

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 9154:2012**

Xuất bản lần 1

**CÔNG TRÌNH THỦY LỢI –  
QUY TRÌNH TÍNH TOÁN ĐƯỜNG HẠM THỦY LỢI**

*Hydraulic structures – Calculation Process of Hydraulic Tunnel*

**HÀ NỘI - 2012**

## Mục lục

Lời nói đầu.....	4
1 Phạm vi áp dụng.....	5
2 Tài liệu viện dẫn.....	5
3 Thuật ngữ và định nghĩa.....	6
4 Phân loại.....	7
5 Quy định chung.....	7
5.1.....	7
5.2.....	7
5.3.....	7
5.4.....	8
5.5 Bố trí cửa vào, cửa ra.....	11
5.6 Trạng thái áp lực, hình thức và kích thước mặt cắt ngang hầm.....	13
5.7 Vật liệu dùng cho kết cấu đường hầm.....	17
5.8 Đường hầm không có lớp áo gia cố.....	20
5.9 Đường hầm có lớp áo gia cố.....	21
6 Tính toán thủy lực hầm.....	23
7 Yêu cầu kỹ thuật khi thiết kế đường hầm thủy lợi.....	24
7.1 Tài liệu cơ bản.....	24
7.2 Nguyên tắc thiết kế.....	25
7.3 Tải trọng, lực tác dụng và tổ hợp của chúng.....	25
7.4 Khung chống đường hầm.....	30
7.5 Các quy định chủ yếu về tính toán toán áo đường hầm.....	33
7.6 Những yêu cầu chung về kết cấu.....	38
8 Thiết kế nút bịt hầm.....	39
9 Phun vữa, chống thấm và thoát nước hầm.....	40
9.1 Phun vữa.....	40
9.2 Chống thấm và thoát nước.....	41
10 Quan trắc an toàn hầm.....	42
11 Vận hành và duy tu hầm.....	43
Phụ lục A.....	44
Tính toán kết cấu vỏ áo hầm theo phương pháp lực học đàn hồi.....	44
A.1 Tính toán áo có hình dạng bất kỳ.....	44
A.2 Tính toán áo có dạng hình tròn.....	45
A.2.1 Tính toán theo độ bền của áo bê tông cốt thép của vỏ vữa phun cốt thép và của áo bê tông cốt thép có vỏ thép ở trong chịu tác dụng của áp lực nước bên trong.....	45
A.2.2 Tính toán theo độ bền và ổn định của áo kiểu liên hợp với vỏ thép và ống bê tông ở ngoài.....	46
A.2.3 Tính toán áo hầm bê tông và bê tông cốt thép cũng như vỏ vữa phun có cốt thép theo độ bền chống nứt dưới tác dụng của áp lực nước bên trong.....	50
A.2.4 Tính toán trị số mở rộng khe nứt trong các khe hầm dưới tác dụng của áp lực nước bên trong.....	51
A.2.5 Tính toán trị số lưu lượng nước thấm từ đường hầm có áp.....	52
Thư mục tài liệu tham khảo.....	55

## Lời nói đầu

**TCVN 9154:2012 được chuyển đổi từ 14TCN 32-85(HDTL-C-3-77)** của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn theo quy định tài khoản 1 điều 7 Nghị định số 127/2007/NĐ-CP ngày 1/8/2007 của Chính phủ quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật.

**TCVN 9154:2012** do Viện khoa học thủy lợi Việt Nam biên soạn, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

## Công trình thủy lợi – Quy trình tính toán đường hầm thủy lợi

*Hydraulic structures – Calculation Process of Hydraulic Tunnel*

### 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này được dùng trong thiết kế mới và sửa chữa đường hầm các công trình thủy lợi, thủy điện.

Khi thiết kế các công trình ngầm khác có chức năng tương tự, cho phép sử dụng các yêu cầu của Tiêu chuẩn này nếu có luận chứng thích đáng.

Khi thiết kế đường hầm thủy lợi ở trong điều kiện đặc biệt (trong vùng có động đất) cần phải tuân thủ các yêu cầu bổ sung khác được qui định trong những tài liệu qui phạm tương ứng đặt ra cho các đường hầm này.

Khi thiết kế đường hầm dạng giếng, tháp điều áp và đoạn có các gương hầm giao nhau, hầm rẽ nhánh, đoạn hầm có độ dốc nghiêng lớn cần có những tính toán theo bài toán không gian phù hợp với sự làm việc của đá tại các vùng này.

### 2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn đã được sửa đổi, bổ sung hoặc thay thế thì áp dụng phiên bản mới nhất. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố và chưa chuyển đổi thì áp dụng phiên bản được nêu:

TCVN 2737:1995 *Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn thiết kế.*

TCVN 4116:1985 *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép thủy công – Tiêu chuẩn thiết kế.*

TCVN 4118:2012 *Công trình thủy lợi – Hệ thống kênh tưới – Yêu cầu thiết kế.*

TCVN 8636:2011 *Công trình thủy lợi - Đường ống áp lực bằng thép - Yêu cầu kỹ thuật trong thiết kế, chế tạo và lắp đặt.*

TCVN 9147:2012 *Công trình thủy lợi – Quy trình tính toán thủy lực đập tràn.*

TCVN 9151:2012 *Công trình thủy lợi – Quy trình tính toán thủy lực cống dưới sâu.*

### 3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ, định nghĩa sau đây:

#### 3.1

##### **Đường hầm thủy lợi**

Đường hầm dẫn nước, phục vụ cho các dự án thủy lợi, thủy điện được đào xuyên qua đá, đất không bao gồm ống chôn và ống đắp đất đá.

#### 3.2

##### **Đường hầm có áp**

Đường hầm làm việc luôn có áp lực dư bên trong.

#### 3.3

##### **Đường hầm không áp**

Đường hầm làm việc không có áp lực dư bên trong, dòng chảy trong hầm có mặt thoáng, áp suất tại mặt thoáng bằng áp suất không khí.

#### 3.4

##### **Áo đường hầm**

Phần vỏ bằng bê tông hoặc bê tông cốt thép thiết dựng bên trong đường hầm sau khi đào.

#### 3.5

##### **Gia cố tạm đường hầm**

Gia cố trong quá trình thi công đào đường hầm nhằm đảm bảo an toàn từ khi đào hầm đến khi dựng vỏ chống cố định.

#### 3.6

##### **Gia cố vĩnh cữu hầm**

Gia cố cuối cùng sau khi hoàn thiện hầm dẫn nước. Kết cấu này giữ ổn định đường hầm suốt thời gian tồn tại.

#### 3.7

##### **Đường kính đào đường hầm sử dụng**

Đường kính tính đến mép biên đào của đường hầm.

#### 3.8

##### **Đường kính hầm sử dụng**

Đường kính trong của đường hầm khi đã hoàn thiện vỏ hầm.

## 4 Phân loại

**4.1** Phân loại theo chức năng: Các đường hầm thủy lợi có thể thuộc loại công trình chủ yếu, thứ yếu và tạm thời.

**4.1.1** Loại công trình chủ yếu là những đường hầm được dùng để tháo nước thường xuyên trong quá trình khai thác các nhà máy thủy điện, hệ thống thủy lợi và hệ thống cấp nước.

**4.1.2** Loại công trình thứ yếu là những đường hầm được dùng để tháo định kỳ (để tháo cạn và xói rửa hồ chứa, ống dẫn nước và đường hầm xả nước).

**4.1.3** Loại công trình tạm thời: là những đường hầm dùng để xả lưu lượng trong thời gian thi công hoặc sửa chữa các công trình thủy lợi.

**CHÚ THÍCH 1:** Trong những trường hợp đặc biệt khi thiết kế những đầu mối công trình thủy lợi lớn có thời gian thi công dài thì các đường hầm thi công cho phép liệt vào loại công trình thứ yếu. Khi đó cần được cấp có thẩm quyền đồng ý.

**CHÚ THÍCH 2:** Khi thiết kế các đường hầm chủ yếu hoặc thứ yếu cần phải xét đến khả năng sử dụng chúng để xả các lưu lượng thi công.

**4.2** Phân loại theo chế độ thủy lực.

**4.2.1** Đường hầm có áp, làm việc khi có áp lực dư bên trong.

**4.2.2** Đường hầm không áp (tự điều chỉnh và không tự điều chỉnh) làm việc ở chế độ không chứa đầy nước.

## 5 Quy định chung

**5.1** Đường hầm thủy lợi cho phép làm việc theo chế độ thay đổi khi bảo đảm chuyển dần từ chế độ không áp sang có áp và ngược lại, nhưng nhất thiết phải được luận chứng bằng những tài liệu nghiên cứu thí nghiệm về thủy lực và tính toán độ bền.

**5.2** Việc phụt xi măng lấp đầy phía ngoài áo hầm cần phải xét trong tất cả mọi trường hợp trừ những đường hầm có áo là bê tông phun áp lực hoặc bê tông nén. Phải phụt xi măng gia cố cho đá bao quanh đường hầm cũng như phải bố trí thiết bị tiêu nước khi có luận chứng kinh tế kỹ thuật tương ứng.

**5.3** Khi thiết kế những đường hầm thủy lợi chủ yếu từ cấp III trở lên cần bố trí thiết bị quan trắc để tiến hành quan trắc sự làm việc của công trình trong quá trình thi công, giai đoạn vận hành khai thác, để đánh giá hiện trạng của áo hầm và đá bao quanh hầm, của chế độ thủy lực, chế độ thấm.

Việc chọn kết cấu, số lượng thiết bị đo kiểm tra và bố trí chúng phải được tiến hành tùy thuộc vào cấp và kết cấu của đường hầm, các điều kiện địa chất và địa chất thủy văn, biện pháp thi công.

## 5.4 Tuyến đường hầm

**5.4.1** Tuyến đường hầm nên chọn ở nơi tuyến ngắn, cấu tạo địa chất dọc tuyến đơn giản, khối đá ổn định, hoàn chỉnh, chiều dày lớp phủ phía trên tầng đá vừa phải, điều kiện địa chất thủy văn thuận lợi và thi công tiện lợi.

**5.4.2** Khi chọn tuyến đường hầm thủy lợi, cần căn cứ vào công dụng của đường hầm, và các yếu tố: địa hình, địa chất, thủy lực, thi công, vận hành, công trình dọc tuyến, bố trí tổng thể đầu mối và ảnh hưởng môi trường xung quanh v.v... để chọn lựa thông qua so sánh kinh tế - kỹ thuật các phương án.

**5.4.3** Tuyến đường hầm nên tránh nơi bị ảnh hưởng bất lợi của công trình lân cận; Khi đường hầm thủy lợi giao nhau hoặc xuyên qua, vượt qua các công trình khác thì phải phù hợp với quy định ở 5.5.9.

**5.4.4** Bố trí tuyến đường hầm phải dựa vào đặc tính địa tầng và cấu tạo địa chất chủ yếu của tầng đá khu vực hầm để thoả mãn yêu cầu sau đây:

**5.4.4.1** Góc giao nhau giữa tuyến đường hầm với hướng dốc của tầng đá, mặt đứt gãy kiến tạo và có đới mềm yếu nên có góc tương đối lớn. Đối với khối đá có kết cấu địa khối hoàn chỉnh và tầng đá dày, dính kết chắc, đá cứng, góc giao nhau không nhỏ hơn  $30^{\circ}$ . Đối với khối đá có lớp mỏng, đặc biệt giữa tầng đá mỏng liên kết rời rạc, góc các lớp quá dốc thì góc kẹp không nên nhỏ hơn  $45^{\circ}$ .

**5.4.4.2** Khi hầm đi qua đoạn có địa chất xấu (đứt gãy, nứt nẻ, cấu tạo mềm yếu, đới không hoàn chỉnh), thì bố trí tuyến đường hầm nên căn cứ vào mức độ ảnh hưởng cấu tạo địa chất bất lợi nêu trên đối với tính ổn định của đá bao quanh đường hầm, đồng thời xét đến các yếu tố thi công, vận hành, thời gian thi công, vốn đầu tư v.v... để quyết định.

**5.4.4.3** Khi tuyến đường hầm chọn có các đoạn hầm xuất hiện khối đá cục bộ không ổn định, nên tiến hành phân tích, dự đoán để có giải pháp công trình, nhằm đảm bảo tính khả thi của tuyến đường hầm.

**5.4.5** Dọc theo tuyến đường hầm, khi gặp phải địa chất xấu như: đứt gãy, mặt cấu tạo bất lợi, đới mềm yếu, đới bị xâm thực, đá bị trương nở v.v... nên nghiên cứu kỹ về ảnh hưởng hoạt động nước ngầm, chú ý điều kiện ổn định của đá bao quanh đường hầm. Tuyến đường hầm nên tránh những nơi nước mặt chảy quá mạnh gây xói lở thành hố sâu.

**5.4.6** Đối với khu vực ứng suất địa tầng lớn, thì hướng trục đường hầm thủy lợi với hướng ứng suất theo phương ngang của đá nên tạo thành góc kẹp nhỏ.

**5.4.7** Khi chiều dày lớp phủ trên đỉnh và vách hầm quá mỏng, thì căn cứ vào điều kiện địa chất, hình dáng và kích thước mặt cắt hầm, điều kiện thi công, áp lực nước bên trong, hình thức chống đỡ, tính thấm nước của đá bao quanh hầm và các yêu cầu sau đây để quyết định:

**5.4.7.1** Đối với cửa ra, cửa vào của đường hầm (có áp, không áp) và thân đường hầm của đường hầm không áp, khi đã áp dụng phương pháp thi công và giải pháp công trình hợp lý, có thể bảo đảm thi công, và vận hành an toàn thì chiều dày lớp phủ nhỏ nhất trên đỉnh và ở vách hầm không cần có quy định cụ thể.

