

Tiết 2: Tính toán trường nhiệt độ trong đập trọng lực

Phan Gia Tranh (Trung Quốc)

Từ tiết trên (bài “**Nguyên lý khống chế nhiệt ở đập bê tông và những biện pháp cơ bản**” đã đăng trong mục tư liệu của www.vncold.vn) giới thiệu cho thấy trong thiết kế khống chế nhiệt ở đập trọng lực bao gồm các nội dung chủ yếu sau đây: (1) Tính toán quá trình thay đổi nhiệt độ trong bê tông; (2) Tính toán do nhiệt độ thay đổi mà sinh ra ứng suất nhiệt độ; (3) Thiết kế và quy hoạch biện pháp khống chế nhiệt và thiết kế tổ chức thi công hữu quan. Trong tiết này trước tiên thảo luận phương pháp tính toán trường nhiệt độ trong bê tông.

I. Các tài liệu cơ bản

Tiến hành phân tích nhiệt độ đập bê tông cần phải có những tài liệu hoặc một số giả thiết cơ bản, được trình bày như sau:

1. Tài liệu nhiệt độ không khí ở chân đập. Tài liệu này thường căn cứ vào những ghi chép khí tượng tại chỗ để tiến hành phân tích chính lý. Những số liệu quan trọng nhất là:

- Nhiệt độ không khí bình quân nhiều năm
- Nhiệt độ không khí bình quân nhiều tháng
- Nhiệt độ cao nhất, thấp nhất
- Biên độ năm của nhiệt độ không khí
- Biên độ ngày của nhiệt độ không khí
- Biên độ ngày và biên độ trung gian
- Nhiệt độ không khí bình quân tháng thường lấy bình quân tháng bảy là cao nhất, tháng giêng là thấp nhất.

2. Nhiệt độ nước và nhiệt độ nước ngầm ở chân đập.

ở chân đập nhiệt độ nước sông có thể căn cứ vào tài liệu thực đo. Nhiệt độ của nước so với nhiệt độ không khí thấp hơn một ít, biên độ cũng nhỏ. Nhiệt độ nước ngầm thông thường phải tiến hành công tác khảo sát đặc biệt để xác định. Biên độ thay đổi của nhiệt độ nước ngầm tương đối nhỏ, tức là nhiệt độ cao nhất của nó thấp hơn nhiệt độ cao nhất của không khí hoặc nhiệt độ nước sông, song nhiệt độ thấp nhất lại cao hơn nhiệt độ không khí thấp nhất hoặc nhiệt độ nước sông.

Còn nhiệt độ nước sau khi hồ chứa hình thành hiển nhiên không có cách gì trong thời kỳ thiết kế có được tài liệu thực đo mà chỉ có thể tham khảo tài liệu khu vực tương tự hoặc tư liệu của hồ chứa có cao độ tương tự để dùng. Nói chung nhiệt độ bình quân năm của hồ chứa ở trên lớp mặt hồ chứa đại thể bằng nhiệt độ bình quân năm của nước sông và xuống dưới thì thấp

dần, nhưng đến độ sâu nhất định của hồ chứa (chừng dưới 50m) lại giữ không thay đổi. Số không đổi đó từ $8^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ tùy theo điều kiện khí hậu của khu vực xây dựng để định.

Nhiệt độ của nước hồ còn có biên độ nhưng so với tiền độ nhiệt độ nước sông nhỏ hơn, nhất là ở vị trí đáy hồ chứa biên độ đó gần bằng 0.

3. Đặc tính của vật liệu và cấp phối bê tông.

Cấp phối của bê tông là một m^3 bê tông có bao nhiêu trọng lượng xi măng, cát, vật liệu thô và nước có thể tìm được trong tư liệu thiết kế cấp phối. Khi trong một khối thân đập sử dụng bê tông có mác khác nhau, thì xem tình hình cụ thể mà lấy một loại cấp phối quan trọng nhất hoặc dùng trị số bình quân.

