

Tiết 1 : Nguyên lý không chế nhiệt ở đập bê tông và những biện pháp cơ bản

Giáo sư Phan Gia Tranh (Trung Quốc)

Đầu thế kỷ 20, đối với vấn đề quá trình thay đổi nhiệt trong thân đập bê tông và hậu quả của nó người ta chưa biết nhiều, vì thế trong thiết kế và thi công thiếu sự chú ý cần thiết. Sau đó trong thực tế phát hiện trong thân đập xuất hiện nhiều khe nứt có tính chất không giống nhau, đã làm rõ ứng suất nhiệt là nguyên nhân chủ yếu làm xuất hiện khe nứt ở đập bê tông thể tích lớn, từ đó mới bắt đầu đi sâu nghiên cứu vấn đề thay đổi nhiệt độ, vấn đề ứng suất nhiệt và biện pháp không chế nhiệt. Thực tế đã thu được rất nhiều thành tựu. Trước mắt trong thiết kế bất kỳ một đập trọng lực bê tông lớn nào đều đã đặt vấn đề biện pháp chống nứt và không chế nhiệt là trong những nội dung quan trọng. Trong tiết này sẽ có một số thuyết minh tổng hợp.

I. Thay đổi nhiệt độ trong đập bê tông và hậu quả của nó

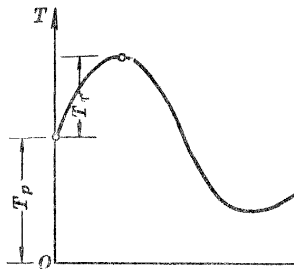
Đập bê tông sau khi đã đổ, nhiệt độ sẽ có sự thay đổi phức tạp làm cho nhiệt độ phát sinh thay đổi, nguyên nhân chủ yếu như sau:

(1) Bê tông trong thời kỳ xi măng hoá cứng, thủy hoá nhiệt phát tán làm cho nhiệt độ trong bê tông lên cao.

(2) Nhiệt độ khi bê tông đã đổ vào khối đổ và nhiệt độ môi giới xung quanh (chủ yếu là nhiệt độ không khí) không giống nhau, từ đó tồn tại chênh lệch nhiệt ban đầu làm cho nhiệt độ thay đổi.

(3) Nhiệt độ vật môi giới xung quanh phát sinh thay đổi hoặc do nhiệt độ không khí khi đổ bê tông thay đổi đến nhiệt độ ổn định, hoặc thay đổi theo chu kỳ.

Do những nguyên nhân ở trên, giữa các điểm trong nội bộ khối bê tông, và



do tác dụng của thủy hoá nhiệt, nhiệt độ sẽ lên cao. Thời gian đoạn nhiệt độ tăng lên này không dài, vì thủy hoá nhiệt trong vòng 28 ngày sẽ phát tán hết. Rồi sau đó nhiệt độ sẽ xảy ra xu thế lên cao và hạ thấp (trong quá trình hạ xuống có dao động phức tạp). Thời kỳ hạ xuống này có thể trải qua hơi dài.

Cuối cùng khi các loại ảnh hưởng ban đầu (thủy hoá nhiệt chênh lệch nhiệt độ ban đầu, chênh lệch giữa nhiệt độ ổn định và nhiệt độ đổ bê tông) dần dần mất đi, nhiệt độ tại điểm này đạt đến kỳ ổn định. Lúc này nhiệt độ sẽ tùy theo sự biến động có tính quy luật của nhiệt độ bên ngoài mà thể hiện biến động rất nhỏ hoặc đều đều. Tất nhiên những vấn đề nêu ở trên là xu thế chung, nếu như dùng nhân công khống chế đối với nhiệt độ thì đường cong biến hoá của nó có thay đổi rất lớn.

