

Thời gian ổn định áp lực thấm sau vỏ chống bê tông liền khối của đường hầm có áp lực khi tháo khô nước

Nguyễn Xuân Mãn¹, Nguyễn Duyên Phong¹

¹ Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội

*Email: mannxdoky@gmail.com

Tóm Tắt: Hầm thủy công dẫn nước có áp chịu tác động của áp lực nước từ phía bên trong và tải trọng từ phía bên ngoài. Khi không có sự giảm áp trong hầm thì vỏ chống hoạt động bình thường. Khi áp lực nước trong hầm giảm đột ngột (do phải tháo khô để sửa chữa, do chế độ làm việc của turbin,...) sẽ gây chênh áp từ bên ngoài và bên trong vỏ chống, làm xuất hiện ứng suất kéo hướng kính trong vỏ hầm. Ứng suất này có thể làm cho vỏ hầm tách ra khỏi khối đá xung quanh hầm, làm mất ổn định và giảm tuổi thọ của hầm. Báo cáo trình bày cách xác định thời gian ổn định của quá trình thấm nước sau vỏ hầm bê tông có áp, tức là thời gian ổn định áp lực tác dụng lên vỏ hầm. Khi biết thời gian ổn định sẽ cho phép thiết lập quy trình điều chỉnh việc giảm áp bên trong hầm để không xảy ra mất ổn định của vỏ hầm, đảm bảo hầm làm việc lâu dài. Kết nghiên cứu cho thấy:

- Khi giảm áp lực nước bên trong vỏ hầm đột ngột dẫn đến hiện tượng dịch chuyển vỏ chống vào phía trong hầm. Do có sự chênh áp phía ngoài và phía trong của vỏ chống làm xuất hiện ứng suất kéo hướng tâm trong vỏ và trong khối đá xung quanh vỏ chống. Hiện tượng này có thể làm vỏ chống tách khỏi khối đá. Đây là điều nguy hiểm, làm mất ổn định của đường hầm và làm cho tuổi thọ của vỏ chống đường hầm giảm đi.

- Để khắc phục hiện tượng trên cần điều chỉnh việc giảm áp lực nước trong hầm một cách từ từ; thời gian để tiến hành giảm áp cần phù hợp với thời gian thấm ổn định $T_{\text{đt}}$, xác định theo công thức: $T_{\text{đt}} = T_0 [\varphi(u_1) + u_1^2 \varphi_1(v_1)]$, (các ký hiệu trong công thức này được trình bày trong báo cáo toàn văn). Thời gian thấm ổn định cũng chính là thời gian ổn định áp lực tác dụng lên vỏ chống bê tông của hầm có áp khi tháo khô nước.

Từ khóa: vỏ chống, hầm có áp, thời gian thấm ổn định thấm, áp lực, tháo khô

Steady time of pressure behind concrete cover of pressure tunnel when removing all water

Abstract: Hydraulic tunnel with pressure affected the water pressure from inside and outside. These linings of the tunnel are usually made of monolithic concrete. When there is no reduction of pressure in the tunnel linings and surrounding gravelly soil is reinforced normal operation. In fact, there are many cases water pressure in the tunnel drops suddenly because of letting the water out for repair, the working regulations of the turbine. When there is difference of pressure between outside and inside will bring up stress which strains the radial in the cover and the inside of the reinforced rock area. This stress might make tunnel cover separated from reinforced rock. This is very dangerous. It will make lost of stability and reduce the life of the tunnel. The paper presents how to determine steady time of absorbent water process back of concrete cover with pressure and that is also the steady time of pressure on the tunnel cover. When we know that time it will signal for us set up the adjusted

process of pressure reduction in the tunnel to prevent the instability of cover, ensure the tunnel work for the long time.