Ngoài ra chúng tôi phải biết được dung trọng các loại nguyên vật liệu, các tư liệu cơ bản như tỷ nhiệt và thủy hoá nhiệt của xi măng, từ đó tính ra dung trọng, tỷ nhiệt và các đặc tính khác của bê tông. Các thông số này của bê tông mặc dù tùy theo cấp phối và tính chất nguyên vật liệu mà khác nhau nhưng biên độ không lớn, con số đại thể như sau:

Dung trọng đơn vị	$\rho = 2400\text{kg}/\text{m}^3$;
Tỷ nhiệt	$c = 0.22 \sim 0.24 \text{ Calo}/\text{kg} - ^{\circ}\text{C}$;
Hệ số khuếch tán nhiệt	$a = 0.0025 \sim 0.0045 \text{ m}^2/\text{h}$;
Hệ số dẫn nhiệt	$k = 1.4 \sim 2.4 \text{ Calo}/\text{h} - ^{\circ}\text{C} - \text{m}$.

Trong những công trình quan trọng 2 tư liệu sau cùng phải tiến hành thí nghiệm để xác định.

Đặc tính thủy hoá nhiệt của xi măng là một tư liệu quan trọng, nó quyết định bởi chủng loại xi măng, thời gian xuất xưởng và nhiệt độ khi trộn, phải có tài liệu của nhà sản xuất hoặc thí nghiệm để xác định. Đối với xi măng Poóc lăng mác nhiệt vừa, thủy hoá nhiệt của nó 28 ngày tổng lượng ước 80 Calo/kg, xi măng nhiệt thấp và xi măng có thêm chất trộn, nhiệt lượng phát ra nhỏ hơn đối với loại xi măng Poóc lăng nhiệt vừa, song xi măng mác cao lại cao hơn nhiều.

Quá trình thủy hoá nhiệt của xi măng theo thời gian mà phát sinh là một đường cong rất phức tạp, thường thường để giản hoá tính toán thường giả định dùng một công thức giản đơn để biểu thị.

$$Q_t = Q_0 (1 - e^{-mt}) \quad (7-1)$$

Trong công thức: Q_t là lũy kế từ sau t ngày lượng phát nhiệt của một kg xi măng. Q_0 là tổng lượng phát nhiệt của 1 kg xi măng, m là hệ số toả nhiệt của xi măng, tùy theo chủng loại xi măng và nhiệt độ khi đổ bê tông để định, ước chừng từ $0.2 \sim 0.4$ (ngày^{-1}), trị số m càng lớn phát nhiệt của xi măng càng nhanh.

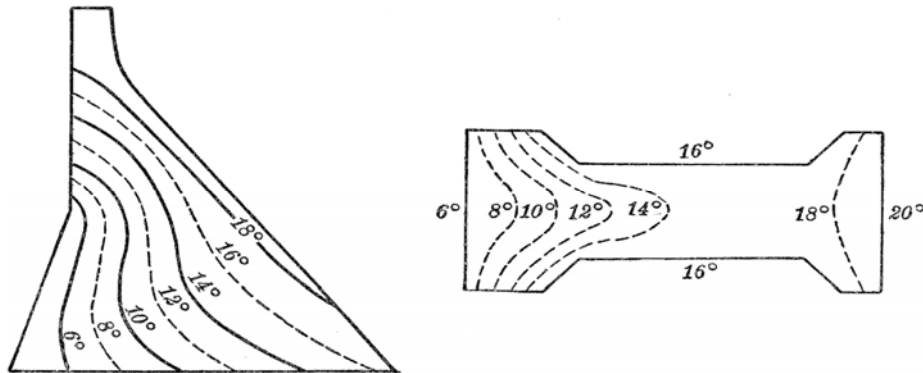
Khi cần tiến hành nghiên cứu tỉ mỉ còn phải xác định dung trọng của nền đá tỷ nhiệt, hệ số dẫn nhiệt, v.v. Nếu muốn đánh giá gần đúng thì có thể tham khảo một số tư liệu trong một số văn kiện để xác định.

II. Tính toán trường nhiệt độ ổn định thân đập

Nhiệt độ ổn định thân đập là chỉ nhiệt độ đạt đến cuối cùng của thân đập đã trải qua thời gian dài vận hành khi một vài ảnh hưởng ban đầu (như thuỷ hoá nhiệt) đã mất đi. Đây là một căn cứ quan trọng trong thiết kế không chế nhiệt độ. Tất nhiên, sau khi những ảnh hưởng ban đầu đã mất đi, do có sự sóng động nhiệt độ trên biên, nhiệt độ các điểm trong đập vẫn có sự sóng động ổn định. Những loại sóng động này ở bề mặt tương đối rõ ràng, khi đi sâu vào nội bộ thì không rõ ràng lắm (phạm vi ảnh hưởng của thay đổi nhiệt độ không khí ngày không quá 0.4 ~ 0.8m, phạm vi ảnh hưởng của thay đổi năm cũng không quá 7 ~ 10m). Chúng tôi thường lấy nhiệt độ bình quân hàng năm các điểm để biểu thị mà vẽ ra trường nhiệt độ ổn định.

