  phút khi không dùng chấn động).

Sau khi ngừng chấn động (sự tạo khí kết thúc) độ nhớt cấu trúc đã bị phá hoại do chấn động sẽ được phục hồi nhanh chóng, do vậy cường độ dẻo và khả năng chịu tác dụng cơ học của khối dẻo đã tạo rỗng được tăng lên rõ rệt, sự phân tầng hỗn hợp (bọt khí dịch chuyển lên trên, các phần tử pha rắn chìm xuống dưới) không có điều kiện xảy ra.

Để tăng hiệu quả chấn động người ta còn phối hợp với việc sử dụng các loại phụ gia hoạt tính bề mặt cho phép làm



giảm đến mức nhỏ nhất độ nhớt của hỗn hợp bê tông khi chấn động. Hóa lỏng xúc biến bằng chấn động đối với hỗn hợp bê tông có phụ gia hoạt tính bề mặt tránh được nhược điểm vốn có của trường hợp dùng tỷ lệ N/R cao là hiện tượng phân tầng hỗn hợp, đồng thời ngăn ngừa được sự kết tụ các bọt khí nhỏ ở gần nhau thành bọt lớn hơn trong quá trình hình thành cấu trúc rỗng.

Những ưu điểm của việc áp dụng gia công chấn động hỗn hợp bê tông tổ ong là cho phép giảm tỷ lệ N/R dẫn đến giảm lượng dùng nước trộn  $20 + 45\%$ . Có thể dùng các cấu tử nghiền thô hơn, tạo điều kiện cho việc tối ưu hóa thành phần hạt và tăng độ đặc phần vách ngăn giữa các lỗ rỗng, đồng thời giảm chi phí năng lượng và bị hạn chế cho khâu nghiền; rút ngắn chu trình sản xuất (giảm thời gian tĩnh định, đốt nóng và làm nguội bê tông tổ ong do hàm lượng nước trong sản phẩm thấp), tiết kiệm chất kết dính và chất tạo khí do giảm lượng nước ban đầu và do tăng mức độ lợi dụng khả năng tạo rỗng  $\alpha$ , giảm năng lượng cho gia công nhiệt,...

Nhờ công nghệ gia công chấn động có thể làm tăng cường độ nén của bê tông tổ ong có cùng KLTT lên  $20 + 30\%$ , tăng cường độ kéo gấp  $2 + 3$  lần, môđun đàn hồi tăng  $30 + 40\%$ ; giảm co ngót  $20 + 30\%$ ; giảm độ ẩm của bê tông sau khi cứng rắn. Ngoài ra về mặt công nghệ phải kể đến ưu điểm rút ngắn thời gian của phản ứng tách khí do tỷ lệ N/R thấp làm tăng pH của hỗn hợp bê tông, cũng như giảm thời gian ninh kết và rắn chắc hỗn hợp bê tông tổ ong sau khi tạo hình.

## 8.5. CẤP PHỐI BÊ TÔNG TỔ ONG

Mục đích của việc thiết kế cấp phối bê tông tổ ong là phải chọn được tỷ lệ phối hợp các vật liệu thành phần để chế tạo được bê tông có khối lượng thể tích và cường độ đã định. Để thiết kế cấp phối bê tông tổ ong thường dùng phương pháp tính toán kết hợp với thực nghiệm.

### 8.5.1. Tính toán sơ bộ lượng dùng vật liệu cho $1m^3$

1. **Xác định tỷ lệ cấu tử :** silic/chất kết dính (C) trong hỗn hợp bê tông. Bảng 8.1 cho các giá trị C của hỗn hợp bê tông tổ ong phụ thuộc vào loại chất kết dính và điều kiện cứng rắn.

2. **Xác định tỷ lệ nước với tổng lượng dùng vật liệu ở trạng thái khô :** (thành phần rắn) N/R để hỗn hợp vừa có độ chảy thích hợp được thể hiện qua độ bệt của khối nón cắt hỗn hợp vừa thí nghiệm trên bàn dần và có thể chọn sơ bộ giá trị độ bệt theo bảng 8.2.