1. Đặt vấn đề

Trong hầm thủy công chịu áp của nước từ phía trong người ta thường làm vỏ bằng bê tông liền khối và đá xung quanh vỏ chống được gia cường bằng phun vữa xi măng [3]. Khi áp lực nước trong hầm giảm do phải tháo nước để sửa chữa, hay do nhiều nguyên nhân khác thì áp lực của nước ngầm phía ngoài vỏ lớn hơn áp lực nước bên trong hầm, ở trạng thái tháo khô áp lực nước trong hầm bằng không. Lúc này xảy ra các hiện tượng sau:

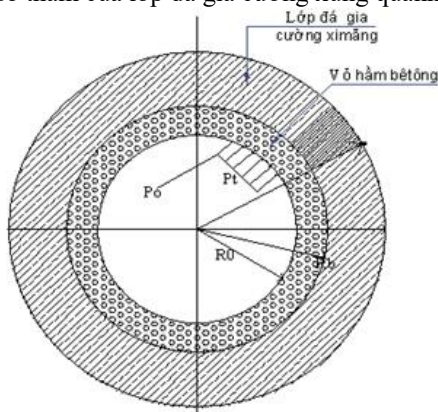
- Bề mặt vỏ chống dịch chuyển vào phía trong hầm.
- Các vết nứt trong khối đá xung quanh và trong vỏ khép lại.
- Vỏ chống và vùng đất đá gia cường bằng xi măng chịu tải do áp lực nước ngầm gây nên.

Nếu quá trình giảm áp trong hầm xảy ra nhanh, đột ngột sẽ làm cho quá trình biến đổi nhanh trạng thái ứng suất. Giá trị ứng suất hướng kính và ứng suất vòng trong vỏ bê tông khi này sẽ thay đổi đột ngột và nếu ứng suất kéo hướng kính đạt giá trị khá lớn sẽ làm cho vỏ bị tách khỏi vùng đá gia cường. Đó là hiện tượng nguy hiểm không mong muốn. Để tránh hiện tượng này ta cần phải giảm áp lực nước trong hầm một cách từ từ để quá trình thay đổi trạng thái ứng suất xảy ra ổn định, không có đột biến.

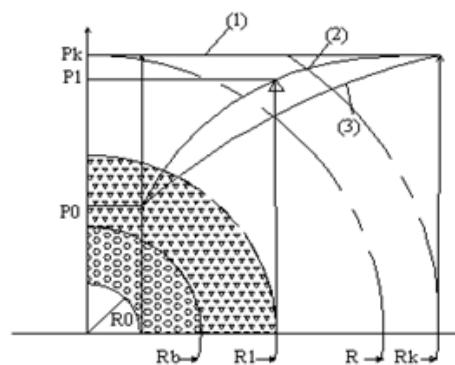
2. Thời gian ổn định áp lực nước sau vỏ bê tông của hầm chịu lực

Để điều chỉnh áp lực nước trong hầm người ta xác định thời gian ổn định áp lực nước sau vỏ bê tông của hầm chịu lực khi giảm áp lực nước phía trong hầm. Để tính toán ta chấp nhận một số giả thuyết, điều kiện sau đây:

- i) - Trước và sau khi giảm áp lực nước trong hầm thì áp lực nước ngầm sau vỏ chống được coi như không đổi; có giá trị bằng áp lực nước trong hầm trước khi giảm áp.
- ii) - Hệ số thấm của vỏ bê tông trong giai đoạn giảm áp bên trong hầm có giá trị bằng hệ số thấm của lớp đá gia cường xung quanh vỏ chống.



Hình 1. Sơ đồ đường hầm với vỏ bê tông và vòng đá gia cường xi măng [3]



Hình 2. Sơ đồ đường hầm với các đường cong thấm qua lớp đá gia cường và qua vỏ bê tông.

- 1- Đường hạ áp lực nước khi bắt đầu hạ áp trong hầm
- 2- Đường áp lực khi bán kính hạ áp là R
- 3- Đường áp lực khi thấm đã ổn định

Các ký hiệu sử dụng trong hình 1, 2 như sau: R_0 – bán kính trong của vỏ chống; R_b – bán kính ngoài của vỏ chống; R_1 – bán kính ngoài vùng đá gia cường; R_k – bán kính vùng ảnh hưởng thấm (bán kính vùng cung cấp nước); R – bán kính phễu hạ áp xung quanh hầm. Trong quá trình thấm R phát triển từ R_0 đến R_k ; P_k – áp lực nước trong hầm trước khi giảm áp và bằng áp lực nước ngăn tính ở mức trục ngang của hầm; P_0 – áp lực bên trong hầm khi hạ áp; khi tháo khô thì $P_0 = 0$; P_b, P_{bc} – áp lực nước sau vỏ hầm trước lúc và sau khi quá trình thấm ổn định; P_1 – áp lực nước tại biên giới ngoài vùng đá gia cường.