Trước đây các bước quyết định trường nhiệt độ ổn định như sau (Hình 7-10):

- (1) Vẽ ra bản vẽ mặt cắt ngang thân đập, đánh dấu nhiệt độ biên.
- (2) Nhiệt độ trên biên gồm đáy đập có thể giả định từ thượng du đến hạ du là phân bố theo tuyến tính.
- (3) Dùng phương pháp tính rời rạc để tính nhiệt độ ổn định các điểm trong nội bộ, là vì trường phân bố nhiệt độ ổn định hướng nằm ngang thoả mãn điều kiện ($\nabla^2 T = 0$).



Hình 7-10

Sau khi vẽ ra trường nhiệt độ ổn định thân đập, chúng ta có thể tìm ra nhiệt độ ổn định bình quân tất cả các mặt cắt thân đập, hoặc nhiệt độ ổn định bình quân từng phân khu.

Đối với đập trọng lực khe rộng, trừ mặt thượng du và hạ du ra hai bên của khe rộng cũng là biên giới vì thế nhiệt độ ổn định là vấn đề 3 chiều phải sau khi căn cứ vào nhiệt độ biên tiến hành tính toán mới có thể xác định. Nhưng bình thường chúng ta vẫn lấy ra một số mặt cắt ngang làm mặt cắt xử lý.

III. Tính toán nhiệt độ đổ vào khối của bê tông

Nhiệt độ khi trộn và khi cho vào khối đổ là số liệu rất quan trọng. Nhiệt độ trộn quyết định bởi cấp phối của bê tông, nhiệt độ của nguyên vật liệu và tỷ nhiệt. Có thể dùng công thức hỗn hợp sau đây để tính toán:

$$T_b = \frac{\sum c WT}{\sum c W} \quad (7-4)$$

Trong công thức W biểu thị tỷ lệ trọng lượng các thành phần.

T là nhiệt độ các thành phần.

c là tỷ nhiệt, thường tỷ nhiệt của nước là 1, cốt liệu và xi măng tỷ nhiệt khoảng 0.2. Từ đó công thức có thể viết là:

$$T_b = \frac{0.2W_{\text{cát}} T_{\text{cát}} + 0.2W_{\text{đá}} T_{\text{đá}} + 0.2W_{\text{ximăng}} T_{\text{ximăng}} + W_{\text{nước}} T_{\text{nước}}}{0.2(W_{\text{cát}} + W_{\text{đá}} + W_{\text{ximăng}}) + W_{\text{nước}}} \quad (7-5)$$

Nếu trong cốt liệu không bao gồm nước, giả sử tỷ lệ hàm lượng nước của nó là p thì tỷ nhiệt của nó nên đổi thành 0.2+p, song trọng lượng của nước nên giảm đi hàm lượng nước cốt liệu $pW_{\text{đá}}$ v.v.

Nói chung nhiệt độ cốt liệu xấp xỉ nhiệt độ bình quân tháng, nhiệt độ nước có thể lấy nhiệt độ nước bình quân tháng, nhưng nhiệt độ của xi măng thì cao hơn nhiều, thường trên 30 ~ 40°C thậm chí đạt 50°C. Do trong bê tông tỷ lệ cốt liệu rất lớn, vì thế nếu không có biện pháp làm lạnh trước thì nhiệt độ bê tông trộn ra thường xấp xỉ nhiệt độ không khí bình quân tháng. Về mùa đông có thể cao hơn chút ít.

Khi bê tông trộn ra và vận chuyển đến thân đập, sau khi đổ ra nhiệt độ có thể thay đổi đôi chút. Nếu như lấy T_a là nhiệt độ không khí thì nhiệt độ sau khi đổ vào khối đổ T_p là:

$$T_p = T_b + (T_a - T_b) (p_1 + p_2 + \dots + p_n) \quad (7-6)$$

Trong công thức p_1, p_2, \dots là hệ số thay đổi nhiệt độ trong các bước thi công, dưới đây là những con số tham khảo.