Những thay đổi về nhiệt độ này tại sao lại có thể sản sinh ra nứt nẻ nhiệt độ? Tóm lại là sau khi nhiệt độ phát sinh thay đổi thì thể tích của bê tông theo đó mà co dãn. Khi khối bê tông không được tự do, mặt co dãn bị hạn chế hoặc bị ràng buộc thì sinh ra ứng suất nhiệt độ. Khi ứng suất kéo vượt quá cường độ của bê tông thì sinh ra nứt. ứng suất nhiệt độ và khe nứt về đại thể có thể chia ra làm hai loại. Trước tiên xét về mặt chính thể, sau khi đưa vào khối đổ nhiệt độ của bê tông lên cao rất nhanh, sau đó lại xuống thấp, thể tích dãn nở và sau đó dần dần co lại. Trong quá trình co lại của khối bê tông lại gặp phải một loại gò ép nào đấy thì sinh ra ứng suất kéo hoặc khe nứt. Đặc điểm của loại khe nứt là phát sinh ở những nơi biến dạng bị ràng buộc và khống chế nghiêm trọng nhất như ở nơi gần nền đá hoặc nơi bê tông cũ. Đồng thời thời gian phát sinh của nó cũng rất chậm vì như trên kia đã đề cập đến, quá trình hạ nhiệt của bê tông là chậm chạp. Muốn đề phòng loại khe nứt này, nguyên tắc chính là phải giảm thấp nhiệt độ cao nhất của bê tông làm cho nhiệt độ chênh lệch giữa nhiệt độ ổn định và nhiệt độ cao nhất được thu nhỏ lại.

Tiếp đến là quá trình thay đổi nhiệt độ trong khối bê tông, nhiệt độ phân bố không đều, vùng biên giới nhiệt độ giáp ranh nơi trung tâm có nhiệt độ trung tâm, như vậy trong nội bộ khối sinh ra nhiệt độ bậc thang từ đó dẫn đến ứng suất nhiệt. Loại ứng suất nhiệt này và khe nứt bất kỳ lúc nào đều có thể phát sinh, nhất là sau khi đổ bê tông không lâu thì phát sinh nhiều nhất vì lúc này trong nội bộ bê tông nhiệt độ tăng lên rất cao cùng với nhiệt độ thấp ở bên ngoài dễ hình thành bậc thang nhiệt độ rất lớn. Sau khi đổ bê tông, nếu khí hậu bên ngoài có sự đột biến cũng dễ xuất hiện loại khe nứt này. Loại khe nứt này phần nhiều sản sinh khi nhiệt độ bậc thang ở nơi cao nhất quá nửa phát sinh trên cạnh. Muốn đề phòng loại khe nứt này, vấn đề chủ yếu là phải loại bỏ triệt để nhiệt độ bậc

thang, giảm bớt chênh lệch nhiệt độ bên trong và bên ngoài chứ không phải hạ thấp nhiệt độ tuyệt đối của bê tông.

Chính vì thế khống chế nhiệt ở bê tông có hai nội dung sau đây: Một là giảm thiểu chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ cao nhất của bê tông với nhiệt độ ổn định. Mặt khác còn phải làm cho nhiệt độ các điểm đều đặn không hình thành dốc đứng.

Yêu cầu thứ ba là làm cho thân đập nhanh chóng đạt đến nhiệt độ ổn định cuối cùng để tiến hành xử lý bịt khe, làm mất sự đe dọa ứng suất nhiệt tương đối lớn phát sinh trở lại. Về điểm này đối với đập vòm, đập trọng lực chính thể và đập trọng lực có khe dọc thẳng đứng là rất quan trọng.

Từ đó cho thấy nội dung khống chế nhiệt ở đập bê tông là nhiều mặt, trong đó khống chế nhiệt cao nhất và nhanh chóng phát tán nhiệt lượng là khâu chủ yếu song không phải là toàn bộ nội dung.

Cũng có lúc chúng tôi muốn tiến hành những công việc ngược lại, tức là thêm nhiệt cho bê tông và giữ nhiệt lại. Ví dụ ở những khu vực giá rét nhất là về mùa đông, khi đổ bê tông phải tăng nhiệt độ vật liệu trộn bê tông sử dụng ván khuôn để giữ nhiệt, bề mặt lộ ra cũng phải che đậy. Khi chênh lệch nhiệt độ ban đầu quá lớn, nhiệt độ không khí đột nhiên hạ thấp, khối bê tông không nên để lộ ra trong thời dài mà nên kịp thời bảo hộ. Nên đề phòng nhiệt độ trong khối bê tông thấp hơn nhiệt độ ổn định quá nhiều. Nhưng trong chương này chúng tôi vẫn chỉ hạn chế luận bàn về nội dung chủ yếu trong khống chế nhiệt, đó là những vấn đề về khống chế nhiệt cao nhất và tăng tốc độ tỏa nhiệt.