**5.4.7.2** Chiều dày lớp phủ (không tính tầng phủ thực vật) trên đỉnh và ở vách của đường hầm có áp. Nếu đá bao quanh hầm hoàn chỉnh, không có mặt cắt bất lợi, và vỏ đường hầm bằng bê tông hoặc bằng bê tông cốt thép, thì có thể khống chế chiều dày lớp phủ không nhỏ hơn 0,4 lần cột nước áp lực bên trong. Nếu là đường hầm không vỏ, hoặc đường hầm phun vữa thì khống chế chiều dày lớp phủ không nhỏ hơn 1 lần cột nước áp lực bên trong.

Khi có ảnh hưởng của vùng lõm, trũng của nước và mái dốc, thì có thể dùng phương pháp phân tử hữu hạn để phân tích, hoặc dùng công thức (1) để tính toán:

$$\gamma_r \cdot D \cdot \cos \alpha > K \cdot \gamma_w \cdot H \quad (1)$$

trong đó

$\gamma_w$  là tỷ trọng nước, tính bằng  $\text{kN/m}^3$ ;

$\gamma_r$  là tỷ trọng đá, tính bằng  $\text{kN/m}^3$ ;

D là chiều dày lớp phủ lớn nhất, tính bằng m;

H là cột nước của áp lực nước bên trong lớn nhất, tính bằng m;

K là hệ số kinh nghiệm  $K = 1,1$ .

$\alpha$  là góc nghiêng của mặt mái dốc khi  $\alpha > 40^\circ$ , thì lấy bằng  $45^\circ$ .

**5.4.7.3** Chiều dày lớp phủ nhỏ nhất trên đỉnh đường hầm và vách hầm bị mất ổn định do thấm và đứt gãy bởi áp lực nước tác dụng. Đối với đường hầm có áp với cột nước cao, trong giai đoạn thiết kế cơ sở và thiết kế kỹ thuật, nên so sánh với công trình tương tự và phân tích theo phương pháp phân tử hữu hạn để quyết định. Tính thử dần chiều dày lớp phủ nhỏ nhất trên đỉnh và vách đường hầm để thoả mãn yêu cầu không làm mất ổn định do nước thấm và đứt gãy thủy lực do áp lực nước.

**5.4.8** Chiều dày lớp đá ở giữa 2 đường hầm cạnh nhau, phải căn cứ vào các yếu tố như nhu cầu bố trí, điều kiện địa chất, áp lực nước bên trong, áp lực bản thân đá bao quanh đường hầm, ứng suất và biến dạng của đá bao quanh đường hầm, kích thước, hình dáng mặt cắt ngang của đường hầm, phương pháp thi công và tình hình vận hành v.v... để quyết định. Chiều dày lớp đá không nhỏ hơn 2 lần đường kính đào hầm (chiều rộng đào hầm). Khi gặp đá tốt, chiều dày lớp đá có thể giảm đi, song không nên nhỏ hơn 1 lần đường kính đào hầm và phải bảo đảm trong thời kỳ vận hành đá bao quanh đường hầm không phát sinh mất ổn định do nước thấm hay đứt gãy do lực nước tác dụng.



**5.4.9** Trường hợp, đường hầm thủy lợi phải xuyên qua nền đập, vai đập, hoặc nền các công trình khác thì giữa đá bao quanh hầm với nền công trình phải có đủ chiều dày, thỏa mãn yêu cầu ứng suất, biến dạng, ổn định và thấm thấu của nền móng công trình và đường hầm. Nếu không thỏa mãn, phải có giải pháp công trình, bảo đảm thi công, vận hành an toàn.

**5.4.10** Khi tuyến đường hầm gặp phải suối, khe sâu, thì phải căn cứ vào điều kiện địa hình, địa chất, thủy văn và thi công, tiến hành so sánh phương án kỹ thuật - thiết kế đi vòng qua suối hoặc vượt qua suối. Nếu dùng phương án vượt qua suối phải chọn vị trí suối hợp lý, các bộ phận liên kết công trình vượt suối với hầm, và mái gương hầm, phải có giải pháp gia cố an toàn.

**5.4.11** Tuyến đường tim hầm nên là tuyến thẳng, khi cần phải có đoạn uốn cong thì phải phù hợp yêu cầu sau đây:

**5.4.11.1** Đối với đường hầm không áp, vận tốc nhỏ hơn 20 m/s, bán kính cong không nên nhỏ hơn 5 lần đường kính hầm, góc lượn không lớn hơn  $60^\circ$ .

Đối với đường hầm có áp vận tốc nhỏ hơn 20 m/s, có thể hạ thấp yêu cầu song bán kính cong không nên nhỏ hơn 3 lần đường kính hầm góc lượn không nên lớn hơn  $60^\circ$ .

**5.4.11.2** Đối với đường hầm không áp vận tốc lớn, không nên có đoạn cong. Đối với đường hầm có áp vận tốc lớn có đoạn cong thì bán kính cong và góc lượn nên thông qua thí nghiệm để xác định.

**5.4.11.3** Ở phần đầu và cuối đoạn cong phải bố trí đoạn thẳng chuyển tiếp, chiều dài đoạn thẳng không nhỏ hơn 5 lần đường kính đường hầm.

**5.4.12** Ở đoạn thân đường hầm bố trí đường cong theo chiều đứng. Đối với đường hầm vận tốc lớn (có áp hoặc không áp), thì kiểu dáng hầm và bán kính cong đứng, phải thông qua thí nghiệm để xác định. Bán kính đường cong đứng của đường hầm không áp vận tốc thấp, không nên nhỏ hơn 5 lần đường kính đường hầm (hoặc chiều rộng đường hầm). Đối với đường hầm có áp, vận tốc thấp, có thể hạ thấp yêu cầu một cách hợp lý.

**5.4.13** Khi đường hầm thủy lợi bố trí đường cong theo chiều ngang hoặc chiều đứng thì bán kính cong phải xét đến yêu cầu của phương pháp thi công và thiết bị thi công.

**5.4.14** Độ dốc dọc đường hầm nên căn cứ vào yêu cầu sử dụng, việc nối kết ở thượng và hạ lưu, cao trình đáy của công trình dọc tuyến đường hầm, và điều kiện thi công, sửa chữa để quyết định.

Độ dốc dọc tuyến đường hầm thủy lợi phải thỏa mãn yêu cầu vận tốc không lắng đọng phù sa. Độ dốc dọc tuyến không nên có nhiều thay đổi, không nên có đoạn bằng và đoạn dốc ngược. Độ dốc của đường hầm dẫn nước dài (hầm tưới tiêu, hầm cấp nước) nên xét đến yêu cầu dọc tuyến có bố trí kết cấu phân chia cấp lấy nước.

**5.4.15** Với đường hầm xả cát trên sông có nhiều phù sa, đường cong theo chiều nằm ngang và chiều đứng, góc lượn, độ dốc dọc tuyến thân đường hầm đều phải thông qua thí nghiệm mô hình để xác định.

**5.4.16** Đối với đường hầm dài, cần bố trí hầm phụ thi công. Số lượng và chiều dài hầm nhánh phải căn cứ vào điều kiện địa hình, địa chất, phương pháp thi công, giao thông với bên ngoài và yêu cầu về cân bằng khối lượng giữa các đoạn đường hầm và thời gian thi công để xác định. Khi điều kiện địa chất xấu phải xem xét ảnh hưởng thi công hầm nhánh đối với đường hầm chính.

**5.4.17** Khi bố trí đường hầm thủy lợi phải xét đến chiếm đất tạm thời và chiếm đất vĩnh viễn, thực vật bị hư hại, ô nhiễm trong quá trình thi công, ảnh hưởng do thay đổi mực nước ngầm trong thời kỳ vận hành đối với việc bảo vệ nguồn nước và đất canh tác.

**5.4.18** Trong đường hầm có áp phải đảm bảo dự trữ áp lực dư không nhỏ hơn 0,02 mPa dưới đỉnh vòm trên suốt cả chiều dài đường hầm.

## **5.5** Bố trí cửa vào, cửa ra

**5.5.1** Bố trí cửa vào, cửa ra phải căn cứ vào yêu cầu bố trí tổng thể đầu mối, điều kiện địa hình, địa chất, sao cho dòng nước chảy vào và ra êm thuận, thoả mãn yêu cầu công năng sử dụng và vận hành an toàn, đồng thời bố trí các thiết bị làm sạch bùn cát của cửa van và lưới chắn rác, giao thông với bên ngoài v.v....

**5.5.2** Cửa vào, cửa ra nên chọn ở nơi có cấu tạo địa chất đơn giản, khối đá hoàn chỉnh, tầng phủ phong hoá mỏng, tránh những nơi cấu tạo địa chất xấu và dễ phát sinh sạt lở, hố xói, vực sâu, trượt mái.

**5.5.3** Bố trí cửa vào, cửa ra phải xem xét phù hợp với việc bố trí đường hầm thủy lợi. Đối với khu vực địa hình, địa chất phức tạp phải thông qua luận chứng kinh tế - kỹ thuật, chọn phương án bố trí tối ưu.

**5.5.4** Mái dốc gương hầm và mái dốc ở 2 vách cửa vào, cửa ra nên tránh nơi mái đào quá cao, nếu không thể tránh được, thì phải tiến hành phân tích tính ổn định mái đào để có giải pháp gia cố.

**5.5.5** Ở cửa vào và cửa ra nên chừa lại mặt bằng để làm sạch mái đào, đồng thời có giải pháp công trình hợp lý, phòng tránh đất đá rơi của tầng phủ và vật còn bám ở mái đào ảnh hưởng đến vận hành hầm.

**5.5.6** Cửa hầm đất nên chọn ở nơi mái núi ổn định, đất đá tốt, ổn định, không nên bố trí ở đới mềm yếu, xen kẹp dăm sạn. Mái đào của cửa hầm đất nên căn cứ vào đặc điểm của đất và chiều cao đào để xác định.

**5.5.7** Chỗ tiếp nối cửa hầm đất với cầu máng dẫn nước và hầm đá nên bố trí khớp nối vĩnh cửu.

**5.5.8** Thiết kế hình dáng đoạn hầm cửa ra của hầm xả nước có áp, phải phù hợp yêu cầu sau đây:

## TCVN 9154:2012

**5.5.8.1** Nếu hình dáng dọc tuyến đường hầm không thay đổi nhiều, thì diện tích mặt cắt đoạn cửa vào nên thu hẹp từ 10 % đến 15 % so với mặt cắt thân hầm. Nếu hình dáng dọc tuyến đường hầm có nhiều thay đổi, điều kiện nước chảy trong đường hầm kém, thì diện tích thu hẹp từ 15 % đến 20 % so với mặt cắt thân hầm. Phương pháp thu hẹp nên dùng cách ép mái đỉnh hầm. Đối với công trình đường hầm quan trọng, phải tiến hành thí nghiệm mô hình để kiểm chứng.

**5.5.8.2** Độ dốc đáy ở cửa ra đoạn hầm nên xuôi theo chiều mái hầm, hai bên vách mở rộng ra nên bằng phẳng, thuận chiều, nối tiếp với nước hạ lưu êm thuận; khi cửa ra mở rộng một cách đột ngột, hoặc ở đáy có độ dốc lớn, thì cần thông qua thí nghiệm mô hình để kiểm chứng. Khi cửa ra ở cạnh kề dòng sông chính, thì cần có giải pháp dẫn dòng hợp lý, để phòng dòng nước xung đột va đập nhau.

**5.5.9** Cửa ra hầm xả lũ nên căn cứ điều kiện địa hình, địa chất, thủy lực, phương thức vận hành, độ sâu và biên độ thay đổi của nước hạ lưu, khả năng chống xói mòn lòng sông hạ lưu, yêu cầu tiêu năng chống xói và ảnh hưởng cửa ra đối với công trình lân cận để lựa chọn giải pháp tiêu năng, chống xói hợp lý. Giải pháp tiêu năng chống xói nên tuân thủ theo quy định sau đây:

- 1) Tiêu chuẩn thiết kế chống lũ của công trình tiêu năng theo quy định hiện hành.
- 2) Bố trí công trình tiêu năng, hình thức kết cấu, tính toán thủy lực, và yêu cầu tiêu năng phải phù hợp quy định của tiêu chuẩn thiết kế đập tràn TCVN 9147:2012.
- 3) Cửa ra của đường hầm xả lũ nên dùng kiểu mũi phun hoặc tiêu năng đáy. Khi điều kiện cho phép cũng có thể dùng hình thức tiêu năng khác.

Khi dùng tiêu năng mũi phun cần chú ý giảm thiểu ảnh hưởng hàm khí, nước đục, nước phun rộng, ảnh hưởng đến các công trình khác.

**5.5.10** Khi bố trí đường hầm xả nước, cần phải xét đến khả năng vận hành xả lũ có thể xuất hiện, vị trí cửa ra của đường hầm xả lũ, trạng thái dòng nước, phạm vi xói lở, và ảnh hưởng đối với công trình bên cạnh để so sánh lựa chọn hoặc thí nghiệm mô hình để chọn phương án hợp lý.

**5.5.11** Đối với việc bổ sung khí khi xả nước và xả khí khi lấy nước vào cửa hầm có áp, thông hơi từ mặt nước hầm không áp trở lên và các đoạn đường hầm khác cần thông hơi, nên bố trí diện tích thông hơi và diện tích thông hơi dự phòng.