3. Thời gian cần thiết để ổn định quá trình thấm

Khi giảm áp lực nước từ P_k đến P_0 sẽ xảy ra quá trình thấm nước trong vùng đá xung quanh hầm và vỏ hầm; hình thành phễu hạ áp có bán kính R thay đổi và đạt giá trị R_k khi quá trình thấm dừng ($R=R_k$). Xét một đơn vị chiều dài của hầm (ví dụ dài 1m), khi đó khối lượng nước G trong vùng thấm có bán kính R sẽ là:

$$G = m\gamma_k \pi(R_k^2 - R_0^2) + \int_{R_0}^{R_k} m\gamma_I 2\pi r dr + \int_{R_1}^R m\gamma_{II} 2\pi r dr \quad (1)$$

Trong(1): m - độ rỗng của đá; γ_k - Trọng lượng riêng của nước tương ứng khi áp lực là P_k ; γ_I, γ_{II} - Trọng lượng riêng của nước khi áp lực là P tương ứng tại vùng $R_1 \geq r \geq R_0$ và vùng $R \geq r \geq R_1$; r – bán kính điểm xem xét.

Khi xem xét sự phân bố áp lực nước trong vùng thấm $r \leq R$ là ổn định, ta có [2]:

$$\gamma_I = \gamma_0 + \left(\frac{\gamma_1 - \gamma_0}{\ln u_1} \right) \ln(r / R_0) \rightarrow \text{Khi: } R_1 \geq r \geq R_0, \quad (2)$$

$$\gamma_{II} = \gamma_1 + \left(\frac{\gamma_k - \gamma_1}{\ln v} \right) \ln(r / R_1) \rightarrow \text{Khi:} \quad (3)$$

Rút ra:
$$\gamma_1 = \gamma_0 + \frac{(\gamma_k - \gamma_0) \ln \mu_1}{(\ln \mu_1 + \alpha \ln v)} \quad (4)$$

$$\gamma_k = \gamma_0 + \gamma_0(P_k - P_0) / K \quad (5)$$

Trong (2), (3), (4) và (4): γ_0, γ_1 – Trọng lượng riêng của nước ứng với áp lực P_0 và P_1 ; $\alpha = C_1/C_2$; C_1, C_2 – lần lượt là độ thấm nước của đá vùng không gia cường và vùng có gia cường bằng vữa xi măng; $u_1=R_1/R_0$; $v_1=R_k/R_1$; $v = u/u_1=R/R_1$.

Thay giá trị $\gamma_I, \gamma_{II}, \gamma_1$ và γ_k từ (2), (3), (4) vào (1) ta được:

$$G = \pi m R_k^2 - \pi m R_0^2 - \pi m \gamma_0 (P_k - P_0) R^2 / K + \frac{\pi m \gamma_0 (P_k - P_0)}{K (\ln u_1 + \alpha \ln v)} x \left[\alpha R^2 \ln v + R^2 (\ln u_1 - 0,5\alpha) - 0,5(R_1^2 - \alpha R_1^2 - R_0^2) \right] \quad (6)$$

Trong (6): K - Modun nén thể tích quy đổi của nước, theo [2] thì: $K=(0, 4 \div 1,0)$ Gpa;