Nên chỉ ra ứng suất nhiệt mặc dù là nguyên nhân chủ yếu sinh ra khe nứt, nhưng những nhân tố khác cũng có thể dẫn đến khe nứt như ứng suất kết cấu, ứng suất co ngót, hiện tượng ứng suất tập trung cục bộ, v.v. Đồng thời với việc tiến hành khống chế nhiệt còn phải tiêu trừ những nguyên nhân có hại thứ yếu này (xem Tiết 7 trong Chương này).

II. Biện pháp khống chế nhiệt độ cao nhất của bê tông

Biện pháp khống chế nhiệt cao nhất trong bê tông rất nhiều, đều có ý nghĩa quan trọng cả, nên căn cứ vào điều kiện cụ thể tổ hợp sử dụng. Chúng tôi xin giới thiệu như sau:

1. Sử dụng bê tông nhiệt độ thấp. Một mặt sử dụng loại xi măng nhiệt thấp, mặt khác giảm bớt lượng dùng xi măng đơn vị, loại xi măng Poóc lăng mác cao

phổ thông có lượng phát nhiệt tương đối lớn, cường độ cũng lớn, vì thế không phải là loại vật liệu lý tưởng nhất để đổ bê tông. Đối với đập tương đối lớn, tốt nhất là dùng loại xi măng nhiệt thấp. Đặc điểm chủ yếu của loại xi măng này là C_3S không nhiều, C_2S tương đối nhiều, thủy hoá nhiệt 7 ngày không quá 60 calo/kg.

Về mặt lượng dùng xi măng cho một đơn vị, trong những năm gần đây có xu thế hạ thấp rõ rệt. Đã từng có trường hợp hạ lượng dùng xi măng đơn vị xuống 110kg. Tất nhiên đây chỉ là nội bộ bê tông, muốn hạ thấp lượng xi măng mà vẫn đảm bảo chất lượng bê tông phải sử dụng rất nhiều biện pháp có hiệu quả. Ví dụ như cho vào các chất độn khác nhau (tro than, xỉ v.v), chọn cấp phối tốt, dùng cốt liệu lớn, cho vào một khối lượng lớn đá hộc và trộn chất phụ gia vào vật liệu trộn bê tông, v.v.

Hạ thấp lượng dùng xi măng đơn vị không những hạ thấp được nhiệt độ còn có thể hạ thấp giá thành bê tông, tiết kiệm vật liệu xây dựng, ý nghĩa của nó rất lớn. Chúng tôi khi tiến hành thiết kế thân đập phải căn cứ vào sự phân tích cụ thể, quy định hợp lý mức bê tông ở các khu, chọn thiết kế tuổi bê tông thích đáng. Hơn nữa trong thiết kế thi công nghiên cứu tỷ lệ phối hợp tốt nhất, biện pháp thêm phụ gia và bỏ đá hộc vào.

Biểu 7-1: Thống kê sơ lược lượng dùng xi măng trong bê tông ở nước ngoài

Nước	Thống kê số lượng đập	Loại đập và năm xây dựng	Lượng dùng xi măng (kg/m^3)	Ghi chú
Anh	44	Đập trọng lực sau 1930	Bên trong 223; bên ngoài 368	
Pháp	10	Đập trọng lực Đập vòm	Bên trong 210; bên ngoài 260, 325	Cho rằng lượng dùng xi măng thấp hơn 200; Chống đông, chống thấm, chống mài mòn sẽ thấp
Bồ Đào Nha	5	Đập vòm dày Đập vòm mỏng kiểu trọng lực mố	200~225 225~250 150	
Thụy Điển	Đập xây dựng gần 30 năm lại đây		275~350	Đập ngăn nước sớm, lượng xi măng 230, tro bay 0.9, từng bị phá hoại
Thụy Sĩ	2		Thượng du 270; hạ du 250 Bên trong 170	

Mỹ		Đập trọng lực trước 1940	223	
		Đập Tùng Nguyên	Bên trong 112; bên ngoài 126	Tăng thêm 56kg xi vôi
		Đập Mã Nghĩa	Bên trong 110; bên ngoài 168	Tăng thêm 33kg xi vôi

Khi sử dụng các biện pháp để hạ thấp lượng dùng xi măng, chúng tôi cũng chú ý đến không thể vô căn cứ mà dùng nhiều hay ít xi măng để tránh cho cường độ kháng kéo thời kỳ sớm của bê tông quá thấp, dễ phát sinh khe nứt.