*Tỷ lệ N/R trong cấp phối hỗn hợp vừa thí nghiệm có thể lấy sơ bộ như sau :*

- Với bê tông tổ ong chế tạo không qua gia công chấn động lấy  $N/R = 0,5$  khi dùng cát làm thành phần silic,  $N/R = 0,6$  khi dùng tro bay.

- Với bê tông khí chế tạo theo công nghệ chấn động và các loại bê tông tổ ong có phụ gia siêu dẻo  $N/R$  lấy bằng 0,3 khi dùng cát, và  $N/R = 0,4$  khi dùng tro bay.

**Bảng 8.1**

Chất kết dính	Tỷ lệ theo khối lượng cấu tử silic/chất kết dính C trong hỗn hợp bê tông tổ ong	
	Đối với bê tông gia công nhiệt trong avtôlav	Đối với bê tông không gia công nhiệt, từ tro bay
Xi măng (XM) và xi măng vôi	0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2,00	0,75; 1 ; 1,25
Vôi	3; 3,5 ; 4; 4,5; 5,5; 6	-
Vôi - belit	1; 1,25; 1,5; 2	-
Vôi - xỉ	0,6; 0,8; 1	0,6; 0,8; 1
Tro kiểm cao	0,75; 1; 1,25	-
Xỉ kiểm	0,1; 0,15; 0,2	-

Bảng 8.2

Khối lượng thể tích bê tông tổ ong (kg/m <sup>3</sup> )	Độ bệt (đường kính) mẫu vữa trên bàn nhảy, cm			
	Bê tông bệt với các loại chất kết dính	Bê tông khí với chất kết dính là		
		Vôi - Silic	XM hoặc XM - Vôi	Vôi - Xi
300	33	-	38	-
500	30	23	30	24
600	26	21	26	22
700	24	19	22	20
800	22	17	18	18
900	20	15	15	15
1000	18	14	14	14
1200	14	12	12	12

**Ghi chú :** Đối với bê tông khí tạo hình chấn động, độ bệt yêu cầu từ 15 ÷ 9 cm tương ứng với khối lượng thể tích bê tông từ 500 ÷ 800 kg/m<sup>3</sup>.

Độ bệt theo bảng trên được xác định đối với hỗn hợp bê tông khí có nhiệt độ từ 37 ÷ 43°C, đối với hỗn hợp bê tông silicat khí : 30 ÷ 40°C, với hỗn hợp bê tông bệt 25 ÷ 40°C.

**3) Xác định lượng dùng chất tạo rỗng P<sub>CTR</sub> cần thiết để chế tạo bê tông tổ ong có khối lượng thể tích quy định, như sau :**

- Tính độ rỗng hay thể tích rỗng trong đơn vị thể tích hỗn hợp bê tông tổ ong theo công thức :

$$r_b = 1 - \frac{m_{vb}^{khô}}{k_c} \left( \omega + \frac{N}{R} \right) \quad (1)$$

trong đó :  $m_{vb}^{khô}$  - khối lượng thể tích bê tông tổ ong ở trạng thái khô (T/m<sup>3</sup>) ;

$k_c$  - hệ số tính đến lượng nước liên kết hóa học với tổng thành phần rắn ở trạng thái khô, trong tính toán sơ bộ có thể lấy  $k_c = 1,1$  ;

- $\omega$  - thể tích riêng phần của hỗn hợp các thành phần rắn hay thể tích tuyệt đối (tính theo lít) của 1 kg hỗn hợp các thành phần rắn (l/kg).  
Có thể chọn sơ bộ giá trị  $\omega$  theo bảng 8.3.

**Bảng 8.3**

Loại thành phần silíc	Giá trị $\omega$ ứng với các loại chất kết dính, l/kg			
	XM Pooclăng	Vôi	Hỗn hợp vôi xi măng	Hỗn hợp vôi tro xỉ
Cát thạch anh $\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$	0,34	0,38	0,36	0,32
Tro xỉ có $\rho = 2,36 \text{ g/cm}^3$	0,38	0,40	0,40	0,36
Tro xỉ nhẹ có $\rho = 2 \text{ g/cm}^3$	0,44	0,48	0,48	0,42