Diện tích ống thông hơi tính theo công thức sau:

$$F = \frac{Q}{400.C.\sqrt{\Delta P}} \quad (2)$$

trong đó:

- Q là lưu lượng xả lấy bằng lưu lượng tính toán qua ống thông hơi, tính bằng m<sup>3</sup>/s;
- C là hệ số lưu lượng của lỗ; lấy bằng 0,7 cho đường ống

$\Delta P$  là chênh lệch áp lực cho phép giữa mặt ngoài và mặt trong của ống, tính bằng  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa) tính theo công thức sau:

$$\Delta P = \frac{2E}{K} \left( \frac{\delta}{D_0} \right)^3 \quad (3)$$

trong đó

$\delta$  là chiều dày tính toán của vỏ ống tại chỗ có chân không, tính bằng cm;

K là hệ số dự trữ:

- Với ống thép lộ thiên,  $K = 10$

- Với ống thép bọc bê tông cốt thép,  $K = 5$

E là mô đun đàn hồi của vật liệu làm ống, tính bằng  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa);

$D_0$  là đường kính trong của hàm tại chỗ có thể có chân không, tính bằng cm.

## 5.6 Trạng thái áp lực, hình thức và kích thước mặt cắt ngang hàm

### 5.6.1 Chọn trạng thái áp lực

**5.6.1.1** Đường hàm dẫn nước phát điện nên dùng hàm có áp. Khi mực nước thượng lưu thay đổi không nhiều, lưu lượng sử dụng tương đối ổn định, thì có thể dùng hàm không áp.

Hàm dẫn ra của nhà máy nên dùng hàm không áp, khi mực nước hạ lưu thay đổi nhiều, hoặc cao trình lắp máy tương đối thấp thì có thể dùng hàm có áp. Khi hàm dẫn ra là hàm có áp, thì cần xem xét việc bố trí tháp điều áp ở hàm dẫn ra.

Hàm dẫn ra có áp kết hợp với tháp điều áp, phải thoả mãn yêu cầu sóng dềnh và vận hành ổn định.

**5.6.1.2** Không vận hành hàm có áp thay đổi trạng thái liên tục giữa có áp và không áp. Trong điều kiện vận hành bất lợi nhất, thì từ đỉnh hàm trở lên nên có cột nước áp lực không nhỏ hơn 2 m.

**5.6.1.3** Đối với đường hàm xả nước có vận tốc cao không vận hành giao thoa nhau giữa không áp và có áp.

Đối với đường hàm xả nước vận tốc thấp, trong trường hợp bình thường vận hành theo hình thức chảy hở, thì khi mực nước ở mực nước lũ kiểm tra có thể vận hành cả trạng thái có áp và không áp.

Đoạn cửa ra đường hàm không áp, cho phép vào mùa lũ trong thời gian ngắn vận hành cả chảy hở và chảy tầng.

**5.6.1.4** Đường hàm dẫn dòng thi công khi xả nước không gây hư hỏng thân hàm, thì có thể dùng trạng thái có áp và không áp nêu trên.

5.6.1.5 Hàm qua đất chỉ nên dùng đường hầm không áp, nếu hầm đất là đường hầm có áp thì phải căn cứ lực kháng của đất, áp lực nước bên trong, biến động do thấm v.v... để chọn hình thức vỏ bọc hầm hợp lý.

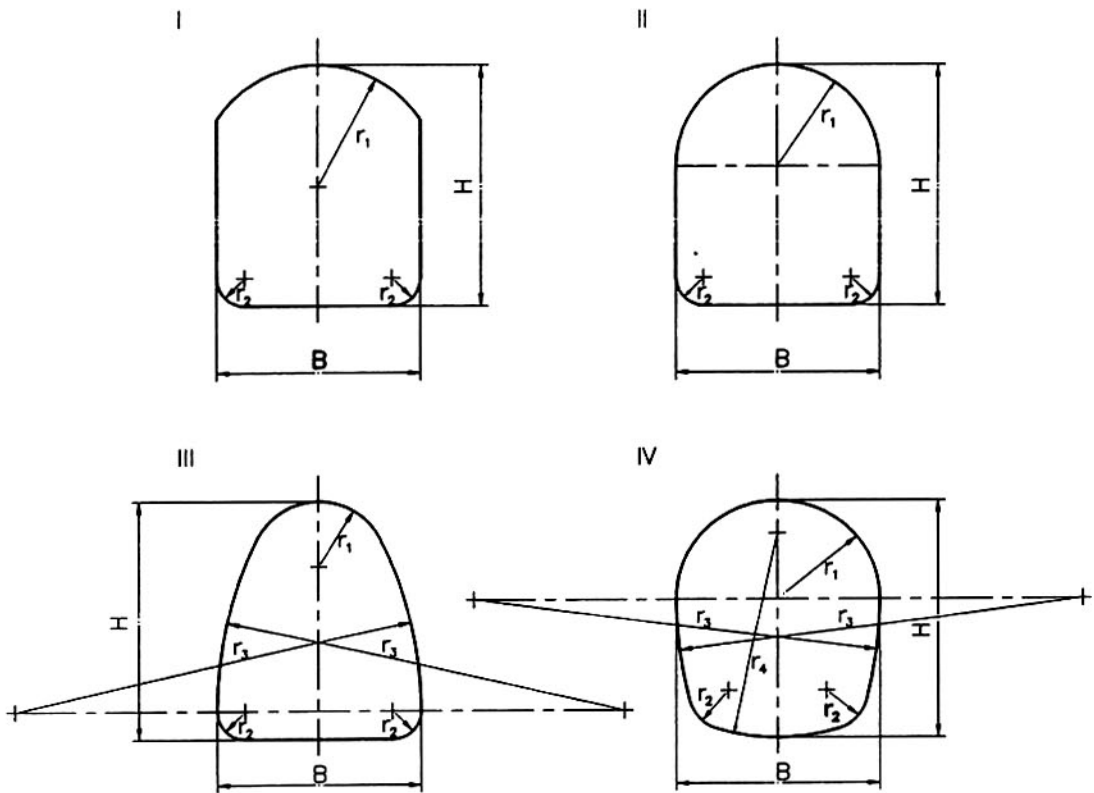
### 5.6.2 Hình dáng mặt cắt ngang

5.6.2.1 Hình dáng mặt cắt ngang của hầm, phải căn cứ vào các yếu tố như công dụng, thủy lực, địa chất công trình, địa chất thủy văn, điều kiện thi công vỏ hầm, ứng suất đá và phương pháp thi công v.v... để xác định.

5.6.2.2 Các hình dạng mặt cắt ngang của đường hầm không áp như ở Hình 1, được sử dụng tùy thuộc vào những điều kiện địa chất công trình trong các đá có hệ số cứng khác nhau:

- $F_k \geq 8$  trường hợp không có áp lực đá lầy theo dạng số I.
- $8 > f_k > 4$  trường hợp đá chỉ gây áp lực đá thẳng đứng lấy theo dạng số II.
- $4 \geq f_k \geq 2$  trường hợp đá gây cả áp lực đá thẳng đứng và nằm ngang lấy theo dạng số III.
- $F_k < 2$  trường hợp đá gây cả áp lực đá thẳng đứng và nằm ngang khá lớn và cả áp lực từ phía dưới lấy lên theo dạng số IV.

CHÚ THÍCH: Cho phép dùng những hình dạng mặt cắt ngang khác khi có luận chứng xác đáng.



Hình 1 – Mặt cắt ngang thông thủy của đường hầm

**5.6.2.3** Mặt cắt ngang dạng hình tròn dùng cho đường hầm không áp đi qua đá tạo nên áp lực mỏ không đối xứng so với trục thẳng đứng của mặt cắt, hoặc qua đất có tính trương nở, cũng như khi cột nước ngầm cao.

Khi áp lực nước ngầm lớn thì ngoài việc dùng dạng mặt cắt hình tròn còn cho phép dùng những dạng mặt cắt ngang từ I đến IV có kèm thêm những biện pháp cấu tạo bổ sung (khoan phụt xi măng, néo, tiêu nước v.v...).

**5.6.2.4** Tỷ số giữa các kích thước của mặt cắt ngang lấy theo Bảng 1.

**CHÚ THÍCH:**

1) Tỷ số giữa các kích thước của mặt cắt ngang khi mực nước trong đường hầm dao động bé hơn hoặc lớn hơn 0,34 lấy tương ứng với dòng trên và dòng dưới của bảng.

2) Đối với dạng mặt cắt III những trị số bé hơn (lớn hơn) của  $\frac{A}{B}$  tương ứng với những trị số bé hơn (lớn hơn) của  $\frac{A}{B}$

3) Tỷ số, khi có lập luận thích đáng cho phép lấy lớn hơn 1,5. (Xem Bảng 1)

**5.6.2.5** Đường hầm có áp nên dùng mặt cắt hình tròn. Khi tính ổn định của đá bao quanh hầm tốt, áp lực nước bên trong và bên ngoài không lớn, thì dùng các loại hình mặt cắt khác để thuận tiện cho thi công. Khi đường hầm không áp có điều kiện địa chất tốt, nên dùng mặt cắt dạng đỉnh hầm hình vòm tròn, hai bên là tường thẳng (hình cổng vòm). Góc ở tim vòm tròn là  $90^\circ - 180^\circ$ . Khi cần, có thể dùng góc ở tim vòm nhỏ hơn  $90^\circ$ , tỷ lệ giữa chiều cao với chiều rộng của mặt cắt, nên căn cứ vào điều kiện thủy lực, điều kiện địa chất để chọn, theo Bảng 1. Khi mực nước trong hầm thay đổi nhiều, thì dùng tỷ lệ H/B lớn.

Khi điều kiện địa chất của hầm không áp, xấu, có thể dùng mặt cắt hình tròn hoặc hình móng ngựa.

**5.6.2.6** Các kích thước ngang thông thủy (đường kính D hay chiều rộng B) của đường hầm dẫn nước và tháo nước của trạm thủy điện phải lấy trong khoảng từ 2 m đến 6 m, cách 0,5 m, từ 6 m đến 15 m, cách 1 m.

**CHÚ THÍCH:**

1) Trong trường hợp nếu kích thước của mặt cắt ngang (D hay B) xác định theo tính toán nằm vào khoảng giữa những kích thước đã nêu ở trong điều kiện này thì phải lấy kích thước nào đảm bảo những chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật của đường hầm tốt hơn.

2) Kích thước mặt cắt ngang của các đường hầm thi công bằng phương pháp kích ép các tấm vữa, hoặc bằng các máy liên hợp, phải quy định căn cứ vào kích thước của các thiết bị trên, trong trường hợp này ở một số trường hợp cá biệt, khi có những luận chứng kinh tế kỹ thuật thích đáng, có thể lấy các kích thước này khác với những kích thước đã nêu ở trong điều này.

Bảng 1 – Tỷ số giữa các kích thước của mặt cắt theo dạng mặt cắt

Dạng mặt cắt ngang (theo Hình 1)	Tỷ số giữa các kích thước của mặt cắt				
	$\frac{H}{B}$	$\frac{r_1}{B}$	$\frac{r_2}{B}$	$\frac{r_3}{B}$	$\frac{r_4}{B}$
I	1	0,71	Từ 0,1 đến 0,15	-	-
	1,5	0,71	Từ 0,1 đến 0,15	-	-
II	1	0,5	Từ 0,1 đến 0,15	-	-
	1,5	0,5	Từ 0,1 đến 0,15	-	-
III	1	0,25	Từ 0,2 đến 0,25	Từ 0,98 đến 0,88	-
	1,5	0,25	Từ 0,2 đến 0,25	Từ 2,58 đến 2,38	-
IV	1	0,5	Từ 0,1 đến 0,15	Từ 1 đến 1,5	Từ 1 đến 1,5
	1,5	0,5	Từ 0,1 đến 0,15	Từ 2 đến 4	Từ 1 đến 1,5

**5.6.2.7** Kích thước mặt cắt ngang của đường hầm thủy lợi, trong trường hợp chế độ thủy lực thay đổi, khi vận tốc chảy trong đường hầm lớn hơn 10 m/s, phải được xác định trên cơ sở những nghiên cứu thí nghiệm có xét đến kinh nghiệm quản lý của những đường hầm tương tự.

**5.6.2.8** Chiều cao khoảng không khí trên mực nước trong đường hầm không áp khi có dòng chảy ổn định và với vận tốc tới 10 m/s phải lấy không nhỏ hơn 0,07 chiều cao thông thủy của đường hầm, nhưng không nhỏ hơn 40 cm.

Đối với đường hầm dài và đường hầm không vò, hoặc không phun vẩy, thì trị số nêu trên có thể tăng thêm.

Đường hầm có yêu cầu giao thông thủy thì bán kính cong và góc lượn chuyển tiếp, kích thước mặt cắt nước chảy qua, và khoảng không từ mặt nước trở lên phải phù hợp quy định của tiêu chuẩn có liên quan.

Khi vận tốc dòng chảy của đường hầm lớn hơn 10 m/s thì chiều cao khoảng không khí nói trên phải được luận chứng bằng những số liệu nghiên cứu thực nghiệm.

**5.6.2.9** Kích thước bé nhất của mặt cắt ngang thông thủy đường hầm thủy lợi thi công bằng cơ giới được lấy theo Bảng 2.

Bảng 2 – Kích thước bé nhất của mặt cắt ngang thông thủy của đường hầm

Dạng mặt cắt ngang của đường hầm	Kích thước bé nhất của mặt cắt ngang thông thủy của đường hầm (m)			
	Không có áo		Có áo	
	B	H	B	H
I-IV (theo hình 1)	2	2,5	2	2
Hình tròn (D)	2,5		2	

CHÚ THÍCH: Kích thước của các đường hầm cho phép giảm bớt so với những kích thước trong Bảng 2 với điều kiện đảm bảo những yêu cầu về quy tắc an toàn khi xây dựng các công trình thủy lợi ngầm.