2. Xúc tiến toả nhiệt thiên nhiên

Kích thước khối đổ bê tông và thời gian nghỉ cách quãng đối với hiệu quả toả nhiệt thiên nhiên có rất nhiều ảnh hưởng. Sử dụng đổ tầng mỏng và kéo dài thích đáng thời gian cách quãng có thể làm cho đại bộ phận thủy hoá nhiệt từ mặt lộ ra, phát tán, từ đó có thể hạn chế nhiệt cao nhất.

Để đẩy nhanh tốc độ toả nhiệt tự nhiên, còn có thể bố trí khe lạnh hoặc giếng làm lạnh, nói cách khác làm cho khối bê tông càng có nhiều diện toả nhiệt. Khi tiến độ thân đập thi công tương đối chậm, hiệu quả của những biện pháp này càng tốt. Một số đập ở Mỹ, Thụy Điển cứ mỗi khi cất thân đập ra từng 10m lại bố trí khe làm lạnh, mở rộng thời gian toả nhiệt từ mấy tháng đến mấy năm, sau đó lại dùng bê tông lấp lại để làm cho thân đập kết thành chỉnh thể. Chiều rộng khe làm lạnh chừng 1.0 ~ 3.0m, công tác lấp khe phải chờ sau khi khối bê tông được làm lạnh ổn định và chọn vào thời điểm cuối đông đầu xuân để tiến hành. Trên bê tông lấp khe khi cần phải tiến hành nhân công làm lạnh. Khe rộng ở đập bê tông trọng lực là mặt toả nhiệt tốt, hơn nữa không cần phải lấp lại.

3. Hạ thấp nhiệt độ nhập khối đổ

Phương pháp thường sử dụng nhất là làm lạnh thủ công đối với vật liệu trộn bê tông, ví dụ làm lạnh các loại cốt liệu, dùng nước lạnh hoặc đá đông cục trộn vào. Về mùa hè thực hành tác nghiệp cách nhiệt, để phòng trong quá trình vận chuyển và đổ bê tông nhiệt độ tăng cao.

Sử dụng nước đóng băng hoặc tảng băng để trộn bê tông có thể làm cho nhiệt độ bê tông hạ thấp 6 ~ 8⁰, nếu lại làm lạnh cốt liệu có thể làm nhiệt độ bê tông lạnh quá 10⁰, và muốn hạ nhiệt độ xuống nữa thì phải làm lạnh xi măng và cát nữa.

4. Nhân công làm lạnh đối với ống nước làm lạnh

Phương pháp này là chôn ống nước làm lạnh trong bê tông, bê tông đổ vào khối, sau khi ninh kết sơ bộ lập tức thông nước làm lạnh để giảm thấp nhiệt độ cao nhất trên bê tông.

III. Biện pháp khống chế quá trình toả nhiệt trong bê tông

Muốn khống chế quá trình toả nhiệt sau khi bê tông đạt nhiệt độ cao nhất, nói chung đều dùng ống nước làm lạnh như trên. Trong bê tông chôn ống làm lạnh sẽ dẫn đến hai tác dụng, trong đó: sau khi bê tông vào khối đổ lập tức cho thông nước để giảm nhiệt độ cao nhất, gọi đây là cách làm lạnh kỳ thứ nhất. Một tác dụng nữa là bê tông sau khi đạt đến nhiệt độ cao nhất lại thông nước để tăng thêm tốc độ toả nhiệt. Cách này gọi là cách “làm lạnh lần 2”.

ở trên đã nói đến bố trí khe rộng, khe làm lạnh, giếng làm lạnh cũng đồng thời nói đến hai tác dụng, một là hạ thấp nhiệt độ cao nhất của bê tông, thứ nữa là tăng tốc độ tản nhiệt, song tác dụng thứ hai là chính.

IV. ảnh hưởng của phân khe, phân khối đối với ứng suất nhiệt độ

Dem thân đập bê tông thích đáng phân khe để đỡ bê tông, thường thường trên mức độ rất lớn giảm thiểu ứng suất nhiệt độ và tránh được phát sinh khe nứt, đây là một thực tế nhiều người đều biết. Loại khe nhiệt làm giảm tác dụng ứng suất nhiệt có thể phân thành 2 lý do chính để giải thích:

(1) Khe nhiệt độ giảm nhẹ tác dụng ràng buộc, làm giảm ứng suất nhiệt, biểu thị trong hình 7-8a: một khối đổ bê tông dài vô hạn, có chiều dày là h (chiều rộng thẳng góc với mặt giấy ta cho bằng 1). Để tiện cho việc tính toán, giả định mặt nền đá hoàn toàn cứng. Cho nhiệt độ khối đổ bê tông dài vô hạn hạ đều đều xuống ΔT , do chịu sự hạn chế của nền đá nó không thể tự do co lại, từ đó phát sinh ứng suất nhiệt. Trong trường hợp này trên các điểm đều sinh ra ứng suất kéo đều đặn:

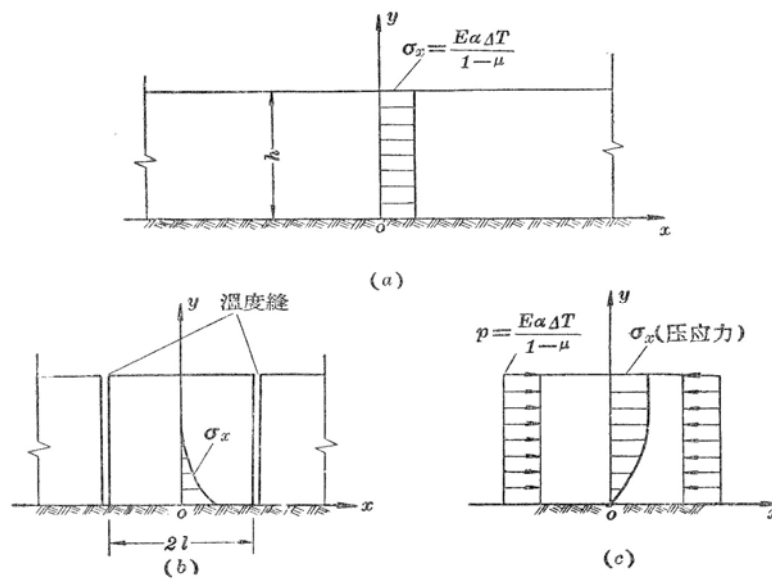
$$\sigma_x = \frac{E\alpha\Delta T}{1 - \mu}$$

Nếu như chúng ta lập một số khe nhiệt độ dọc theo phương hướng trục x , khoảng cách giữa khe là $2l$ thì ứng suất nhiệt độ trên mặt cắt thẳng góc sẽ bị tiêu trừ. Trên mặt khe, ứng suất nhiệt này tất nhiên giảm bằng 0 (vì trên mặt khe nhiệt độ là mặt không có ứng suất). Trên các mặt cắt nội bộ, ứng suất nhiệt cũng sẽ bị tiêu giảm ở mức độ khác nhau. Căn cứ vào nguyên lý cộng tác dụng trong lực học đàn hồi, trường hợp ở hình 7-8b có thể cho là tổng cộng của hai loại trường hợp 7-8a và 7-8c. Hình 7-8c là khối bê tông có chiều dày là h , chiều dài

là $2l$, ở mép chịu tác dụng của lực đều $p = \frac{E\alpha\Delta T}{1-\mu}$, p sẽ sản sinh ra ứng suất nén trong khối bê tông.

Những ứng suất nén này đại diện cho tác dụng giảm tải của khe nhiệt độ. Lấy mặt cắt đối xứng của ứng suất nhiệt độ $x = 0$ để nói khi khoảng cách giữa hai khe nhiệt độ $2l$ càng nhỏ, trong hình 7-8c, ứng suất nén càng đều thì càng gần $\frac{E\alpha\Delta T}{1-\mu}$.

Vì thế sau khi đặt các khe nhiệt độ càng dày, hầu như có thể toàn bộ tiêu trừ ứng suất nhiệt σ_x trong khối bê tông, chỉ còn nơi gần mặt nền đá còn tàn dư một bộ phận nhỏ, đó là để tạo điều kiện đề phòng phát sinh khe nứt nhiệt độ.