- Lượng dùng chất tạo rỗng cho  $1 \text{ m}^3$  bê tông tổ ong  $P_{CTR}$  được tính theo công thức :

$$P_{CTR} = \frac{r_b \cdot 1000}{\alpha \cdot k_{tr}}, \text{ (kg)} ; \quad (2)$$

trong đó :  $\alpha$  - hệ số lợi dụng khả năng tạo rỗng, trong tính sơ bộ có thể lấy  $\alpha = 0,85$  ;

$k_{tr}$  - chỉ số sản lượng của chất tạo rỗng tức là thể tích bọt (hoặc khí) tính theo lít do 1 kg chất tạo bọt (hoặc tạo khí) sinh ra. Khi dùng bột nhôm  $\Pi AK-3$  có độ mịn trung bình có  $k_{tr} = 1390 \text{ l/kg}$ , với chất tạo bọt huyết phân  $\Pi O-6$  có  $k_{tr} = 20 \text{ l/kg}$ .

4) Xác định lượng dùng các vật liệu thành phần ở trạng thái khô cho  $1 \text{ m}^3$  bê tông tổ ong :

- Tổng lượng dùng các vật liệu thành phần :

$$P_R = \frac{m_{vb}^k}{k_c}, \text{ (kg)} ; \quad (3)$$

trong đó :  $m_{vb}^k$  - tính theo  $kg/m^3$  ;

$k_c$  - sơ bộ lấy = 1,1.

- Lượng dùng chất kết dính  $P_{CKD}$  :

$$P_{CKD} = \frac{P_R}{1+C}, \text{ kg ;} \quad (4)$$

Nếu dùng chất kết dính hỗn hợp gồm hai loại CKD khác nhau theo tỷ lệ  $n$ . Ví dụ : hỗn hợp xi măng - vôi với  $P_x/P_v = n$ , thì tính lượng dùng các thành phần của chất kết dính vôi, xi măng như sau :

$$P_v = \frac{P_{CKD}}{1+n} \quad (6)$$

và  $P_x = n \cdot P_v = P_{CKD} - P_v$ , kg.

- Lượng dùng thành phần silic :

$$P_{si} = P_{CKD} \cdot C = P_R - P_{CKD}, \text{ kg.} \quad (7)$$

5) Xác định lượng dùng nước :

$$P_N = P_R(N/R). \quad (8)$$

### 8.5.2. Thí nghiệm hiệu chỉnh thành phần cấp phối

Với kết quả tính toán sơ bộ, trộn một mẻ hỗn hợp bê tông tổ ong có thể tích  $V_m$  (l) để thí nghiệm xác định các thông số cấp phối và hiệu chỉnh lại các hệ số tính toán đã sơ bộ chọn ở phần trên (8.5.1)

*Lượng dùng vật liệu cho mẻ trộn tính như sau :*

- Chất kết dính :  $P_{CKD} = \frac{P_{CKD} \cdot V_m}{1000}, \text{ kg ;}$

- Thành phần silic :  $P_{si} = \frac{P_{si} \cdot V_m}{1000}, \text{ kg ;}$

- Nước :  $P_n = \frac{P_n \cdot V_m}{1000}, \text{ l ;}$

- Chất tạo rỗng :  $p_{CTR} = \frac{P_{CTR} \cdot V_m}{1000}$  , kg

- Trước hết, nhào trộn hỗn hợp vữa (chưa tạo rỗng) gồm các thành phần rắn và nước rồi thí nghiệm xác định khối lượng thể tích thực tế của hỗn hợp vữa  $\rho_v^{tt}$  (kg/l).

- Sau khi tạo rỗng và thành hình trong khuôn (thường dùng khuôn  $10 \times 10 \times 10$ cm) xác định khối lượng thể tích thực tế của hỗn hợp bê tông tổ ong  $\rho_{hb}^{tt}$  (kg/l).

- Dưỡng hộ bê tông tổ ong trong điều kiện quy định và xác định khối lượng thể tích thực tế của bê tông ở trạng thái sấy khô đến khối lượng không đổi  $m_{vb}^k$  (kg/m<sup>3</sup>).