- (1) Xếp vật liệu, dỡ vật liệu, trung chuyển mỗi một lần $p = 0.032$;
- (2) Trong quá trình vận chuyển $p = At$, t là thời gian vận chuyển tính bằng phút, trị số của A như trong biểu 7-2.
- (3) Trong quá trình trộn đổ bê tông $p = 0.003t$, t là thời gian trộn (phút), nếu lấy gần đúng thì $\Sigma p = 0.4 \sim 0.5$

Nếu vật liệu không làm lạnh trước thì T_a và T_b chênh nhau không lớn, nhiệt độ trộn và nhiệt độ đổ vào khối chênh lệch cũng không lớn. Trái lại, bê tông trải qua làm lạnh trước một cách kịch liệt. T_a và T_b chênh nhau rất lớn, do đó T_p và T_a cũng không giống nhau. Lúc đó phải nhanh chóng rút ngắn thời gian vận chuyển và thời gian đổ bê tông, tăng thêm biện pháp cách

nhật trong quá trình vận chuyển để giảm bớt nhiệt lượng trở ngược lại. Rất hiển nhiên, bê tông kính qua làm lạnh trước mãnh liệt, không nên dùng cách đổ bê tông lớp mỏng, nhưng sau khi đổ xong bề mặt phải che đậy đến khi nhiệt độ bên trong nâng đến nhiệt độ không khí mới cất vật che đậy đi để tản nhiệt.

Bê tông tiến hành làm lạnh trước, nhiệt độ trộn và nhập vào khối đổ vẫn dùng công thức trên để tính toán duy chỉ nhiệt độ các vật liệu phải dùng nhiệt độ sau khi đã làm lạnh trước. Nếu như khi trộn bỏ đá lạnh vào thay nước, nhiệt độ của bộ phận nước này ngoài việc dùng nước 0°C để tính toán ra nên trong tính toán phải xem xét đến nhiệt lượng hút vào khi tảng băng đá tan ra (80 Calo/kg).

IV. Nhiệt độ thay đổi sau khi bê tông đổ vào khối (không có làm lạnh thủ công)

Nhiệt độ khi bê tông nhập vào khối là T_p . Sau khi nhập vào khối đổ, do tác dụng thủy hoá nhiệt của xi măng, nhiệt độ sẽ dần dần tăng lên. Mặt khác khi nhiệt độ bên trong cao hơn nhiệt độ không khí thì sẽ thông qua bề mặt dần dần toả nhiệt, từ đó hình thành nhiệt độ thay đổi rất phức tạp. Để phân tích vấn đề này, chúng ta có thể phân biệt nghiên cứu mấy tính huống giản đơn, sau đó tổ hợp lại.

1. Nhiệt độ tăng khi bê tông cách nhiệt. Nếu như bê tông sau khi đã nhập và khối bốn bề đều cách nhiệt làm cho nhiệt lượng không phát tán được, do tác dụng của thủy hoá nhiệt, nhiệt độ bên trong bê tông phải liên tục đi lên. Căn cứ vào công thức thủy hoá nhiệt tán phát (Công thức 7-1), quá trình nhiệt tăng lên do cách nhiệt hiển nhiên là:

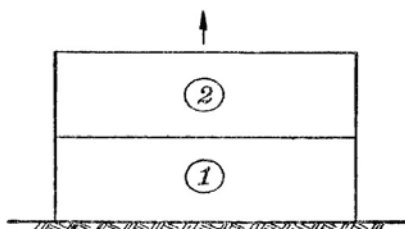
$$T_r = \frac{WQ_0}{cp} (1 - e^{-mt}) \quad (7-7)$$

Trong công thức W là hàm lượng xi măng trong 1m³ bê tông, còn các phụ liệu khác giống trước, có thể thấy dưới trạng thái cách nhiệt, nhiệt độ tăng lên là:

$$T_{r\max} = \frac{WQ_0}{cp} \quad (7-8)$$

2. Dùng phương pháp sai phân tính toán sự thay đổi nhiệt độ bê tông. Hình 7-11 biểu thị hiện trạng trên mặt nền đá theo thứ tự đổ khối bê tông, giả thiết nhiệt độ ban đầu của nền đá đã biết. Lần thứ nhất đổ khối 1, nhiệt độ khi nhập vào khối là T_p , nhiệt độ không khí là T_a , nhiệt độ tăng lên do cách nhiệt bê tông là: $\frac{WQ_0}{cp} (1 - e^{-mt})$. Sau khi nghỉ một thời gian, rồi lại đổ

khối 2, lúc đó nhiệt độ nhập khối, nhiệt độ không khí và nhiệt độ tăng lên do cách nhiệt đều có thể khác với khối 1, cứ như thế tiếp tục đổ lên cao. Chúng ta cần tính toán quá trình thay đổi nhiệt độ ở các điểm trong khối bê tông.