**5.6.2.10** Đối với hầm dài, có thể sử dụng nhiều hình dáng mặt cắt và hình thức vỏ hầm, song không nên quá nhiều, quá dày, giữa các hình thái mặt cắt và giữa các hình thức vỏ khác nhau, nên có đoạn hầm chuyển tiếp. Ranh giới đoạn hầm chuyển tiếp nên dùng đường cong lượn theo một cách xuôi chiều, và thi công thuận tiện.

Góc hình chóp của đoạn chuyển tiếp hầm áp lực nên lấy từ  $6^\circ$  đến  $10^\circ$ . Đối với đoạn chuyển tiếp có đường nước chảy 2 chiều, nên lấy góc nhỏ. Chiều dài đoạn chuyển tiếp không nên nhỏ hơn 1,5 lần đường kính hầm (hoặc chiều rộng hầm). Hình dáng đoạn hầm chuyển tiếp hầm không áp vận tốc lớn, phải thông qua thí nghiệm để chọn.

## 5.7 Vật liệu dùng cho kết cấu đường hầm

**5.7.1** Bê tông và cốt thép dùng cho những kết cấu bê tông và bê tông cốt thép của các đường hầm (áo, cửa hầm v.v...) phải thỏa mãn những yêu cầu của tiêu chuẩn, quy phạm thiết kế, thi công kết cấu bê tông và bê tông cốt thép thủy công.

**5.7.2** Mác bê tông thiết kế theo độ bền chịu nén đối với các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép của các đường hầm phải xác định không thấp hơn quy định sau:

- Đối với các cấu kiện đổ liền khối: M20
- Đối với các cấu kiện lắp ghép: M30

CHÚ THÍCH: Cho phép sử dụng bê tông mác thấp hơn cũng như bê tông có chất phụ gia đặc biệt để cải thiện các tính chất của chúng khi có luận chứng thích đáng.

**5.7.3** Mác của bê tông phun và vữa phun theo độ bền chịu nén phải không thấp hơn M30.

Cường độ tính toán và tiêu chuẩn của bê tông phun và vữa phun lấy theo Bảng 3.

Mô đun đàn hồi của bê tông phun và vữa phun đối với các mác thiết kế M30, M40 và M50 được lấy tương ứng bằng  $2,4 \cdot 10^4$  mPa ( $2,4 \cdot 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>),  $2,7 \cdot 10^4$  mPa ( $2,7 \cdot 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>),  $3,0 \cdot 10^4$  mPa ( $3,0 \cdot 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>)



Bảng 3 – Cường độ tính toán và tiêu chuẩn của bê tông phun và vữa phun

Trạng thái ứng suất	Kết cấu	Cường độ bê tông phun và vữa phun, mPa (kg/cm <sup>2</sup> )							
		Tiêu chuẩn				Tính toán			
		Thí nghiệm	Mức thiết kế			Thí nghiệm	Mức thiết kế		
			30	40	50		30	40	50
Nén dọc trục (cường độ lãng trụ)	Có cốt thép	$R_{lg\ trư}^{tc}$	21	28	35	$R_{lg\ trư}$	13 (130)	17 (170)	20 (200)
	Không có cốt thép		(210)	(280)	(350)		11,5 (115)	15 (150)	18 (180)
Nén khi uốn	Có cốt thép	$R_u^{tc}$	26	35	41	$R_u$	16 (160)	21 (210)	25 (250)
	Không có cốt thép		(260)	(350)	(410)		14 (140)	18 (180)	22 (220)
Kéo dọc trục	Có cốt thép	$R_{keo}^{tc}$	2,5	3,0	3,5	$K_{keo}$	1,2 (12)	1,4 (14)	1,6 (16)
	Không có cốt thép		(25)	(30)	(35)		1 (10)	1,2 (12)	1,4 (14)

5.7.4 Những đặc trưng về độ bền và độ biến dạng của bê tông liền khối nén (nén ép trong khi thi công) phải được xác định theo những số liệu nghiên cứu thực nghiệm

5.7.5 Mức của thép dùng cho kết cấu thép của các áo liên hợp (bê tông cốt thép và thép tấm) tham khảo tại Bảng 4.

CHÚ THÍCH:

1) Thép có cấp và số hiệu khác với quy định trong Bảng 4 cho phép dùng khi đáp ứng các yêu cầu về chiều dày và độ bền cơ học tương đương.

2) Thép các mức khác nhau đều phải thỏa mãn những yêu cầu về uốn cong ở trạng thái nguội theo các tiêu chuẩn quốc gia và quốc tế tương ứng.

5.7.6 Cường độ tính toán của thép cán tham khảo tại Bảng 5.

CHÚ THÍCH:

1) Những trị số cường độ tính toán đã nêu ở trong bảng được quy định đối với thép có chiều dày không vượt quá những trị số nêu trong Bảng 4

2) Cường độ tính toán của thép với chiều dày vượt quá những trị số nêu trong Bảng 4, cũng như đối với tất cả những mức thép khác thì lấy theo các tiêu chuẩn về thiết kế kết cấu thép như TCVN 5575:1991 hoặc tương đương.

**Bảng 4 – Mức thép dùng cho kết cấu thép của áo đường hầm**

Cấp thép	Mức thép	Yêu cầu về độ dẻo và đập sau khi bị phá hoại giả cơ học, MPa.m(kg.m/cm <sup>2</sup> ) không nhỏ hơn
C 38/23	BCT3 CΠ5	0,4 (4)
	BCT3 CΠ5	0,3 (3)
	M16C	0,35 (3,5)
C 44/29	09 Γ 2	0,3 (3)
	09 Γ 2	0,4 (4)
	09 Γ 2C	0,3 (3)
C 46/33	09 Γ 2C	0,3 (3)

**Bảng 5 – Cường độ tính toán của thép cán**

Trạng thái ứng suất và tính chất tải trọng	Ký hiệu	Cường độ tính toán mPa (kg/cm <sup>2</sup> )		
		C 38/23	C44/29	C46/33
Kéo do áp lực bên trong	R <sub>kéo</sub>	260 (2600)	300 (3000)	310 (3100)
Nén, uốn và kéo do áp lực bên ngoài	R	210 (2100)	260 (2600)	290 (2900)

**5.7.7** Để hàn các kết cấu thép phải dùng những vật liệu tương ứng với cấp thép được hàn, phù hợp với yêu cầu của quy phạm thiết kế các kết cấu thép.

**5.7.8** Cường độ tính toán của mối hàn lấy theo Bảng 6.

**CHÚ THÍCH:**

1) Cường độ tính toán của các mối hàn đối đầu được quy định cho các mối hàn thực hiện bằng cách hàn hai phía hoặc một phía có hàn thêm ở chân mối hàn hoặc có hàn miếng đệm sẽ để lại tại mối hàn.

2) Những mối hàn nối loại I là tất cả những mối nối đối đầu dọc của vỏ ở những đoạn thẳng, tất cả những mối nối vỏ của những chi tiết có dạng hình (khuy, ống nối chữ T v.v...) và những mối nối đối đầu của những vòng tăng cứng.

## TCVN 9154:2012

Những mối hàn nối loại II là những mối nối đối đầu ngang của vỏ ở những đoạn thẳng.

3) Những mối hàn đủ theo chiều dày ở những mối ghép hình góc hoặc hình chữ T được tính như những mối hàn đối đầu.

4) Cấp I, II và III của việc kiểm tra chất lượng các mối hàn nối được nêu trong tiêu chuẩn chế tạo, lắp ráp và nghiệm thu các kết cấu thép.

**Bảng 6 – Cường độ tính toán của các mối hàn trong kết cấu bằng thép**

Loại mối nối hàn	Loại trạng thái ứng suất và tính chất của tải trọng	Ký hiệu	Cường độ tính toán mPa (kg/cm <sup>2</sup> ) của các mối nối hàn trong các kết cấu bằng thép		
			C38/23	C44/28	C46/33
Các mối hàn đối đầu loại I và II	Nén, kéo và uốn khi kiểm nghiệm bằng các phương pháp kiểm tra vật lý	$R_{hàn}$	210 (2100)	260 (2600)	290 (2900)
Các mối hàn đối đầu (loại I và II trong vỏ)	Kéo khi chịu áp lực bên trong khi kiểm nghiệm bằng các phương pháp kiểm tra vật lý	$R_{hàn}^{kéo}$	260 (2600)	300 (3000)	310 (3100)
Các mối hàn đối đầu loại III	Nén	$R_{hàn}^{nén}$	210 (2100)	260 (2600)	290 (2900)
	Uốn và kéo	$R_{hàn}$	180 (1800)	220 (2200)	250 (2500)
Các mối hàn góc	Cắt	$R_{hàn}^{góc}$	150 (1500)	180 (1800)	200 (2000)

**5.7.9** Trong những đường hầm thủy lợi lớp áo (hoặc lớp phủ mặt) cần độ bền chống khí thực và bào mòn cao cho phép thiết kế bằng loại bê tông mác cao với cấp phối được lựa chọn theo phương pháp đặc biệt, bằng những loại bê tông trộn bằng các chất dính kết polyme (epoxy, nhựa ...) cũng như bằng thép tấm.

### **5.8 Đường hầm không có lớp áo gia cố**

**5.8.1** Những đường hầm không áp, đi qua đá ít nứt nẻ liền khối, có độ bền cao với vận tốc nước chảy không quá 10 m/s có thể thiết kế không áo. Để cải thiện chế độ thủy lực và điều kiện kiểm tra đường hầm không có áo, trong những trường hợp cá biệt nên thiết kế đáy phẳng của đường hầm bằng bê tông.

Khi vận tốc dòng chảy lớn hơn 10 m/s thì việc thiết kế đường hầm không áp không có áo phải được luận chứng bằng những tài liệu nghiên cứu thí nghiệm.

**5.8.2** Những đường hầm có áp đi qua vùng có những điều kiện như đã đề cập tại 5.8.1, cho phép được thiết kế không có áo khi độ sâu đường hầm không quá  $\frac{1}{2}$  trị số cột nước bên trong tính bằng mét.

**5.8.3** Đoạn đầu và đoạn cuối của đường hầm không áp và không có lớp áo phải thiết kế có áo trên một đoạn dài bằng chiều rộng thông thủy nhưng không ngắn hơn 6 m; còn đối với đường hầm có áp thì những đoạn này phải thiết kế có áo phù hợp với những yêu cầu của 5.8.2.

**5.8.4** Trong các thiết kế đường hầm không có áp phải áp dụng việc nổ mìn tạo biên mặt nhẵn để giảm bớt độ nhám của mặt đường hầm.

## **5.9 Đường hầm có lớp áo gia cố**

**5.9.1** Áo đường hầm thủy lợi có thể chia ra: áo làm nhẵn (không chịu lực) và áo chịu lực.

Loại áo làm nhẵn phải đảm bảo cải thiện được những đặc trưng thủy lực của các đường hầm, giảm bớt lượng mất nước do thấm qua đường hầm và ngăn ngừa đá bị phong hoá.

Loại áo chịu lực phải chịu được các loại tải trọng trong thời kỳ xây dựng và khai thác, đồng thời thoả mãn được những yêu cầu của loại áo làm nhẵn.

**5.9.2** Loại áo làm nhẵn phải dự kiến bố trí:

- Trong các loại đá nứt nẻ và phong hoá mạnh và không gây áp lực đá ;
- Để làm cho mặt trong của đường hầm được nhẵn phẳng khi đường hầm đi qua các loại đá ổn định và nứt nẻ nhẹ.

Loại áo làm nhẵn phải thiết kế bằng bê tông liền khối hoặc bê tông phun và bố trí ở trong phạm vi của chu vi ướt.

Áo bằng bê tông phun không san và làm nhẵn mặt chỉ được áp dụng khi vận tốc nước chảy trong đường hầm không lớn hơn 10 m/s, khi vận tốc lớn hơn, việc áp dụng loại áo này phải được luận chứng bằng các số liệu nghiên cứu thí nghiệm.

Khi áp dụng loại áo làm nhẵn trong những đường hầm có áp phải tuân theo yêu cầu của 5.8.2.

**5.9.3** Các loại áo chịu lực của đường hầm có áp và không áp được nêu trong Bảng 7.

**CHÚ THÍCH:** Cho phép áp dụng các loại áo khác không nêu ở trong bảng này khi có luận chứng xác đáng về kinh tế kỹ thuật.

**5.9.4** Những áo chịu lực của đường hầm cho phép thiết kế theo chịu nứt hoặc chịu nứt với độ mở rộng khe nứt cho phép. Áo chống nứt phải được thiết kế đối với cả đường hầm nằm trong các đá có thể bị xói ngầm, bị rửa lữa do mất chất kiềm, cũng như trong trường hợp nếu môi trường nước có độ kiềm hydrocacbonat ít hơn 0,25 mg đương lượng/lit.

**TCVN 9154:2012**

Trong mọi trường hợp khi lượng mất nước do thấm từ đường hầm ra không làm giảm tuổi thọ của áo và ổn định của khối đá, và cũng như những điều kiện về kinh tế năng lượng cho phép, thì phải thiết kế loại vỏ bằng bê tông hoặc bê tông cốt thép không cần chống nứt. Áo của những đường hầm không áp, theo nguyên tắc phải thiết kế theo điều kiện không chống nứt.