- Tính độ rỗng thực tế của hỗn hợp bê tông tổ ong :

$$r_{hb}^{tt} = 1 - \frac{\rho_{hb}^{tt}}{\rho_v^{tt}} \quad (9)$$

Khối lượng thể tích của hỗn hợp vữa  $\rho_v$  và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông tổ ong cũng có thể được tính theo công thức sau :

$$\rho_{hb} = \frac{m_{vb}^k}{k_c} \left(1 + \frac{N}{R}\right), \quad \text{vì } \rho_{hb} = N + R = R \left(1 + \frac{N}{R}\right) \quad \text{và} \quad R = \frac{m_{vb}^k}{k_c} \quad ; \quad (10)$$

$$\text{và } \rho_v = \frac{1 + \frac{N}{R}}{\omega + \frac{R}{N}}, \quad \text{vì } \rho_v = \frac{R + N}{\omega R + N} \quad (11)$$

- Xác định hệ số lợi dụng khả năng tạo rỗng thực tế :

$$\alpha^{tt} = \frac{V_{r,hb}^{tt}}{p_{CTR} \cdot k_{TR}} = \frac{r_{hb}^{tt} \cdot V_{hb(m)}^{tt}}{p_{CTR} \cdot k_{CTR}} \quad ; \quad (12)$$

trong đó :  $V_{r,hb}^{tt}$  - thể tích rỗng thực tế của mẻ trộn ;

$V_{hb(m)}^{tt}$  - thể tích thực tế của mẻ trộn.

- Xác định khối lượng riêng phần thực tế của thành phần silic :

$$\text{Từ công thức (11) ta có : } \omega'' = \frac{1 + \frac{N}{R}}{\rho_v''} - \frac{N}{R} \quad (13)$$

Xác định hệ số  $k_c$  thực tế : Từ công thức (10) có thể rút ra :

$$k_c^{TT} = \frac{m_{vb}''}{\rho_{hb}''} \left( 1 + \frac{N}{R} \right) \quad (14)$$

- Từ các hệ số điều chỉnh đúng với thực tế thí nghiệm tính ra lượng dùng chất tạo rỗng để bê tông tổ ong đạt khối lượng thể tích theo yêu cầu thiết kế, trước hết xác định độ rỗng cần đạt được của bê tông tổ ong theo yêu cầu thiết kế :

$$r_b^{TK} = 1 - \frac{m_{vb}^{KTK}}{k_c''} \left( \omega + \frac{N}{R} \right) \quad (15)$$

từ đó tính lại lượng dùng chất tạo rỗng :

$$P_{CTR} = \frac{r_b^{TK}}{k_c^{TT} \cdot \omega''} \cdot 1000, \text{ kg} \quad (16)$$

Tương tự như vậy, xác định lại lượng dùng các thành phần của hỗn hợp bê tông tổ ong, rồi đúc mẫu thí nghiệm. Xác định cường độ và khối lượng thể tích của bê tông tổ ong. Nếu các chỉ tiêu trên ( $R_n$  và  $m_{vb}^{kho}$ ) chưa đạt yêu cầu thì điều chỉnh lại cấp phối bê tông căn cứ vào các nhân tố ảnh hưởng đến chúng.

Ví dụ : Xác định cấp phối bê tông tổ ong có khối lượng thể tích bê tông ở trạng thái khô  $m_{vb}^k = 700 \text{ kg/m}^3$ , cường độ nén yêu cầu sau gia công chưng áp là  $R_n = 50 \text{ daN/cm}^2$ . Vật liệu sử dụng là :

+ Chất kết dính xi măng - với tỷ lệ  $X : V = 1 : 1$

+ Thành phần silic là tro xỉ có  $\rho = 2 \text{ g/cm}^3$ .

+ Chất tạo rỗng là bột nhôm  $P_{AK-3}$  có sản lượng tạo khí

$k_{CTR} = 1390 \text{ l/kg}$ .

**a) Xác định sơ bộ cấp phối bê tông**

• Chọn sơ bộ tỷ lệ  $C = \frac{P_{si}}{P_{CKD}}$  theo bảng 8.1 với CKD là xi măng - vôi, gia công nhiệt trong avtôklav, sơ bộ chọn  $C = 1,5$ .