Rất hiển nhiên đây là vấn đề rất phức tạp, về lý luận chúng ta phải tiến hành giản hoá hợp lý để dễ phân tích. Cần chú ý đến vấn đề khuôn gỗ là vật cách nhiệt tương đối

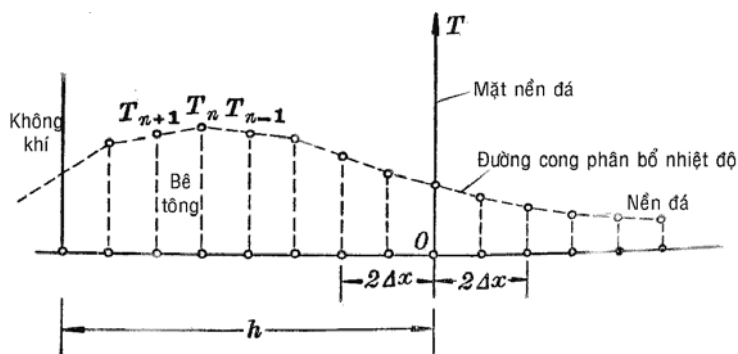
tốt (hơn nữa thông thường so sánh tỷ lệ chiều dày mới đổ bê tông và kích thước khối đổ là rất nhỏ) vì thế chúng ta sẽ bỏ bớt truyền nhiệt lượng phía bên, mà giả định chỉ

Hình 7-11

có truyền theo hướng trên và dưới. Như vậy làm cho vấn đề giản hoá thành vấn đề truyền nhiệt hướng.

Mặc dù đã làm giản hoá như vậy, do tham biến số rất nhiều, muốn giải đáp một cách toàn diện về lý luận vẫn còn rất khó khăn.

Trong lời giải bằng số của của bài toán một chiều hầu như có thể đưa ảnh hưởng của những yếu tố khả biến bao quát vào. Các bước giải đáp trị số những vấn đề này như sau:



(1) Vẽ 1 đường

gốc biểu thị cao trình (Hình 7-12)

Hình 7-12: Tính toán sai phân thay đổi nhiệt độ

Trong hình lấy điểm 0 đại diện cho mặt đất. Điểm 0 về phía bên phải tính từ nền móng trở xuống bên trái là các khối đổ.

Dựa theo khoảng cách Δx phân đường gốc thành nhiều khối nhỏ, về sau sẽ tính toán nhiệt độ ở nơi điểm phân gốc.

Ngoài ra cũng dựa theo khoảng cách Δx để chia thời gian thành nhiều đoạn nhỏ, Δx và Δt to hay nhỏ phải chọn rất cẩn thận, cần phải làm cho: 1) Δx và Δt có thể thoả mãn yêu cầu về độ chính xác, tức là không to quá; 2) Trị số tham biến số $\frac{a\Delta t}{\Delta x^2}$ phải nhỏ hơn 1/2, tốt nhất thành phân số hợp

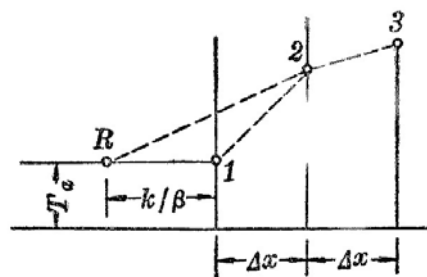
lý, thường dùng là $\frac{a\Delta t}{\Delta x^2} = \frac{1}{2}$ hoặc $\frac{1}{4}$; 3) Trị số của Δx phải phân đều chiều dày khối đổ.