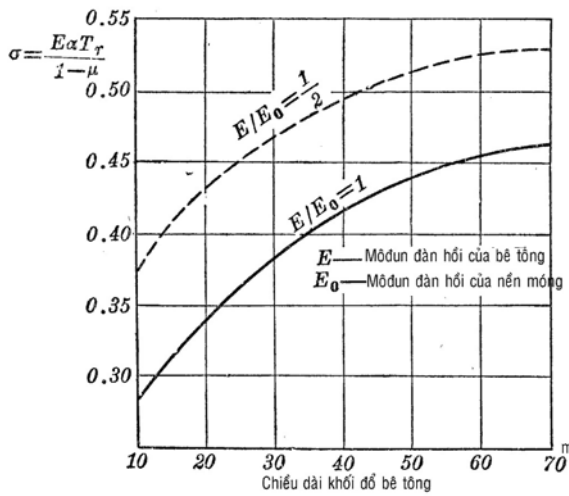
Hình vẽ 7-8: Tác dụng của khe nhiệt

Cần phải chú ý căn cứ vào lực học đàn hồi, nếu giả định nền đá là cứng vô hạn, thì bất luận khoảng cách giữa các khe nhiệt độ gần nhau như thế nào thì ứng suất kéo lớn nhất ở nơi nền đá vẫn là $\frac{E\alpha\Delta T}{1-\mu}$ chỉ là giảm thiểu rất nhanh ở khu

chịu kéo khiến cho ứng suất kéo để lộ ra tính chất phân bố cục bộ, chúng tôi sẽ còn đề cập tới ở phần sau. Sau khi xem xét tính chất dẻo của vật liệu, khe nhiệt còn có thể giảm bớt trị số ứng suất kéo lớn nhất. Nhưng dựa theo kết quả phân tích lực học đàn hồi, khe nhiệt giảm thấp ứng suất nhiệt, hiệu quả đề phòng phát sinh khe nứt dần là rất rõ ràng. Lấy hai trường hợp (a) và (b) trong Hình 7-8 để so sánh, mặc dù ứng suất kéo lớn nhất trên mặt nền đá tương đồng song ở trường hợp (b) khả năng phát sinh khe nứt có tính xuyên suốt không lớn, mà chính là ở trường hợp (a), chỉ cần ứng suất kéo lớn nhất vượt qua cường độ kháng kéo của

bê tông, cục bê tông tất nhiên sẽ đứt đoạn toàn bộ. Những khe nứt nhiệt này sẽ đại thể phân bố đều, khoảng cách giữa các khe chính là khoảng cách lớn nhất của khe nhiệt, cần bố trí để đề phòng cục bê tông bị nứt ra.

(2) Khi nhiệt hạ thấp, ứng suất ràng buộc lớn nhất ở mặt nền đá. Trên đây đã nói đến, khi theo lực học đàn hồi để tính toán ứng suất nhiệt, ứng suất kéo lớn nhất ở trên mặt nền đá là một hằng số. Nhưng trên thực tế cục bê tông sau khi đổ xong, mô đun đàn hồi dần dần thay đổi, nhiệt độ cũng dần dần lên cao trước rồi sau mới từ từ hạ xuống, bê tông có đặc tính từ biến. Sau khi xem xét các nhân tố này, ứng suất ràng buộc lớn nhất ở trên mặt nền đá không phải là không thay đổi mà là hàm số của khoảng cách giữa các khe. Kết luận này do Viện nghiên cứu khoa học thủy lợi thủy điện thu được những năm gần đây. Nhiệt độ lớn nhất sinh ra trong quá trình thủy hóa nhiệt tăng nhiệt và nhiệt hạ thấp trở lại trong khối đổ bê tông có chiều dài khác nhau như đường cong trong Hình 7-9. Chiều dài khối đổ đối với ứng suất nhiệt sinh ra do chênh lệch nhiệt ban đầu cũng có ảnh hưởng tương tự.



Từ những trường hợp ở trên mà xét có thể cho rằng hợp lý phân khe, kích thước chia khối là biện pháp có hiệu quả để giảm thiểu ứng suất nhiệt, đề phòng phát sinh khe nứt. Khoảng cách giữa các khe ngang trong đập là 12 ~ 18m, cự ly của khe dọc thay đổi tương đối lớn, trước kia thường dùng 10 ~ 15m, những năm gần đây có xu hướng lớn hơn. Tất nhiên khoảng cách càng lớn thì vấn đề ứng suất co ngót nhiệt càng quan trọng, yêu cầu đối với không chế nhiệt càng nghiêm khắc.

Nghiên cứu khoảng cách giữa các khe và biện pháp khống chế nhiệt nên phối hợp như thế nào mới thích đáng, ta phải căn cứ vào điều kiện khác nhau của từng công trình để nghiên cứu xác định.