• Xác định tỷ lệ  $N/R$  : với  $m_{vb}^k = 700 \text{ kg/m}^3$ , CKD xi măng - vôi theo bảng 8.2, độбет yêu cầu của hỗn hợp vừa là 22cm.

- Trộn một mẻ hỗn hợp vừa theo tỷ lệ xi măng - vôi là 1:1 ; và  $C = 1,5$ , cụ thể lấy 0,5 kg xi măng ; 0,5 kg vôi và 1,5 kg tro xỉ nghiền, trộn với nước. Sau khi thay đổi lượng dùng nước và với 1,45 l nước thì hỗn hợp vừa đạt độбет 22cm.

Vậy : 
$$\frac{N}{R} = \frac{1,45}{2,5} = 0,58$$

• Xác định lượng dùng chất tạo rỗng theo công thức (1) :

$$r_b = 1 - \frac{m_{vb}^{khô}}{k_c} \left( \omega + \frac{N}{R} \right) ;$$

$$m_{vb}^{khô} = 0,7 \text{ T/m}^3 \text{ (theo yêu cầu thiết kế) ;}$$

$k_c$  chọn sơ bộ bằng 1,1 ;

$\omega$  theo bảng 8.3, với thành phần silic là tro xỉ nhẹ, CKD là hỗn hợp xi măng - vôi thì  $\omega = 0,48 \text{ l/kg}$  tính được :

$$r_b = 1 - \frac{0,7}{1,1} (0,48 + 0,58) = 0,325.$$

- Từ đó, tính được lượng dùng chất tạo rỗng cho  $1 \text{ m}^3$  bê tông tổ ong, theo công thức (2), sơ bộ lấy  $\alpha = 0,85$  :

$$P_{CTR} = \frac{r_b \cdot 1000}{\alpha \cdot k_{CTR}} = \frac{0,325 \cdot 1000}{0,85 \cdot 1390} = 0,275 \text{ (kg)}.$$

• Xác định lượng dùng vật liệu thành phần cho  $1 \text{ m}^3$  bê tông tổ ong :

- Tổng lượng dùng thành phần rắn :

$$P_R = \frac{m_{vb}^k}{k_c} = \frac{700}{1,1} = 636 \text{ (kg)}.$$



- Lượng dùng chất kết dính xi măng - vôi :

$$P_{CKD} = \frac{P_R}{1+C} = \frac{636}{1+1,5} = 254 \text{ (kg)}.$$

Trong thành phần CKD, tỷ lệ xi măng-vôi = 1:1  $\rightarrow \frac{P_x}{P_v} = 1$

$$P_v = \frac{P_{CKD}}{1+n} = \frac{254}{2} = 127 \text{ (kg)} ;$$

$$P_x = n.P_v = 1 \times 127 = 127 \text{ (kg)}.$$

- Lượng dùng thành phần silic :

$$P_{si} = P_{CKD} \times C = 254 \times 1,5 = 382 \text{ kg}.$$

- Lượng dùng nước nhào trộn :

$$P_N = P_R \cdot \frac{N}{R} = 636 \cdot 0,58 = 369 \text{ l}.$$

#### b) Thí nghiệm hiệu chỉnh thành phần cấp phối

- Trộn một mẻ thử, 10 lít hỗn hợp bê tông tổ ong theo cấp phối sơ bộ đã xác định có lượng dùng như sau :

$$\text{- Vôi } p_v = \frac{P_v \times V_m}{1000} = \frac{127 \times 10}{1000} \rightarrow p_v = 1,27 \text{ kg} ;$$

$$\text{- Xi măng } p_x = 1,27 \text{ kg} ;$$

$$\text{- Tro xỉ } p_{si} = 3,82 \text{ kg} ;$$

$$\text{- Nước } p_n = 3,69 \text{ l} ;$$

$$\text{- Chất tạo rỗng bột nhôm } P_{CTR} = 2,75 \text{ g}.$$

- Nhào trộn hỗn hợp các thành phần trên thành hỗn hợp vữa, xác định khối lượng thể tích thực tế của hỗn hợp vữa khi chưa tạo rỗng :  $\rho_v^u = 1,47 \text{ kg/l}.$

- Trộn hỗn hợp vữa với bột nhôm (2,75g) và đổ vào khuôn  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ , hỗn hợp nở phồng trong khuôn, cất bỏ phần

thừa xác định khối lượng thể tích thực tế của hỗn hợp bê tông tổ ong  $\rho_{hb}^{tt} = 1,043 \text{ kg/l}$ .