**Bảng 7 – Các loại áo chịu lực của đường hầm**

Loại áo chịu lực của đường hầm	Loại đường hầm	
	Có áp	Không áp
Bảng bê tông	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Đổ liền khối</li> <li>- Đổ liền khối có phụ xi măng gia cố</li> <li>- Bảng bê tông phun</li> <li>- Bảng bê tông nén</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Đổ liền khối</li> <li>- Bảng bê tông phun</li> <li>- Bảng bê tông phun</li> </ul>
Bảng bê tông cốt thép	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Đổ liền khối</li> <li>- Đổ liền khối có phụ xi măng gia cố</li> <li>- Bảng bê tông phun có cốt thép</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Đổ liền khối</li> <li>- Bảng bê tông phun có cốt thép</li> <li>- Lắp ghép từ những đoạn ống nguyên cả vòng hoặc từ những khối riêng.</li> </ul>
Liên hợp hai lớp	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bảng vòng ống bê tông đổ liền khối ở ngoài và vỏ thép ở trong</li> <li>- Bảng vòng ống bê tông cốt thép đổ liền khối ở ngoài và vỏ thép ở trong</li> <li>- Bảng vòng ống bê tông đổ liền khối hoặc áo bê tông cốt thép lắp ghép ở ngoài và vỏ vữa phun có cốt thép ở trong.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> <li>-</li> <li>-</li> </ul>

**5.9.5** Chiều dày áo bằng bê tông hoặc bê tông cốt thép của đường hầm có áp  $h_v$  không được lớn hơn  $0,2 r_r$  trong đó  $r_r$  - bán kính trong của đường hầm. Trong trường hợp nếu theo điều kiện chống nứt mà  $h_v > 0,2 r_r$  thì nên dùng loại áo bằng vật liệu có trị số mô đun đàn hồi bé hơn của bê tông nặng, hoặc nên cải thiện những đặc trưng biến dạng của đá bằng cách phun xi măng gia cố tùy thuộc vào những kết quả tính toán kinh tế kỹ thuật so sánh các phương án.

**5.9.6** Những áo bằng bê tông đổ liền khối có tính chống nứt ở các đường hầm có áp phải được áp dụng trong các loại đá có  $f_k \geq 4$ . Những đường áo bằng bê tông đổ liền khối, không có tính chống nứt phải áp dụng trong các loại đá đồng chất, ít nứt nẻ cùng độ cứng như trên, cũng như trong các loại đá nứt nẻ mạnh với điều kiện có tiến hành phụ xi măng gia cố.

**5.9.7** Những áo bằng bê tông phun nên được áp dụng trong những điều kiện địa chất công trình đã đề cập tại 5.9, khi các trị số lực dính kết với đá không nhỏ hơn 0,8 mPa (8 kg/cm<sup>2</sup>).

**5.9.8** Những áo bằng bê tông cốt thép đổ liền khối ở những đường hầm có áp có thể áp dụng trong những điều kiện đá có độ cứng bất kỳ. Khi đó việc áp dụng chúng trong những điều kiện đá có  $f_k \geq 4$  đòi hỏi phải có những luận chứng về kinh tế kỹ thuật xác đáng.

**5.9.9** Những áo bằng bê tông phun có cốt thép kết hợp với những néo bằng bê tông cốt thép cho phép dùng đối với những đường hầm được thiết kế trong các loại đá nứt nẻ nhẹ hoặc đá có phân lớp.

**5.9.10** Những áo lắp ghép từ những khối riêng lẻ hoặc từ những đoạn ống nguyên nên được xét trong những điều kiện đào đường hầm theo toàn mặt cắt, và nên dùng những áo từ những đoạn ống nguyên (tròn hoặc hình bầu dục) trong trường hợp đường hầm có chiều rộng tới 3 m.

**5.9.11** Những áo kiểu liên hợp (hai lớp) của những đường hầm chịu áp lực cao, có vỏ thép ở trong chỉ cho phép dùng trong những trường hợp ngoại lệ khi cần bảo đảm chống thấm khi có luận chứng xác đáng về kinh tế, kỹ thuật.

Vòng ngoài của áo liên hợp theo nguyên tắc phải bằng bê tông có chiều dày tối thiểu và chỉ có tính chất thuần túy cấu tạo.

**5.9.12** Những áo kiểu liên hợp (hai lớp) có vỏ là vữa phun có cốt thép ở trong và vòng ống bê tông đổ liền khối ở ngoài cho phép dự kiến xét trong các loại đá có  $f_k \geq 4$ .

**5.9.13** Khi thiết kế những áo đường hầm nằm trong đá nứt nẻ thì đá xung quanh đường hầm nên phun xi măng gia cố để tăng khả năng chống thấm và cải thiện các đặc trưng biến dạng của đá, còn để giảm nhẹ sự làm việc của kết cấu áo cho phép làm những thiết bị tiêu nước và néo áo vào đá.

## **6 Tính toán thủy lực hầm**

**6.1** Tính toán thủy lực đường hầm thủy lợi căn cứ công dụng và giai đoạn thiết kế khác nhau của hầm để chọn các nội dung sau đây:

- Khả năng tháo của hầm
- Nối tiếp thượng và hạ lưu
- Tổn thất cột nước
- Đường đo áp
- Đường mặt nước
- Phương án lấy nước vào và xả nước ra và các hiện tượng thủy lực khác.

**6.2** Tổn thất cột nước dọc đường được tính toán theo quy định sau đây:

**6.2.1** Hệ số nhám  $n$  trong tính toán tổn thất cột nước dọc tuyến hầm nên căn cứ vào hình thức bọc vỏ hầm, phương pháp thi công và khả năng thay đổi sau khi vận hành, đồng thời tham khảo công trình đã có để phân tích và chọn hệ số  $n$ .

**6.2.2** Hệ số sức cản cục bộ sử dụng trong tính toán cột nước tổn thất cục bộ, có thể tham khảo các tài liệu thủy lực để phân tích và quyết định. Nếu cần, có thể thông qua thí nghiệm để xác định.

**6.2.3** Khả năng nước chảy qua thân hầm không áp: Đối với đường hầm dài thì tính theo dòng chảy đều. Đối với đường hầm ngắn, tính theo dòng chảy không đều.

**6.3** Tính toán khả năng tháo của đường hầm thủy lợi phải phù hợp các quy định sau đây:

**6.3.1** Đường hầm có áp tính theo chảy qua ống.

**6.3.2** Đường hầm không áp: đối với cửa vào dạng lộ thiên (hở) thì tính theo nước chảy qua đập tràn. Đối với cửa vào có dạng nằm sâu dưới nước, thì tính theo nước chảy qua ống.

**6.4** Tính đường mặt nước hầm không áp: trước tiên dự kiến dạng đường mặt nước, sau đó chọn mặt cắt không chế và chia đoạn để tính.

**6.5** Đối với đường hầm thủy lợi vận tốc lớn, điều kiện dòng nước chảy phức tạp, nên tiến hành thí nghiệm mô hình cục bộ hoặc tổng thể, kiểm tra tính hợp lý của tính toán và việc bố trí công trình.

## **7 Yêu cầu kỹ thuật khi thiết kế đường hầm thủy lợi**

### **7.1 Tài liệu cơ bản**

**7.1.1** Thiết kế đường hầm thủy lợi cần phải căn cứ vào mục đích sử dụng và các yêu cầu kỹ thuật của giai đoạn thiết kế khác nhau để thu thập các tài liệu cơ bản sau đây:

**7.1.1.1** Quy hoạch lưu vực, nhiệm vụ công trình, bố trí đầu mối, mực nước đặc trưng của hồ chứa (sông), lưu lượng sử dụng của hầm, tiêu chuẩn thiết kế và lưu lượng tương ứng, chế độ vận hành hồ chứa.v.v...

**7.1.1.2** Tài liệu địa hình gồm hệ thống cao, tọa độ, bình đồ khu vực nghiên cứu với tỉ lệ thích hợp và các mặt cắt có gắn điều kiện địa chất.

**7.1.1.3** Tài liệu địa chất khu vực, cường độ động đất, địa chất công trình, địa chất thủy văn của cửa vào, cửa ra hầm và dọc theo tuyến hầm.

**7.1.1.4** Tài liệu có liên quan về thủy văn, khí tượng và kết quả thiết kế thủy văn, vật liệu xây dựng, và kết quả thiết kế tổ chức thi công, thiết bị cơ điện và thiết kế điều áp, giảm áp, ống thép áp lực, cửa van (van) v.v...

7.1.1.5 Yêu cầu bảo vệ môi trường khu vực hầm.

7.1.2 Đối với hầm áp lực cao, cần phải chọn đoạn đại diện tại hiện trường để tiến hành thí nghiệm.

7.1.3 Công tác khảo sát địa chất cửa vào, cửa ra, dọc tuyến hầm thủy công phải căn cứ vào mức độ phức tạp về địa hình, địa chất, cấp công trình, giai đoạn thiết kế và các quy phạm liên quan để đề ra yêu cầu khảo sát thăm dò để xác định các yếu tố sau <sup>1</sup>:

7.1.3.1 Đặc tính vòm đá và cấu tạo địa chất, sự phân bố (mức độ phức tạp, yếu tố thể nằm của địa chất dọc tuyến hầm), ranh giới các lớp đất đá dọc tuyến hầm.

7.1.3.2 Tình hình địa chất thủy văn dọc tuyến đường hầm; đặc điểm nứt nẻ.

7.1.3.3 Tình hình ổn định mái dốc cửa hầm, gương hầm.

7.1.3.4 Hiện tượng địa chất ảnh hưởng tới an toàn thi công (hang hốc, khí độc, phóng xạ v.v ...)

7.1.3.5 Ứng suất địa tầng, động đất v.v ...

7.1.3.6 Tình hình nhiệt độ của đất, đá.

7.1.3.7 Khi tiến hành đánh giá và nêu phương án gia cố ban đầu, có thể tiến hành phân loại đất theo phương pháp RMR (rock mass rating) và phương pháp Q (rock tunnelling quality index) là những phương pháp đánh giá khối đá tiên tiến nhất và cũng được ứng dụng rộng rãi nhất (Tham khảo hướng dẫn của ngành điện). Ngoài ra có thể tham khảo thêm các phương pháp phân loại khác khi có luận chứng so sánh.

## 7.2 Nguyên tắc thiết kế

Thiết kế đường hầm thủy lợi phải đảm bảo được các yêu cầu cơ bản sau:

1. Thiết kế tuy nèn phải đảm bảo ổn định chung và độ bền;
2. Hạn chế khe nứt tại vỏ bọc;
3. Tránh không gây nên thông mạch thủy lực của khối đá (đứt gãy thủy lực);
4. Bảo đảm sự liên khối của kết cấu vỏ bọc dưới tác động của tải trọng trong và ngoài đường hầm;
5. Hạn chế lượng và ảnh hưởng của dòng thấm;
6. Hạn chế tổn thất nước và chi phí hợp lý;
7. Đối với thiết kế đường hầm thủy lợi, ngoài việc phải phù hợp với quy phạm này ra, còn phải phù hợp với các quy định của tiêu chuẩn nhà nước hiện hành có liên quan.

## 7.3 Tải trọng, lực tác dụng và tổ hợp của chúng

<sup>1</sup> Đối với công trình hợp tác quốc tế có thể dùng tiêu chuẩn quốc tế khác để sử dụng, tham khảo.



## **TCVN 9154:2012**

**7.3.1** Tải trọng và lực tác dụng được chia ra loại cố định và tạm thời (lâu dài, tức thời và đặc biệt).

**7.3.2** Tải trọng và lực tác dụng cố định bao gồm:

- Áp lực đá;
- Trọng lượng bản thân áo;
- Tác dụng của ứng suất trước (nếu có).

**7.3.3** Tải trọng lâu dài tạm thời bao gồm:

- Áp lực nước trong đường hầm ứng với mực nước dâng bình thường trong hồ;
- Áp lực nước ngầm.

**7.3.4** Tải trọng và lực tác dụng tác dụng tức thời bao gồm:

- Áp lực xung động của dòng nước;
- Áp lực nước trong đường hầm do nước va;
- Áp lực của vữa tác dụng vào áo (vỏ thép) đường hầm khi phụt xi măng;
- Áp lực tác dụng vào vỏ thép do bê tông vữa mới đổ;
- Áp lực của thiết bị cơ giới thi công.

**7.3.5** Tải trọng và lực tác dụng đặc biệt bao gồm:

- Lực tác dụng của động đất và nổ mìn;
- Áp lực nước trong đường hầm ứng với mực nước gia cường hoặc do lực tác dụng nước va khi giảm (cắt) toàn bộ phụ tải;
- Ứng lực xuất hiện do sự thay đổi nhiệt độ co ngót và trương nở của bê tông, từ biến của đá.

**7.3.6** Tải trọng và lực tác dụng nên lấy với những tổ hợp sau đây:

- Tổ hợp: Chủ yếu bao gồm những tải trọng và lực tác dụng cố định, lâu dài, tạm thời và tức thời.
- Tổ hợp: Đặc biệt, bao gồm những tải trọng và lực tác dụng cố định, lâu dài tạm thời, một vài tải trọng và lực tác dụng tức thời và một trong những tải trọng và lực tác dụng đặc biệt.

**7.3.7** Tải trọng và lực tác dụng phải lấy riêng với những tổ hợp bất lợi nhất có thể xảy ra cho từng trường hợp khai thác và xây dựng.

**7.3.8** Các hệ số vượt tải đối với tải trọng khi tính toán áo đường hầm theo độ bền và ổn định (nhóm thứ nhất của các trạng thái giới hạn) được lấy theo Bảng 8.