Đạo hàm (6) theo biến t với chú ý rằng $R = R(t)$, t - thời gian thấm, sẽ cho ta:

$$\frac{dG}{dt} = \frac{\pi n \gamma_0 (P_k - P_0)}{K \Phi^2} \left\{ \begin{array}{l} 2R\Phi^2 - \left[\alpha R(2 \ln v + 1) + 2R(\ln u_1 - \frac{\alpha}{2}) \right] \Phi - \\ \left[\alpha R^2 \ln v + R^2(\ln u_1 - \frac{1}{2} \alpha) - \frac{1}{2}(R_1^2 - \alpha R_1^2 - R_0^2) \right] \frac{\alpha}{R} \end{array} \right\} \frac{dR}{dt} = \frac{2\pi \gamma_0 C_1 (P_k - P_0)}{\mu \Phi} \quad (7)$$

Trong (7): $\Phi = \ln u_1 + \alpha \ln v$; μ = Độ nhớt động của nước.

Giải (7) theo dt và sau đó lấy tích phân hai vế với biến R thay đổi từ R_1 đến R cho ta:

$$t_{(R_1, R)} = T_0 u_1^2 \varphi_1(v) \quad (8)$$

Trong (8):

$$\varphi_1(v) = (v^2 - 1)(2 \ln u_1 - \alpha) + 2\alpha v^2 \ln v - 2 \int_1^v dv \left\{ \begin{array}{l} \left[\alpha v^2(2 \ln v + 1) + 2v^2(\ln u_1 - 0,5\alpha) \right] \Phi \\ - \alpha \left[\alpha v^2 \ln v + v^2(\ln u_1 - 0,5\alpha) \right] \\ - 0,5(1 - \alpha - \frac{1}{u_1}) \end{array} \right\} / (v\Phi) \quad (9)$$

$$T_0 = \frac{m\mu R_0^2}{4C_1} \quad (10)$$

Thời gian để bán kính phếu giảm áp phát triển từ R_0 đến R trong vùng đá gia cường với $\alpha = C_1/C_2 = 1$ sẽ là:

$$t_{(R_0, R)} = T_0 \varphi(u) \quad (11)$$

$$\varphi(u) = u^2 - 1 - \int_1^u \frac{u^2 - 1}{u \ln u} du \quad (12)$$

Thời gian để bán kính phếu giảm áp từ R_0 đến R_1 sẽ là: $t_1 = T_0 \varphi(u_1)$, (13)

Trong (13): $\varphi(u_1)$ Tính như $\varphi(u)$ khi thay $u = u_1 = R_1/R_0$

Lấy (8) cộng với (13) sẽ cho ta thời gian tổng cộng $T_{(R_0, R)}$ để phếu hạ áp phát triển bán kính từ $R = R_0$ đến $R = R$ (với $R \geq R_1$) là: $T_{(R_0, R)} = T_0 [\varphi(u_1) + u_1^2 \varphi_1(v)]$, (14)

Thời gian cần thiết để ổn định $T_{\text{ổđ}}$ quá trình thấm xác định từ (14) khi R đạt giá trị R_k , ứng với $v = v_1$ sẽ là:

$$T_{\text{ổđ}} = T_0 [\varphi(u_1) + u_1^2 \varphi_1(v_1)] \quad (15)$$

Để tính $T_{\text{ổđ}}$, người ta lập bảng tính sẵn các hàm $\varphi(u_1)$ và $\varphi_1(v_1)$ [1] (Xem bảng 1).

Bảng 1: Giá trị các hàm $\varphi(u)$ và $\varphi_1(v)$

u, v	$\varphi(u)$	Giá trị $\varphi_1(v)$ khi $u_1=2,5$			
		$\alpha = 1,0$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,5	1,24	0,84	0,09	0,04	0,01
2,0	0,93	2,06	0,24	0,12	0,02
4,0	8,04	11,18	1,33	0,66	0,11
6,0	22,04	27,23	3,20	1,61	0,30
10,0	70,81	80,58	9,26	4,69	0,91
20,0	316,02	339,55	38,30	19,64	4,21
30,0	738,91	780,91	56,73	44,53	9,67
40,0	1347,58	1411,64	154,42	79,20	17,13
50,0	2138,41	2225,27	244,71	123,80	26,55

Ghi chú: Khi u, v khác giá trị trong bảng 1 thì các hàm $\varphi(u)$, $\varphi_1(v)$ lấy theo phương pháp nội suy.