- Sau khi dưỡng hộ trong avtoklav theo chế độ quy định có được bê tông tổ ong, sấy khô mẫu đến khối lượng không đổi và xác định được khối lượng thể tích thực tế của bê tông tổ ong  $m_{vb}^{kt} = 0,766 \text{ kg/l}$ .

• Xác định các giá trị thực tế của hệ số đã chọn trong tính toán sơ bộ :

- Độ rỗng thực tế của hỗn hợp bê tông tổ ong trộn thủ (tính theo công thức 9)

$$r_{hb}^{tt} = 1 - \frac{\rho_{hb}^{tt}}{\rho_v^{tt}} = 1 - \frac{1,043}{1,47} = 0,29.$$

- Thể tích thực tế của mẻ trộn hỗn hợp bê tông tổ ong :

$$V_m^{tt} = \frac{\sum p}{\rho_{hb}^{tt}} = \frac{1,27 + 1,27 + 3,82 + 3,69 + 0,00275}{1,043} = 10,071.$$

- Tính hệ số lợi dụng khả năng tạo rỗng thực tế theo công thức (12)

$$\alpha^{tt} = \frac{V_{r,hb}^{tt}}{P_{CTR} \cdot k_{TR}} = \frac{r_{hb}^{tt} \cdot V_{hb(m)}^{tt}}{P_{CTR} \cdot k_{CTR}} = \frac{0,29 \cdot 10,07}{2,75 \cdot 1,390} = 0,76$$

- Xác định khối lượng riêng phần thực tế của thành phần silic là tro xỉ nhẹ, theo công thức (13)

$$\omega^{tt} = \frac{1 + \frac{N}{R}}{\rho_v} - \frac{N}{R} = \frac{1 + 0,58}{1,47} - 0,58 = 0,49.$$

- Xác định hệ số  $k_c$  thực tế theo công thức (14) :

$$k_c^{TT} = \frac{m_{vb}^{tt}}{\rho_{hb}^{tt}} \left( 1 + \frac{N}{R} \right) = \frac{0,766}{1,043} (1 + 0,58) = 1,16$$

• Từ các giá trị thực tế của các hệ số xác định qua thí nghiệm, xác định lại các thông số cấp phối hỗn hợp bê tông tổ ong :

- Độ rỗng cần đạt được theo yêu cầu thiết kế (theo công thức (15) :

$$r_{hb}^{TK} = 1 - \frac{0,7}{1,16} (0,49 + 0,58) = 0,36 ;$$

- Lượng dùng chất tạo rỗng (bột nhôm) :

$$P_{CTR} = \frac{0,36.1000}{0,76.1390} = 0,412 \text{ (kg)} ;$$

- Lượng dùng các thành phần rắn :

$$P_R = \frac{m_{vb}^k}{k_c''} = \frac{700}{1,16} = 604 \text{ (kg)} ;$$

$$P_{CKD} = \frac{P_R}{1+C} = \frac{604}{1+1,5} = 242 \text{ (kg)} ;$$

trong đó :  $P_x = 121 \text{ kg}$  ;  $P_v = 121 \text{ kg}$  ;

$$P_{si} = P_{CKD} \times C = 242 \times 1,5 = 363 \text{ (kg)} ;$$

- Lượng dùng nước :

$$P_N = P_R \cdot \frac{N}{R} = 604 \times 0,58 = 350 \text{ l.}$$

• Với cấp phối đã được điều chỉnh, trộn một mẻ thử, thí nghiệm xác định được :

- Khối lượng thể tích bê tông tổ ong ở trạng thái khô  $0,72 \text{ kg/l}$  ;

- Cường độ nén :  $R_n = 52 \text{ daN/cm}^2$ .