V. Ứng dụng tổ hợp biện pháp khống chế nhiệt

Trên đây là giới thiệu các biện pháp khống chế nhiệt, nên căn cứ vào điều kiện công trình cụ thể để tổ hợp ứng dụng. Trong đó có một số biện pháp mà

công trình nào cũng có thể sử dụng, và có thể gọi là biện pháp cơ bản. Một vài biện pháp có thể tùy theo điều kiện tự nhiên như nhiệt độ thay đổi, tính quan trọng của công trình mà quyết định. Chúng tôi có thể quy nạp lại thành mấy loại như sau:

1. Biện pháp cơ bản

(1) Sử dụng loại xi măng nhiệt độ thấp hoặc nhiệt độ vừa.

(2) Trên cơ sở thoả mãn các loại chỉ tiêu thiết kế, sử dụng phương pháp xi măng ít nhất.

(3) Khi khí hậu ngoài trời có thay đổi đột xuất, đối với bề mặt bê tông, cần tiến hành cách nhiệt, tăng cường bảo dưỡng.

(4) Khi đổ bê tông vào mùa thu, mùa đông, thực hiện biện pháp không để cho vật liệu chịu ảnh hưởng quá lớn của nhiệt độ không đổi.

2. Không chế phụ thêm

(1) Sử dụng khoảng cách khe ngang và khe dọc tương đối nhỏ, đổ bê tông lớp mỏng, thời gian nghỉ cách quãng tương đối dài hoặc bố trí khe làm lạnh, giếng làm lạnh, v.v. Không sử dụng những biện pháp thủ công làm lạnh khác chỉ thích ứng với đập tương đối thấp hoặc những khối đập thi công vào mùa đông và mùa xuân. Khối đập cách nền đá tương đối cao và trong những công trình tiến độ thi công tương đối chậm.

(2) Ngoài sử dụng các biện pháp kể trên, đối với bê tông còn tiến hành biện pháp làm lạnh giản đơn như trộn đá đông kết vào, nó thích hợp với đập thấp và đập vừa khối đổ bê tông trong mùa nắng nóng.

(3) Trừ dùng biện pháp (1) ra còn phải dùng ống làm lạnh tiến hành nhân công làm lạnh đối với đập cao, những bộ phận gần mặt nền đá và những bộ phận thi công trong ngày nắng lúc cần thiết có thể cùng một lúc sử dụng cách (2) và (3).

(4) Tiến hành làm lạnh bê tông một cách kịch liệt tức là tiến hành xử lý làm lạnh toàn bộ vật liệu đổ bê tông, nghiêm khắc quy định nhiệt độ đưa vào khối đổ. Kích thước và chiều dày khối đổ bê tông đều mở rộng là vì đã không xem xét đến lấy toả nhiệt thiên nhiên làm biện pháp chủ yếu. Trái lại khi cần thiết còn phải xem xét đến bảo hộ bề mặt khối đổ bê tông, để tránh nhiệt lượng quay ngược lại. Sau khi sử dụng biện pháp này nói chung không dùng biện pháp làm

lạnh bằng ống nước. Biện pháp này thích hợp với đập không quá cao, ở hiện trường có những thiết bị làm lạnh quy mô lớn, tại khu vực nhiệt độ bình quân năm quá thấp biện pháp này không thích hợp lắm.

(5) Trong những trường hợp vấn đề không chế nhiệt rất nghiêm trọng có thể liên hợp sử dụng các biện pháp (3), (4), có nghĩa là tiến hành làm lạnh kịch liệt đối với bê tông, đồng thời cũng dùng biện pháp chôn ống làm lạnh trong bê tông.

Cuối cùng cũng phải chỉ ra trong cùng một công trình phải xem những điều kiện khác nhau mà sử dụng các loại biện pháp không chế nhiệt khác nhau. Ví dụ ở những đoạn đập hai bờ, mặt cắt tương đối nhỏ, khi phải sắp xếp thi công trong mùa tương đối lạnh thì không cần áp dụng biện pháp nhân công làm lạnh, cũng không cần bố trí khe dọc, những đoạn đập ở bộ phận lòng sông tương đối cao thì có thể dùng biện pháp phân khối “dạng cột” để đổ bê tông, không cần phải chôn ống làm lạnh. Nhưng do làm lạnh vật liệu trước và đặt ống làm lạnh, hai biện pháp này mỗi loại đều cần đến thiết bị phức tạp, vì thế không cần thiết cùng trong một công trình dùng cả hai biện pháp.

(Tư liệu tiếp theo: Tính toán trường nhiệt độ trong đập trọng lực)