Bảng 8 – Các hệ số vượt tải của tải trọng khi tính toán theo trạng thái giới hạn thứ nhất

Tên tải trọng	Hệ số vượt tải (n)
- Áp lực đá thẳng đứng:	
+ Do trọng lượng của đá khi tạo vòm ...	1,5
+ Do trọng lượng của toàn bộ chiều dày của đá trên đường hầm hoặc trọng lượng vùng bị phá huỷ v.v...	1,1 (0,9)
- Áp lực đá nằm ngang	1,2 (0,8)
- Trọng lượng bản thân áo	1,2 (0,9)
- Áp lực nước bên trong (có kể đến nước va)	1,0
- Áp lực xung động của nước chảy	1,2
- Áp lực của nước ngầm...	1,1 (0,9)
- Áp lực của vữa khi phun xi măng	1,2 (1)
- Áp lực do máy móc	1,2

**CHÚ THÍCH:**

1. Những hệ số vượt tải để trong ngoặc là ứng với các trường hợp, khi việc sử dụng trị số bé nhất của các hệ số sẽ dẫn đến trường hợp, bất lợi của việc chất tải áo hầm.

2. Đối với những tải trọng được xác định theo những kết quả nghiên cứu ngoài hiện trường thì hệ số vượt tải nên lấy bằng 1.

3. Khi xác định áp lực đá nằm ngang, tính toán, ngoài hệ số vượt tải của áp lực đá nằm ngang còn phải xét đến hệ số vượt tải tương ứng của áp lực đá thẳng đứng.

**7.3.9** Đối với những đường hầm không áp cấp I và những đường hầm có áp cấp I và II, trị số áp lực đá tác dụng vào áo hoặc vào khung chống của đường hầm phải được xác định bằng những nghiên cứu ngoài hiện trường ở những đoạn có những điều kiện đặc trưng về mặt địa chất công trình. Đối với những cấp đường hầm còn lại cho phép xác định trị số áp lực đá theo những điều từ 7.3.10 đến 7.3.14 hoặc lấy theo tương tự.

**CHÚ THÍCH:** Đối với những đường hầm nằm sâu 500 m và lớn hơn trị số áp lực đá phải được xác định bằng những phương pháp đặc biệt, có xét đến những điều kiện nhất định đến trạng thái dẻo của đá, hiện tượng tách bóc của đá và những hiện tượng đặc biệt khác.

**7.3.10** Trị số của áp lực đá trong các loại đá có  $f_k \leq 4$  phải lấy bằng trọng lượng của khối đá, giới hạn bởi vòm áp lực, nếu khoảng cách từ nóc hầm đào đến mặt đất lớn hơn hai lần chiều cao của vòm áp lực. Khi đường hầm nằm nông hơn trị số áp lực đá phải lấy bằng trọng lượng toàn bộ chiều dày lớp đá nằm trên nó.

**7.3.11** Những trị số tiêu chuẩn của áp lực đá thẳng đứng  $q^{lc}$  và nằm ngang  $e^{lc}$  khi tạo thành vòm trong các loại đá có  $f_k \leq 4$  phải coi như phân bố đều trên toàn bộ chiều rộng và chiều cao của hầm đào và được xác định theo công thức:

$$q^{lc} = \beta \gamma_d h. \quad (4)$$

trong đó :

$\beta$  là hệ số lấy bằng 0,7 khi chiều rộng hầm  $B_o < 6$  m và bằng 1 khi  $B_o \geq 6$  m;

$\gamma_d$  là trọng lượng thể tích của đá, tính bằng  $T/m^3$ ;

$h$  là chiều cao của vòm áp lực, tính bằng m.

Ngoài ra:

$$h = \frac{L}{2f_k} \quad (5)$$

Ở đây:

$L = B_o + 2H_o \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$  là chiều rộng của vòm áp lực, tính bằng m;

$H_o$  là chiều cao hầm, tính bằng m

$\varphi$  là góc ma sát trong;

$$e^{lc} = \gamma_d \left( h + 0.5H_o \right) \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (6)$$

Nhưng không lớn hơn trị số của áp lực đá thẳng đứng.

**7.3.12** Trị số áp lực đá trong các loại đá có  $f_k \geq 4$  nên lấy bằng trọng lượng của đá trong thể tích của vùng bị phá hủy.

**7.3.13** Trị số tiêu chuẩn của áp lực đá thẳng đứng ( $q^{lc}$ ) trong các loại đá có  $f_k > 4$  khi:

–  $B_o < 6$  m được xác định theo những chỉ dẫn tại 6.3.11.

–  $B_o \geq 6$  m được xác định theo công thức:

$$q^{lc} = \gamma_d h_H. \quad (7)$$

trong đó

$h_H$  là chiều sâu của vùng bị phá hủy được xác định theo những chỉ dẫn tại 6.4.

**CHÚ THÍCH:** Khi tính toán khung chống néo trong các loại đá nứt nhẹ với chiều sâu của vùng bị phá hủy lớn hơn 1,5 m thì trị số  $q^{lc}$  phải giảm bớt 20 %.

**7.3.14** Trong các loại đá có  $f_k > 4$  thì áp lực đá nằm ngang thông thường không cần xét đến. Khi chiều cao vách hầm lớn hơn 6 m, trị số áp lực đá nằm ngang được xác định từ điều kiện cân bằng giới hạn của lãng trụ trượt của đá.

7.3.15 Áp lực đá tác dụng vào áo đường hầm trong các loại đá có độ cứng bất kỳ không cần xét đến, nếu đường hầm được gia cố bằng những neo bê tông cốt thép với lớp phủ bằng bê tông phun hoặc bằng những vòm kim loại được để lại trong áo.

7.3.16 Trị số áp lực của nước ngầm cần được xác định ứng với mực nước ổn định trong hồ chứa, trong trường hợp này phải xét đến sự hạ thấp nước ngầm nhờ có bố trí các thiết bị tiêu nước và màng phụt xi măng.

7.3.17 Áp lực nước bên ngoài tác dụng lên kết cấu vỏ hầm bê tông, vỏ hầm bê tông cốt thép và vỏ hầm bê tông dự ứng lực thì căn cứ vào công thức (8) để tính toán.

$$P_e = \beta_e \cdot \gamma_w \cdot H_e \quad (8)$$

trong đó

$P_e$  là áp lực nước ngầm tác dụng lên mặt ngoài của kết cấu vỏ hầm  $\text{kN/m}^2$ ;

$\beta_e$  là hệ số chiết giảm của áp lực nước bên ngoài, tra Bảng 9 để xác định.

$\gamma_w$  là tỷ trọng nước  $\text{kN/m}^3$  thông thường bằng  $9,81 \text{ kN/m}^3$ .

$H_e$  là cột nước tác dụng tính từ đường mực nước ngầm đến tim đường hầm, m. Khi có hiện tượng nước bên trong thấm ra ngoài, thì lấy áp lực nước bên trong.

**Bảng 9 – Hệ số chiết giảm của áp lực nước bên ngoài**

Trạng thái hoạt động của nước ngầm	Ảnh hưởng nước ngầm đối với ổn định của đá bao quanh hầm	Trị số $\beta_e$
Vách hầm khô ráo hoặc ẩm ướt	Không ảnh hưởng	Từ 0,1 đến 0,2
Ở bề mặt kết cấu có nước thấm hoặc nhỏ giọt	Mặt kết cấu nhét đầy các chất, nước ngầm làm giảm cường độ kháng cắt của mặt kết cấu làm cho thân đá mềm yếu bị mềm hoá thêm.	Từ 0,1 đến 0,4
Dọc theo khe nứt hoặc mặt kết cấu mềm yếu xuất hiện nhiều nước chảy giọt, thành dòng và phun ra thành tia.	Mặt kết cấu mềm yếu có bùn bị nhét đầy các chất do nước ngầm tác dụng, cường độ kháng cắt của mặt kết cấu bị giảm sút. Đối với đá cứng vừa bị mềm hoá	Từ 0,25 đến 0,6
Có nhiều nước giọt ở bề mặt kết cấu mềm yếu có ít nước dềnh lên	Mặt kết cấu bị nước ngầm xói lở, và chèn nhét tạp chất, làm cho đá bị phong hóa nhanh hơn, các đới mềm yếu đứt gãy bị mềm hoá thành bùn và bị giãn nở, rơi rớt ra, và sản sinh dòng chảy thành ống, phụt lên, có áp lực thấm, đới mềm yếu mỏng bị đứt gãy	Từ 0,4 đến 0,8
Nước chảy thành dòng lớn, đới đứt gãy, đới mềm yếu, có nhiều nước chảy ngược lên	Do tác dụng nước ngầm ở mặt kết cấu, các chất nhét bị cuốn đi, làm cho khối đá bị phân lớp, khi đó áp lực thấm đới mềm yếu và đứt gãy bị nứt thành đá bao quanh hầm bị sụt xuống	Từ 0,65 đến 1

CHÚ THÍCH: Khi có tổ hợp nước bên trong thì lấy số nhỏ, khi không có tổ hợp nước bên trong  $\beta_e$  lấy số lớn.

## TCVN 9154:2012

Đối với đường hầm thủy lợi có bố trí thoát nước, có thể căn cứ vào hiệu quả thoát nước và độ tin cậy của cơ cấu thoát nước, thì áp lực nước bên ngoài tác dụng lên kết cấu vỏ hầm có thể chiết giảm bớt. Trị số chiết giảm có thể thông qua so sánh với công trình tương tự hoặc phân tích tính toán lưu lượng thấm để xác định.

Đối với hầm có địa chất công trình, địa chất thủy văn phức tạp, và áp lực nước bên ngoài tương đối lớn, thì phải nghiên cứu riêng.

**7.3.18** Những tải trọng tác dụng vào áo đường hầm đối với các trường hợp không được dự kiến trong mục này phải được xác định theo những yêu cầu cụ thể của các điều kiện làm việc của đường hầm.

### 7.4 Khung chống đường hầm

**7.4.1** Khi thiết kế đào những đường hầm thủy lợi, thủy điện được sử dụng các dạng gia cố tạm thời sau đây: vì chống khoan neo, vì chống khoan neo kết hợp bê tông phun hoặc phối hợp vì chống khoan neo có treo lưới thép và bê tông phun.

**7.4.2** Vì chống khoan neo có hoặc không có bê tông phun được áp dụng trong các đá có hệ số kiến cố  $f_k > 4$ .

Việc áp dụng các loại vì chống này trong các đá yếu hơn phải được luận chứng bằng những nghiên cứu ngoài hiện trường.

Vi chống bằng bê tông phun (có tính chất tạm thời) nên được áp dụng trong các đá có  $f_k \geq 6$  khi trị số kết dính giữa bê tông phun với đá không nhỏ hơn 0,5 mPa (5 kg/cm<sup>2</sup>).

Vi chống bằng thép kiểu vòm được áp dụng trong các đá có  $f_k < 4$ .

**7.4.3.** Chiều dài của néo là tính bằng m cho phần vòm của hầm đào, phải được xác định theo công thức:

$$l_a \geq h_H + l_3 \quad (9)$$

trong đó

$h_H$  là chiều sâu của vùng bị phá hủy xác định theo các tài liệu nghiên cứu tại hiện trường, đối với các tính toán sơ bộ cho phép xác định  $h_H$  theo công thức:

$$h_H = k_1 \cdot B_0 \quad (10)$$

$k_1$  là hệ số lấy theo Bảng 10

$B_0$  là chiều rộng hầm khi đào, tính bằng m;

$l_3$  là độ sâu chôn néo quá phạm vi của vùng bị phá hủy, tính bằng m.

Đối với néo bằng thép:

$$l_3 = 0,5 h_H \quad (11)$$

Đối với néo bằng bê tông cốt thép:

$$l_3 = \frac{R_a d_a}{400 \tau_a} \geq 0,5 \text{ m} \quad (12)$$

trong đó

$R_a$  là cường độ chịu kéo tính toán của thanh néo, tính bằng  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa);

$d_a$  là đường kính của thanh néo, tính bằng cm;

$\tau_a$  là lực dính kết tính toán của thanh néo,  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa) với vữa xi măng - cát đổ chèn vào lỗ néo, đối với các tính toán sơ bộ  $\tau_a$  lấy theo Bảng 11.

**Bảng 10 – Hệ số  $K_1$  theo mức độ nứt nẻ của đá**

Hệ số độ cứng $f_k$	Hệ số $k_1$ theo mức độ nứt nẻ của đá		
	Nứt nẻ nhẹ	Nứt nẻ trung bình	Nứt nẻ nhiều
4	0,2	0,3	0,4
Từ 5 đến 9	0,1	0,2	0,3
10 và lớn hơn	0,05	0,1	0,15

**Bảng 11 – Lực dính kết của cốt thép với vữa**

Loại cốt thép thanh cán nóng	Lực dính kết của cốt thép với vữa $\tau_a$ khi mức thiết kế chịu nén của vữa bằng mPa ( $\text{kg/cm}^2$ )	
Thép tròn (trơn)	20 (200)	30 (300)
	1,5 (15)	2,5 (25)
Thép gai	2,5 (25)	3,5 (35)

**7.4.4** Khoảng cách  $a$  giữa thanh néo tính bằng  $m$  theo hướng ngang và hướng dọc, đối với phần vòm của hầm đào phải lấy theo trị số nhỏ nhất (nhưng không nhỏ hơn 1 m) xác định theo những điều kiện:

**7.4.4.1** Tạo thành vòm đá - Theo công thức

$$a = l_a \frac{k_B \cdot q}{c} (l_a + B_o). \quad (13)$$

trong đó

$k_B$  là hệ số lấy theo Bảng 12;

**TCVN 9154:2012**

- q là trị số tính toán của áp lực đá thẳng đứng  $T/m^2$  được xác định tương ứng với các yêu cầu tại 7.3.13;
- c là trị số lực kết dính của đá trong vùng bị phá huỷ, tính bằng  $T/m^2$ , lấy theo những số liệu nghiên cứu tại hiện trường. Đối với các tính toán sơ bộ cho phép lấy  $c = 3 f_k$ . Tất cả những ký hiệu còn lại tương tự 7.4.3.