Như vậy cấp phối bê tông tổ ong đạt yêu cầu thiết kế.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Lê Văn Kiêm :*  
Bê tông và bê tông cốt thép trong xây dựng hiện đại.  
Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật - Hà Nội 1976.
2. *Phùng Văn Lự - Phạm Duy Hữu - Phan Khắc Trí :*  
Giáo trình Vật liệu xây dựng - Nhà xuất bản Giáo dục 1993.
3. *Nguyễn Tấn Quý :*  
Lý thuyết bê tông - Trường Đại học Xây dựng 1976.
4. *Nguyễn Tấn Quý - Phạm Duy Hữu - Nguyễn Thúc Tuyên :*  
Giáo trình Thí nghiệm vật liệu xây dựng.  
Nhà xuất bản Đại học và THCN 1983.
5. *Nguyễn Tấn Quý :*  
Korożja betonu w wodzie morskiej w warunkach Wietnamu.  
Praca doktorska - Poznan 1971.
6. *Hoàng Uẩn Nguyên :*  
Công nghệ sản xuất cấu kiện bê tông và bê tông cốt thép.  
Đại học Đồng Tế - Thượng Hải 1962.
7. *Tomasz Kluz :*  
Zagadnienia ogólne prefabrykacji. Arkady - Warszawa 1972.
8. *Конопленко А. И.:*  
Технология бетона - Рачесты и задачи.  
Издат. Высшая школа - Киев 1975.
9. *Саталкин А. В. и др.:*  
Технология изделий из силикатных бетонов. Москва -  
Стройиздат 1977.
10. *Сизов В. Н., Киров С. А., Попов Л. Н.:*  
Технология бетонных и железобетонных изделий.  
Москва - Стройиздат 1972.

11. **Сорокер В. И.:**  
Примеры и задачи по технологии бетонов изделий.  
Москва 1972.
12. **Robert S. :**  
Bài giảng về công nghệ bê tông - Weimar - Hà Nội 1984.
13. **Tiêu chuẩn Việt Nam :**  
Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng - Phương pháp thử.  
TCVN - 1993.
14. **A. C. I. Manual of Concrete Practice**  
American Concrete Institute 1993.
15. **Баженов Ю. М., Комар А. Г.:**  
Технология бетонных и железобетонных изделий. Москва  
- Стройиздат 1984.
16. **Бужевич Г. А.:**  
Ледкие бетоны на пористых заполнителях. Издат. литер.  
по строительству. Москва 1970.
17. **Волженский А. В., Иванов И. А., Виноградов Б. Н.:**  
Применение зол и топливных шлаков в производстве  
строительных материалов. Москва - Стройиздат 1984.
18. **Гершберт О. А.:**  
Технология бетонных и железобетонных изделий. Издат.  
литер. по строительству - Москва 1973.
19. **Гладких К. В.:**  
Изделия из ячеистых бетонов на основе шлаков и зол.  
Москва - Стройиздат 1976.
20. **Иванов И. А.:**  
Технология ледких бетонов на искусственных пористых  
заполнителях. Москва - Стройиздат 1974.
21. **Иванов И. А.:**  
Совершенствование ледких бетонов на основе  
промышленных отходов. Бетон и железобетон - 1985 -  
№ 7.

# MỤC LỤC

Trang

Lời nói đầu

3

## Chương 1

### MỞ ĐẦU

- |   |    |
|---|----|
| 1.1. Định nghĩa và phân loại                      | 5  |
| 1.2. Khái niệm về bê tông cốt thép                | 7  |
| 1.3. Khái niệm về bê tông cốt thép ứng suất trước | 9  |
| 1.4. Sơ lược về cấu kiện bê tông đúc sẵn          | 10 |

## Chương 2

### HỖN HỢP BÊ TÔNG

- |  |    |
|--|----|
| 2.1. Tính chất cơ lý và đặc trưng lưu biến của hỗn hợp bê tông | 17 |
| 2.2. Các loại hỗn hợp bê tông và đặc trưng công nghệ của chúng | 23 |
| 2.3. Các nhân tố ảnh hưởng đến tính chất của hỗn hợp bê tông   | 26 |