(2) Giả định có 3 điểm liền kề nhau và đánh số thứ tự theo n-1, n, n+1 trong thời đoạn K xác định nhiệt độ trên 3 điểm là $T_{n-1,K}$, $T_{n,K}$ và $T_{n+1,K}$. Sau khi trải qua một thời đoạn Δt, nhiệt độ điểm ở giữa đổi thành $T_{n,K+1}$, trị số của nó là:

$$T_{n,K+1} = \frac{T_{n-1,K} + T_{n+1,K}}{2} \times 2a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} - T_{n,K} \left(2a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} - 1 \right) + \Delta T_{n,K} \quad (7-9)$$

Trong công thức $\Delta T_{n,K}$ là trong thời đoạn này điểm n do nguồn nhiệt bên trong sinh ra tăng nhiệt.

Sau khi biết nhiệt độ T trên các điểm của thời đoạn trước, thường có thể từ công thức trên



mà tính ra nhiệt độ các điểm ở thời đoạn sau. Cứ như thế tiến hành cho đến khi đạt được thời gian chỉ định mới thôi.

(3) Nhiệt độ lúc mới bắt đầu, tất nhiên là chỉ nhiệt độ khi đổ bê tông khối thứ nhất. Lúc này khi các điểm của $x < 0$ (trong nền đá) có thể sử dụng nhiệt độ lớp đất ban đầu. Khi $h > x > 0$ tức các điểm trong phạm vi khối đổ có thể dùng nhiệt độ khi đổ vào khối T_p . Trong

Hình 7-13

phạm vi $x > h$ nhiệt độ các điểm đều là nhiệt độ không khí.

Bây giờ muốn trao đổi về điều kiện biên, trước tiên là biên tiếp xúc với không khí. Nhìn hình vẽ 7-13 một điểm tựa vào biên được đánh số là 1, về nhiệt độ ở điểm số 1, nếu cho là trị số gần đúng lần thứ nhất, nhiệt độ ở điểm này bằng nhiệt độ không khí (cũng bằng điều kiện quy định trên biên phù hợp với loại điều kiện thứ nhất về lý thuyết truyền nhiệt).

Cách làm càng hợp lý là, cách biên nơi $\frac{k}{\beta}$ lấy 1 điểm R, cho nhiệt độ trên điểm R thường bằng nhiệt độ không khí T_a , β là hệ số bức xạ của bê tông đối với không khí hay gọi là hệ số trao đổi nhiệt. $\beta \approx 20 \text{ Calo/m-giờ-}^\circ\text{C}$ do đó $\frac{k}{\beta} \approx 0.7 \sim 0.12\text{m}$.

Sự tiếp xúc giữa bê tông và nền đá là điều kiện biên loại 4. Thông thường sự chênh lệch hằng số nhiệt học của nền móng và bê tông không lớn, chúng tôi thường xem như cùng một loại vật liệu để xử lý, để giản hoá tính toán trừ trong nền đá không có nguồn nhiệt bên trong ra, những nơi khác không có thay đổi.

(4) Về vấn đề nguồn nhiệt bên trong sinh ra tăng nhiệt Δt , phải xem tình hình cụ thể để tính toán. Nếu như quá trình tăng nhiệt cách nhiệt của bê tông là $T_{r \max} (1 - e^{-mt})$ thì tăng nhiệt cách nhiệt giữa $t = t_1$ đến $t = t_2$ hiển nhiên là $T_{r \max} (e^{-mt_2} - e^{-mt_1})$; tăng nhiệt cách nhiệt trên điểm tiếp xúc giữa bê tông và nền đá có thể lấy là $\frac{\Delta T}{2}$.

(5) Cứ như vậy có thể tiếp tục tiến hành đến khối đổ bê tông thứ hai. Lúc này, bề mặt của khối thứ nhất đổi thành loại điều kiện biên thứ 4, bề mặt khối thứ 2 lại là điều kiện biên thứ nhất. Các dạng khác tính toán không có phân biệt.