**Bảng 12 – Hệ số  $k_B$  theo các hình dạng dạng mặt cắt và hệ số độ cứng**

Hệ số độ cứng $f_k$	Hệ số $k_B$ với các hình dạng của mặt cắt hầm đào theo Hình 1	
	I	II - IV và dạng hình tròn
đến 5	0,20	0,25
lớn hơn 5	0,25	0,3

**7.4.4.2** Khoảng cách giữa các neo tính theo độ ổn định của các đá giữa chúng theo công thức:

$$a = \frac{1a}{3} \sqrt{\frac{c}{q}} \quad (14)$$

**7.4.4.3.** Khoảng cách giữa các neo tính theo độ bền gắn chặt thanh néo theo công thức:

$$a = \sqrt{\frac{N_a}{\gamma_d \cdot h_H}} \quad (15)$$

trong đó:

$N_a$  là khả năng chịu lực của thanh néo tính bằng tấn, được xác định theo các số liệu nghiên cứu tại hiện trường. Đối với các tính toán sơ bộ cho phép lấy :

- Đối với thanh néo bằng thép trong các đá có  $f_k = 6$  đến 10,  $N_a = 8$  đến 10 T, còn các trường hợp khác  $N_a = 6$  đến 8 T.
- Đối với những thanh néo bằng bê tông cốt thép thì  $N_a$  lấy bằng độ bền chịu đứt của thanh néo.

$\gamma_d$  là khối lượng thể tích của đá tính bằng  $T/m^3$

**7.4.5** Chiều dày lớp phủ bằng bê tông phun tính bằng m đối với phần vòm của hầm đào được xác định theo công thức

$$d = k_2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{\frac{q}{mR_q}} \quad (16)$$

trong đó

$k_2$  là hệ số phụ thuộc vào cách gia cố hàm đào gia cố bằng bê tông phun (hoặc bê tông phun với khung chống kiểu vòm) lấy bằng 0,35; gia cố bằng bê tông phun kết hợp với vì neo bằng 0,25.

$a_1$  là khoảng cách giữa các neo tính bằng m khi có neo lấy  $a_1 = a$  (xem 7.4.4.3); trong những trường hợp còn lại  $a_1 = \frac{B_0}{6}$  nhưng không nhỏ hơn 1 m ( $B_0$  là chiều rộng hàm khi đào).

$R_p$  là cường độ tính toán chịu nén dọc trục của bê tông phun, lấy theo bảng 3.

$m$  là hệ số điều kiện làm việc: đối với các lớp phủ có đặt cốt thép lấy = 1; đối với các lớp phủ không đặt cốt thép lấy = 0,75.

**7.4.6** Sự cần thiết phải dùng khung chống neo đối với tường của hàm đào phải được luận chứng có xét đến những điều kiện cụ thể về địa chất công trình và trạng thái ứng suất của khối đá.

**7.4.7** Khung chống kiểu vòm (kiểu giàn) được tính bằng phương pháp cơ học xây dựng theo áp lực đá, mà áp lực này được xác định theo những yêu cầu của 7.3.

## **7.5 Các quy định chủ yếu về tính toán toán áo đường hầm**

**7.5.1** Việc tính toán áo đường hầm thủy lợi phải được tiến hành theo phương pháp trạng thái giới hạn, phù hợp với những yêu cầu của quy phạm thiết kế các kết cấu và nền, thiết kế các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép thủy công.

**7.5.2** Tính toán các áo đường hầm phải tiến hành:

**7.5.2.1** Theo khả năng chịu lực về độ bền và trong những trường hợp cần thiết có kiểm tra độ ổn định của kết cấu (nhóm thứ 1 của các trạng thái giới hạn);

**7.5.2.2** Theo độ bền chống nứt, nếu những vết nứt không cho phép hoặc theo độ mở rộng khe nứt, nếu độ mở rộng của khe nứt cho phép theo những điều kiện đảm bảo độ bền của áo đường hầm và đảm bảo sự nguyên vẹn của đá cũng như cho phép về lượng nước thấm mất đi từ đường hầm (nhóm thứ 2 của trạng thái giới hạn).

**7.5.3** Các tính toán áo theo nhóm thứ nhất của trạng thái giới hạn được tiến hành theo những hệ số sau:

a) Hệ số vượt tải  $n$  lấy theo Bảng 8;

b) Hệ số vốn đầu tư và tổ hợp  $m_{kc}$  đối với các áo bằng bê tông và bê tông cốt thép lấy theo Bảng 13 hoặc hệ số tổ hợp  $m_c$  đối với vỏ bằng thép lấy theo Bảng 14.

**CHÚ THÍCH:** Khi tính toán áo chịu tác dụng của các tải trọng trong giới hạn thi công, thử nghiệm và sửa chữa, cũng như khi tính toán áo chịu các tổ hợp chủ yếu bao gồm không ít hơn hai tải trọng và lực tác dụng tức thời, thì hệ số  $m_{kc}$  cho phép lấy bằng trị số bình quân số học giữa những giá trị của các hệ số đối với các tổ hợp chủ yếu và đặc biệt.



Bảng 13 – Hệ số vốn đầu tư và hệ số tổ hợp  $m_{kc}$ 

Loại kết cấu	Hệ số vốn đầu tư và tổ hợp $m_{kc}$ theo cấp công trình							
	I		II		III		IV và V	
	và theo các tổ hợp tải trọng và lực tác dụng							
	Chủ yếu	Đặc biệt	Chủ yếu	Đặc biệt	Chủ yếu	Đặc biệt	Chủ yếu	Đặc biệt
Bê tông	0,75	0,95	0,8	1,1	0,9	1,15	0,95	1,15
Bê tông cốt thép	0,85	1	0,95	1	1	1,05	1,05	1,05

Bảng 14 – Hệ số tổ hợp  $m_c$  đối với vỏ bằng thép

Tên các tải trọng	Hệ số tổ hợp $m_c$ theo các tổ hợp tải trọng	
	Chủ yếu	Đặc biệt
Áp lực nước bên trong	0,75 (0,90)	1,10
Áp lực của nước ngầm, của vữa khi phụt xi măng và bê tông vừa mới đổ	0,80	1,00

CHÚ THÍCH: Nếu trị số áp lực nước bên trong  $p$  tính bằng  $\text{kg/cm}^2$  ( $0,1 \text{ mPa}$ ) không vượt quá  $0,15 K_o$  và trị số áp lực của lớp đá trên đường hầm thì phải lấy giá trị của hệ số  $m_c$  để ở trong dấu ngoặc. Khi đó hệ số kháng đơn vị của đá  $K_o$  ( $\text{kg/cm}^3$ ) được xác định theo công thức :

$$K_o = K \frac{r_a}{100} \quad (17)$$

trong đó :  $K$  là hệ số kháng của đá,  $\text{kg/cm}^2$  ( $0,1 \text{ mPa}$ );

$r_a$  là bán kính ngoài của vỏ,  $\text{cm}$

c) Hệ số điều kiện làm việc  $m$  lấy theo Bảng 15.

Bảng 15 – Hệ số điều kiện làm việc m

TT	Loại kết cấu	Hệ số về điều kiện làm việc m khi tính toán theo các trạng thái giới hạn	
		Nhóm thứ 1	Nhóm thứ 2
1	Áo bằng bê tông (trong đó có cả bê tông phun và bê tông nén)	1	0,8 (0,65)
2	Áo bằng bê tông cốt thép (trong đó có cả bê tông ứng suất trước và vữa phun có cốt thép)	1	1,15 (1)
3	Áo kiểu liên hợp (hai lớp) bao gồm vỏ thép ở trong, ống bê tông ở ngoài:		
a	Khi tính toán các đoạn vỏ thẳng và các cấu kiện để gia cố cũng như các vòng đệm và tấm chắn chịu áp lực bên trong.	0,85	-
b	Khi tính toán vỏ của chi tiết có dạng định hình (khuỷu nối ống, ống nhánh, khuỷu chữ T...) chịu áp lực bên trong.	0,75	-
c	Khi tính toán tất cả các đoạn áo chịu áp lực của nước ngầm, của vữa phụt xi măng và của bê tông mới đổ.	0,75	-
4	Áo kiểu liên hợp (2 lớp) bao gồm vỏ thép ở trong và ống bê tông cốt thép ở ngoài.	0,9	-

CHÚ THÍCH: Những giá trị của hệ số ở trong dấu ngoặc phải được lấy khi hệ số sức kháng đơn vị của đá  $K_0 < 200 \text{ kG/cm}^3$  (2000 MPa/m) trong các đá có thể bị xói ngầm, bị rửa, lữa do mất chất kiềm, cũng như trong các môi trường nước có độ kiềm hydrocacbonat nhỏ hơn 0,25 mg đương lượng/lít.

**7.5.4** Tính toán các áo hầm theo khả năng chịu lực phải tiến hành theo các tổ hợp tải trọng tính toán chủ yếu và đặc biệt bất lợi nhất có thể xảy ra khi tính phải sử dụng những đặc trưng tính toán của vật liệu làm áo.

**7.5.5** Tính toán các áo hầm theo khả năng chống nứt và theo độ mở rộng khe nứt phải tiến hành theo những tổ hợp chủ yếu của các tải trọng tiêu chuẩn, khi tính phải sử dụng những đặc trưng tiêu chuẩn của vật liệu làm áo.

**7.5.6** Khi tính toán áo của đường hầm thủy lợi thuộc tất cả các loại (bao gồm các chi tiết có dạng định hình của vỏ thép) chịu những tổ hợp tải trọng bất kỳ, phải kể đến sức kháng của đá.

Khi đường hầm có áp nằm ở độ sâu bé hơn ba lần đường kính của nó, việc lựa chọn chỉ số sức kháng của đá phải có luận chứng đặc biệt.

7.5.7 Khi tính toán áo của những đường hầm có áp chịu áp lực bên trong, có xét đến trị số sức kháng của đá thì trị số áp lực bên trong được chấp nhận coi như truyền vào đá, không được vượt quá trọng lượng của lớp đá trên đường hầm.

Sự cần thiết xét đến sức kháng của đá khi không tuân theo điều kiện trên, cũng như khi bố trí đường hầm có áp ở gần sườn dốc phải được luận chứng một cách đặc biệt.

7.5.8 Tính toán áo của đường hầm chịu tải trọng bất kỳ với đặc trưng khác nhau của đá theo đường viền của áo phải được tiến hành theo các phương pháp của cơ học xây dựng (xem phụ lục B) và có thể thực hiện trên máy tính điện tử (MTĐT) với việc sử dụng các bảng tính hoặc chương trình mẫu.

7.5.9 Những trị số cho phép về mở rộng khe nứt từ những điều kiện tuổi thọ của bê tông và sự bảo vệ cốt thép của áo các đường hầm cấp I phải lấy theo Bảng 16.

**Bảng 16 – Trị số cho phép mở rộng khe nứt**

Gradien cột nước I	Những trị số cho phép mở rộng khe nứt (mm) từ điều kiện							
	Về tuổi thọ của bê tông khi nước có độ kiềm hiđrô cacbonát (mg : đương lượng /lit)				Về bảo vệ cốt thép khi tổng nồng độ của các ion Cl' và SO <sub>4</sub> (mg/lit)			
	0.25	1	2	2.5 và lớn hơn	Đến 50	100	200	400 đến 1000
Đến								
5	0,1	0,18	0,35	0,5	0,5	0,4	0,35	0,3
50	0,07	0,15	0,32	0,45	0,5	0,4	0,35	0,3
300	0,05	0,15	0,38	0,4	0,4	0,3	0,25	0,2

CHÚ THÍCH: Gradien cột nước trong các áo được lấy những hệ số thấm của đá (k) :

a) Khi  $k \leq 10^{-5}$  cm/s:  $I = 1$ ;

b) Khi  $k \geq 10^{-4}$  cm/s: Theo công thức  $I = \frac{1000p-H_n}{h_v}$ ; (18)

trong đó p là áp lực nước bên trong, kg/cm<sup>2</sup> (0,1 mPa)

$H_n$  là cột nước ngầm, cm ;

$H_v$  là chiều dày áo, cm ;

c) trong khoảng  $10^{-4} > k > 10^{-5}$  cm/s trị số I xác định bằng nội suy.

Đối với những đường hầm cấp II, III và IV, V những trị số cho phép mở rộng khe nứt được lấy lần lượt từ 1,3 đến 1,6 và 2 lần lớn hơn những trị số nêu trong Bảng 16 nhưng không lớn hơn 0,5 mm.

**7.5.10** Khi tính toán các áo bê tông và bê tông cốt thép theo nhóm thứ 1 của các trạng thái giới hạn, mô đun đàn hồi của bê tông áo  $E_b$  phải lấy theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép thủy công, còn khi tính toán theo nhóm thứ 2 của trạng thái giới hạn lấy bằng  $0,7 E_b$ .

**7.5.11** Trong tính toán áo đường hàm lực kháng của đá được đặc trưng bằng hệ số kháng đơn vị của đá  $K_0$  hoặc bằng mô đun biến dạng của đá  $E_d$  và hệ số biến dạng ngang  $\nu_n$  (hệ số Poát sông) có xét đến khả năng làm tăng thêm những đặc trên trong trường hợp đá bao quanh đường hầm được gia cố nhân tạo.