## Chương 3

### QUÁ TRÌNH RẮN CHẮC CỦA XI MĂNG VÀ SỰ HÌNH THÀNH CẤU TRÚC ĐÁ XI MĂNG

- |  |    |
|--|----|
| 3.1. Các dạng liên kết của nước                                    | 38 |
| 3.2. Sự rắn chắc của xi măng pooc lăng                             | 40 |
| 3.3. Cấu trúc đá xi măng   | 45 |
| 3.4. Đẩy nhanh sự rắn chắc của bê tông ở nhiệt độ thường           | 47 |
| 3.5. Đẩy nhanh sự rắn chắc bê tông ở nhiệt độ cao                  | 50 |
| 3.6. Sự biến dạng về thể tích của bê tông trong quá trình rắn chắc | 51 |

## Chương 4

### NHỮNG TÍNH CHẤT CƠ BẢN CỦA BÊ TÔNG

- |  |    |
|--|----|
| 4.1. Cấu tạo và cấu trúc của bê tông   | 55 |
| 4.2. Những tính chất của bê tông dưới ảnh hưởng của tác dụng vật lý với nước | 58 |

4.3. Tính chất nhiệt lý của bê tông	61
4.4. Tính chất cơ học của bê tông	63
4.5. Tính chất đàn hồi - dẻo của bê tông	73
4.6. Tính bền vững của bê tông	75

## Chương 5

### BÊ TÔNG XI MĂNG CỐT LIỆU ĐẶC CHẮC

5.1. Vật liệu dùng cho bê tông nặng	78
5.2. Những liên hệ cơ bản trong bê tông	87
5.3. Chọn cấp phối bê tông	95
5.4. Một số loại bê tông thông dụng khác của bê tông xi măng cốt liệu đặc chắc	110

## Chương 6

### BÊ TÔNG SILICÁT

6.1. Khái niệm và những tính chất cơ bản	122
6.2. Sự rắn chắc của bê tông silicát	124
6.3. Nguyên vật liệu chế tạo bê tông silicát	126
6.4. Những tính chất cơ bản của chất kết dính vôi - silic	127
6.5. Các nhân tố ảnh hưởng đến tính chất bê tông silicát	130
6.6. Cấp phối bê tông silicát	133

## Chương 7

### BÊ TÔNG NHE CỐT LIỆU RỎNG

7.1. Giới thiệu chung	139
7.2. Phân loại và tính chất kỹ thuật	140
7.3. Cốt liệu rỗng trong bê tông nhẹ cốt liệu rỗng	143
7.4. Các nhân tố ảnh hưởng đến khối lượng thể tích và cường độ của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng	150
7.5. Thiết kế cấp phối bê tông nhẹ cốt liệu rỗng theo phương pháp tính toán kết hợp với thực nghiệm	155

## Chương 8

### BÊ TÔNG TỔ ONG

8.1. Phân loại và tính chất kỹ thuật	170
8.2. Nguyên vật liệu để chế tạo bê tông tổ ong	173
8.3. Các phương pháp tạo rỗng	176
8.4. Các nhân tố ảnh hưởng đến tính chất bê tông tổ ong	180
8.5. Cấp phối bê tông tổ ong	185

*Tài liệu tham khảo*

*Mục lục*

196
198

*Chịu trách nhiệm xuất bản :*  
Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI  
Tổng biên tập VŨ DƯƠNG THỤY

*Biên tập lần đầu :*  
PHẠM THANH HƯƠNG

*Biên tập tái bản :*  
BÙI MINH HIẾN

*Trình bày bìa :*  
ĐOÀN HỒNG

*Sửa bản in :*  
NGUYỄN MINH THU

*Chế bản :*  
PHÒNG CHẾ BẢN (NXB GIÁO DỤC)

---

**GIÁO TRÌNH CÔNG NGHỆ BÊ TÔNG XI MĂNG - TẬP MỘT**

In 3.000 bản. Khổ 14,5 x 20,5cm. In tại Nhà in Công ty Sách - TBTH Đà Nẵng. Số in : 209. Giấy phép XB số : 189/61 - 03. In xong và nộp lưu chiểu tháng 10 năm 2003.





8 934980 220139



*Giá : 11.000đ*