Thông thường chúng ta lấy $a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} = \frac{1}{2}$ hoặc $\frac{1}{4}$ thì công thức 7-9 sửa thành:

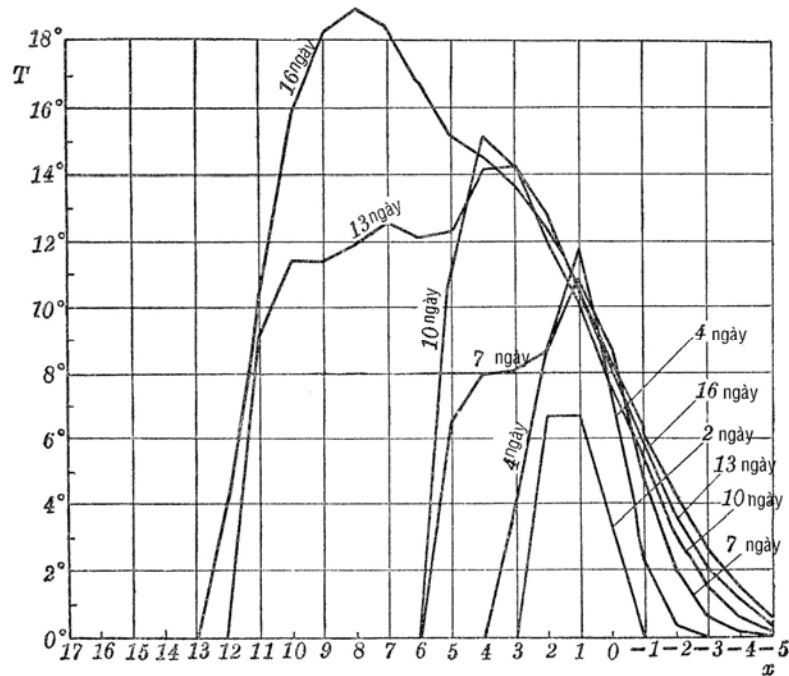
$$T_{n,K+1} = \frac{T_{n-1,K} + T_{n+1,K}}{2} + \Delta T_{n,K} \left(a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} = \frac{1}{2} \right) \quad (7-10)$$

hoặc:

$$T_{n,K+1} = \frac{1}{4} \left(T_{n-1,K} + 2T_{n,K} + T_{n+1,K} \right) + \Delta T_{n,K} \left(a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} = \frac{1}{4} \right) \quad (7-11)$$

Hai công thức này đều rất giản đơn, có thể dùng phương pháp đồ giải để tiến hành, nhất là khi lấy $a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} = \frac{1}{2}$ càng gọn hơn song độ chính xác tất nhiên phải kém hơn khi lấy $a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} = \frac{1}{4}$. Khi lấy $a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} = \frac{1}{2}$, trị số của Δt và Δx thu được nhỏ hơn một chút.

Thành quả tính toán có thể vẽ thành đường cong (đồ thị) thể hiện một cách rõ ràng sự phân bố nhiệt độ dọc theo cao trình trong thời gian khác nhau (Hình 7-14) hoặc lập thành biểu đồ sử dụng (Biểu 7-3).



Hình 7-14: Đường biểu đồ phân bố nhiệt độ trên khối đổ

Biểu 7-3: Biểu kết quả tính toán bình phân nhiệt độ khối đổ ở móng đập

Lớp \ Ngày	1 (1.5m)	2 (1.5m)	3 (3.0m)	4(3.0m)	5 (3.0m)
1	0				
2	5.03				
3	7.44				
4	8.36				
5	8.51				
6	8.87	0.67			

7	9.50	6.28			
8	10.17	9.21			
9	10.74	10.53			
10	11.11	10.95			
11	11.39	11.58	0.37		
12	11.53	12.42	6.55		
13	11.54	13.25	9.67		
14	11.49	13.96	12.85		
15	11.40	14.53	14.37		
16	11.27	14.98	15.42	0.36	
17	11.17	15.31	16.40	6.56	
18	11.08	15.56	17.26	10.43	
19	11.03	15.77	17.83	12.86	
20	10.93	15.85	18.23	14.33	
21	10.95	15.86	18.52	15.50	0.36
22	10.95	15.77	18.80	16.50	6.56
23	10.95	15.48	18.93	17.35	10.60

Chú thích:

(1) Tầng 1 và 2 chiều dày 1.5m trên đó 3m một tầng, thời gian cách nhau 5 ngày.

(2) Cách nhiệt thuỷ hoá nhiệt tăng lên $T_r = 22.7^{\circ}\text{C} (1 - e^{-0.35t}) \rightarrow$
 $a = 0.084 \text{ m}^2/\text{ngày}.$

(3) Nhiệt độ không khí 7.9°C chưa đưa vào.

(4) Dùng phương pháp sai phân hữu hạn để tính toán,

$$\Delta t = 1 \text{ ngày}, \Delta x = 0.5\text{m}, a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} = 0.336.$$