4. Tính toán minh họa số

Các số liệu được cho trước như sau: $R_0 = 4,75m$; $R_1 = 11,25m$; $R_k = 320m$; $\alpha = 0,05m$; $w = 0,01m$; $K=10^9Pa$; $\mu = 0,001Pa.s$; $C_1 = 1,18.10^{-14}\mu^2$; $C_2=23,6.10^{-14}\mu^2$; hệ số thấm của đá vùng gia cường tương ứng với C_1 là 0,01m/ngày-đêm.

Lời giải:

a) Từ (8.2) ta có $T_0 = \frac{m\mu.R_0^2}{4C_1K} = \frac{0,01.0,001.4,75^2}{4.1,18.10^{-14}.10^9} = 4,75s$

b) Xác định các tham số sau:

$u_1 = \frac{R_1}{R_0} = \frac{11,25}{4,75} = 2,37.$

$v_1 = \frac{R_k}{R_1} = \frac{320}{11,25} = 28,4$

c) Từ bảng 1, bằng nội suy cho ta:

$$\varphi(u_1) = \varphi(2,37) = \varphi(2,0) + \frac{[\varphi(2,5) - \varphi(2,0)].0,37}{0,5}$$

$$= 0,93 + \frac{3,7(2,06 - 0,93)}{5} = 1,77$$

Tương tự ta có: Với $\alpha = 0,05$ thì:

$$\varphi_1(28,4) = \varphi_1(25) + \frac{[\varphi_1(30) - \varphi_1(25)].3,4}{5,0} = 40,17$$

d) Theo (13) ta có: $T_{\text{đt}} = T_0 [\varphi(u_1) + u_1^2 \cdot \varphi_1(v_1)] = 4,75 [1,77 + 2,37^2 \cdot 40,17] = 18$ phút

5. Kết luận

Khi giảm đột ngột áp lực nước trong hầm dẫn đến hiện tượng dịch chuyển vỏ chống vào không gian bên trong hầm.

Do có sự chênh lệch áp phía ngoài và phía trong của vỏ chống làm xuất hiện ứng suất kéo hướng tâm trong vỏ và trong khối đá gia cường xung quanh vỏ chống. Hiện tượng này có thể làm vỏ chống tách khỏi khối đá gia cường. Đây là hiện tượng rất nguy hiểm, làm mất ổn định vỏ chống của đường hầm, dẫn đến tuổi thọ của vỏ chống đường hầm giảm đi.

Để khắc phục hiện tượng trên ta cần điều chỉnh việc giảm áp trong hầm một cách từ từ; thời gian để tiến hành giảm áp cần phù hợp thời gian thấm ổn định $T_{\text{đt}}$ như đưa ra trong công thức (13). Thời gian thấm ổn định cũng chính là thời gian ổn định áp lực tác dụng lên vỏ chống bê tông của hầm có áp khi tháo khô nước.

Thí dụ tính toán trong mục 4 chỉ ra rằng thời gian thấm ổn định (thời gian ổn định áp lực) diễn ra từ từ với thời gian là 8 phút. Do đó việc giảm áp trong hầm cũng cần phải tiến hành từ từ để không xảy ra thay đổi đột ngột, dẫn đến nguy cơ mất ổn định (bị tách ra) của vỏ chống với môi trường đá gia cường xung quanh.

Tài liệu tham khảo

- [1] Pohnimatkin P. I. “Tính toán vỏ hầm bê tông có kể đến quá trình thấm ngược từ địa tầng vào vỏ”. Tạp chí “Xây dựng thủy công”, số 3, M., (1972).
- [2] Trarnui I.A. Động lực học nước và khí dưới ngầm. Nhà xuất bản “Xây dựng”; M., (1963).
- [3] Nguyễn Xuân Mãn. Bền vững của vỏ bê tông liên khối trong hầm thủy công. Luận văn Tiến Sĩ. ĐH. Tổng hợp Mỏ Matxcova, M., (1991).