Đối với những đường hầm có áp hình tròn, nằm trong đá đồng nhất đẳng hướng thì quan hệ giữa  $E_d$ ,  $K_0$  và  $\nu_d$  xác định bằng công thức:

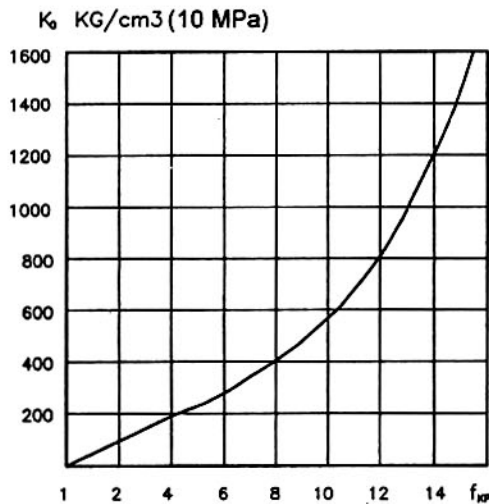
$$E_d = 100 K_0 (1 + \nu_d) \quad (19)$$

**7.5.12** Khi tính toán những đường hầm thủy lợi cấp I và II các đặc trưng biến dạng của đá  $E_d$  hoặc  $K_0$  phải được xác định tại những đoạn có tính chất đại diện về địa chất công trình theo những tài liệu nghiên cứu tại hiện trường, thực hiện bằng các phương pháp: hồ đào chịu áp lực bàn nén chấn động âm học và đo ép.

Đối với những đường hầm cấp III và IV, V nên nghiên cứu ngoài hiện trường bằng các phương pháp chấn động âm học và đo ép, trong trường hợp này cho phép sử dụng các số liệu tương tự.

**7.5.13** Trong các tính toán sơ bộ những trị số của hệ số sức kháng đơn vị  $K_0$  đối với các loại đá nứt nẻ cho phép xác định theo đồ thị ở Hình 2, hoặc theo tương tự.

**CHÚ THÍCH :** Các loại đá nứt nẻ nhẹ với  $f_k \leq 10$  các trị số  $K_0$  tra từ đồ thị Hình 2 nhất thiết phải tăng lên 30%.



**Hình 2 – Đường biểu diễn quan hệ giữa hệ số sức kháng đơn vị  $K_0$  và hệ số cứng của đá  $f_k$  với đá nứt nẻ**

**7.5.14** Trong các tính toán của những áo đường hầm phải xét tới sự làm việc chung của khung chống kiểu vòm với áo.

## TCVN 9154:2012

7.5.15 Khi quyết định sơ đồ tính toán áo hầm cần phải xét đến trình tự thi công áo hầm.

7.5.16 Trong tất cả các trường hợp, khi trên mặt bằng có bố trí một số tuyến đường hầm song song với nhau, thì trong tính toán về độ bền phải xét đến ảnh hưởng của những đường hầm bên cạnh.

7.5.17 Cần tiến hành tính toán các áo hầm bằng bê tông và bê tông cốt thép chịu tác dụng của nhiệt độ khi chênh lệch nhiệt độ tính toán lớn hơn 30 °C.

### 7.6 Những yêu cầu chung về kết cấu

7.6.1 Khi thiết kế những đường hầm thủy lợi phải dự kiến khả năng tháo cạn đường hầm trên suốt đường dài của nó để kiểm tra và sửa chữa.

Trong một số trường hợp đặc biệt cho phép không dự kiến việc tháo cạn những đoạn đầu của đường hầm đến cửa van, khi đó chiều dài của những đoạn này phải ngắn nhất.

7.6.2 Ở công trình lấy nước của đường hầm dẫn nước phải dự kiến bố trí các thiết bị để ngăn ngừa những vật lạ rơi vào đường hầm có thể gây nên hư hại đối với kết cấu đường hầm.

7.6.3 Khi thiết kế những đường hầm thủy lợi phải bố trí các thiết bị thông hơi để ngăn ngừa sự tạo thành chân không trong đường hầm.

7.6.4 Chiều dày bé nhất của áo các đường hầm thủy lợi phải lấy :

a) Đối với áo bê tông và bê tông cốt thép đổ liền khối có một hàng cốt thép	20 cm
b) Đối với áo bê tông cốt thép đổ liền khối có hai hàng cốt thép	25 cm
c) Đối với áo bằng các cấu kiện bê tông lắp ghép	12 cm
d) Đối với áo bằng bê tông phun :	
– Áo chịu lực	10 cm
– Áo để làm phẳng mặt trong của đường hầm	5 cm
– Áo bằng vữa phun	5 cm

7.6.5 Hàm lượng cốt thép nhỏ nhất của các áo bằng bê tông cốt thép của những đường hầm có áp không chống nứt được xác định theo những điều kiện hạn chế độ mở rộng khe nứt với trị số cho phép lớn nhất (xem Bảng 16).

Đối với những áo chống nứt của những đường hầm có áp thì hàm lượng thép nhỏ nhất phải lấy không thấp hơn 0,3 % đối với các loại đá có  $f_k < 4$  và 0,15 % đối với các loại đá có  $f_k \geq 4$ .

Khi thiết kế những đường hầm không áp thì hàm lượng cốt thép nhỏ nhất không hạn chế.

CHÚ THÍCH: Hàm lượng cốt thép của những áo bằng vữa phun cốt thép phải lấy không nhỏ hơn 1.

7.6.6 Chiều dày bé nhất của lớp bảo vệ cốt thép chịu lực của áo bê tông cốt thép đổ liền khối phải lấy theo Bảng 17.

**Bảng 17 – Chiều dày nhỏ nhất của lớp bê tông bảo vệ ở môi trường nước**

Chiều dày áo hầm (m)	Chiều dày nhỏ nhất của lớp bê tông bảo vệ ở môi trường nước (cm)	
	Không có tính ăn mòn	Có tính ăn mòn
Dưới 0,3	3	4
Từ 0,3 đến 0,5	4	5
Lớn hơn 0,5	5	6

**CHÚ THÍCH:**

- 1) Chiều dày của lớp bê tông bảo vệ đối với loại cốt thép cứng không được nhỏ hơn 5 cm.
- 2) Chiều dày của lớp vữa phun bảo vệ đối với cốt thép của vỏ bằng vữa phun cốt thép phải lấy không được nhỏ hơn 2 cm ở môi trường nước không có tính ăn mòn và 3 cm ở môi trường nước có tính ăn mòn.
- 3) Đối với các áo hầm bằng các cấu kiện lắp ghép cho phép giảm bớt chiều dày của lớp bảo vệ 1 cm so với những trị số đã ghi trong bảng.
- 4) Chiều dày của lớp bê tông bảo vệ đối với cốt thép phân bố lấy nhỏ hơn cốt thép chịu lực 1 cm.
- 5) Tính ăn mòn của môi trường nước được xác định theo quy trình về xác định dấu hiệu và tiêu chuẩn ăn mòn của môi trường nước đối với những cấu kiện bê tông và bê tông cốt thép.

## 8 Thiết kế nút bịt hầm

8.1 Vị trí nút bịt, nên căn cứ vào địa chất công trình và điều kiện thủy văn địa chất của đá bao quanh hầm, tình hình chống đỡ, kết cấu vỏ hầm, việc bố trí công trình lân cận và yêu cầu vận hành để quyết định.

8.2 Hình dáng và chiều dài nút bịt hầm, nên căn cứ vào áp lực nước bên trong, điều kiện địa chất, phương pháp thi công, vật liệu bịt nút hầm, yêu cầu vận hành, và xét đến thời gian thi công để quyết định.

8.3 Chiều dài của mặt cắt nút bịt bằng nhau, tính theo công thức sau:

$$L \geq \frac{P}{[T]A} \quad (20)$$

trong đó

L là chiều dài nút bịt, tính bằng m;

## TCVN 9154:2012

P là tổng áp lực nước tác dụng lên mặt giáp nước của nút bịt, tính bằng mN;

[T] là ứng suất cắt cho phép, lấy bằng 0,2 mPa - 0,3 mPa;

A là chiều dài chu vi mặt cắt nút bịt, tính bằng m.

**8.4** Trong thiết kế và thi công nút hầm, nên xét đến giải pháp khống chế nhiệt độ bê tông nút hầm bằng xi măng tỏa nhiệt ít hoặc trộn bột tro bay v.v.... Khi cần có thể dùng loại xi măng giãn nở ít, và phải thí nghiệm cơ lý đối với xi măng này. Cần căn cứ kết quả thí nghiệm thành phần cấp phối bê tông để nghiên cứu, chia lớp, chia khối đổ bê tông, đổ bù và phun vữa khớp nối.

Khi dùng xi măng giãn nở ít để đổ bê tông nút hầm, phải có thiết kế riêng. Trường hợp đã có giải pháp khống chế nhiệt độ, thì không tính ứng suất nhiệt. Với vùng đất nhiệt độ cao thì ứng suất nhiệt phải có chuyên đề nghiên cứu riêng.

**8.5** Thực hiện tốt công tác phun vữa lấp đầy của nút hầm, khi cần, phải tiến hành phun vữa lấp đầy 2 lần.

Phun vữa lấp đầy và phun vữa gia cố của nút hầm phải phù hợp quy định tại 8.1.

## 9 Phun vữa, chống thấm và thoát nước hầm

### 9.1 Phun vữa

**9.1.1** Phần đỉnh vòm vỏ hầm bê tông và bê tông cốt thép phải tiến hành phun vữa lấp đầy.

**9.1.2** Phạm vi, khoảng cách lỗ khoan, hàng lỗ, áp lực phun và nồng độ vữa v.v... của phun vữa lấp đầy phải căn cứ vào kiểu dáng kết cấu vỏ hầm, điều kiện vận hành, phương pháp thi công v.v... để quyết định.

Phạm vi phun vữa lấp đầy nên nằm trong phạm vi góc trung tâm ở đỉnh hoặc đỉnh vòm từ  $90^\circ$  -  $120^\circ$ . Khoảng cách lỗ và hàng lỗ nên từ 2 m đến 6 m. Áp lực phun căn cứ chiều dày vỏ bê tông và tình hình bố trí cốt thép để xác định. Đối với vỏ hầm bê tông áp lực phun từ 0,2 mPa - 0,5 mPa. Lỗ khoan phun nên cắm sâu vào tầng đá bao quanh hầm từ 50 mm trở lên.

Khi vỏ đường hầm gặp phải những trường hợp đá bao quanh hầm sụt lở như hang Karst và đào lẹm v.v... thì ở tại nơi đó phần đỉnh hầm (đỉnh vòm) phải chôn đặt ống phun vữa và ống thoát khí, số lượng ống chôn và vị trí ống nên căn cứ tình hình hiện trường để xác định.

**9.1.3** Đối với đường hầm đất, phun vữa lấp đầy nên dùng phun vữa áp lực thấp, khi giữa vỏ hầm với kết cấu chống đỡ có đặt tấm chắn nước, khi đổ bê tông đường hầm phải chôn sẵn ống phun vữa, ống phun vữa không được làm hư hỏng tấm chắn nước, và kết cấu chống đỡ.

**9.1.4** Lớp vữa xi măng phun lấp đầy phải thỏa mãn yêu cầu thiết kế. Các chỉ tiêu thiết kế như: môđun đàn hồi, tỷ lệ lấp đầy, độ chặt, tính thấm nước v.v... cần căn cứ vào điều kiện địa chất

công trình, địa chất thủy văn của đá bao quanh hầm, tính chất kết cấu vỏ hầm, tình hình khai đào hầm, và yêu cầu vận hành của hầm, đồng thời thông qua thí nghiệm phun vữa để xác định.

**9.1.5** Về phun vữa gia cố đá bao quanh đường hầm, phải căn cứ vào điều kiện địa chất công trình, điều kiện thủy văn địa chất, kiểu dáng vỏ hầm, mức độ ảnh hưởng thi công đối với đá bao quanh hầm, và yêu cầu vận hành, thông qua so sánh kinh tế - kỹ thuật để xác định.

Khoảng cách hàng lỗ phun vữa gia cố nên từ 2 m đến 4 m, mỗi hàng không ít hơn 6 lỗ. Lỗ phun nên bố trí đối xứng nhau, chiều sâu phun vữa căn cứ tình hình đá bao quanh hầm để xác định, có thể lấy bằng 0,5 lần đường kính hầm (hoặc chiều rộng đường hầm), áp lực phun từ 1,0 - 2,0 lần áp lực nước bên trong.

Đối với phun vữa gia cố có yêu cầu đặc biệt, thông qua so sánh công trình tương tự và thí nghiệm hiện trường để xác định các thông số của chúng.

Đối với đường hầm áp lực cột nước cao, áp lực phun gia cố không nhỏ hơn 1,5 lần áp lực nước bên trong đồng thời nhỏ hơn ứng suất chính nhỏ nhất của đá bao quanh hầm.

**9.1.6** Đối với vỏ hầm bằng kết cấu dự ứng lực dạng phun vữa về trình tự phun vữa nên tuân thủ theo những quy định sau đây:

- Phun vữa gia cố đá bao quanh hầm;
- Ép nước áp lực cao vào giữa đá bao quanh hầm và vỏ hầm cho đến khi giữa chúng với nhau tách ra hết;
- Phun vữa áp lực cao vào giữa đá bao quanh hầm với vỏ hầm.

**9.1.7** Phần đỉnh của nút bịt hầm phải được tiến hành phun vữa lấp đầy, các vị trí mép vữa khác tiếp giáp với đá bao quanh hầm và các khe hở phát sinh bởi nhiều nguyên nhân nên tiến hành phun vữa tiếp xúc (phun vữa chèn khe). Phun vữa gia cố đá bao quanh hầm của đoạn nút bịt hầm nên căn cứ vào điều kiện đá bao quanh hầm, cột nước tác dụng và kiểu nút bịt hầm, để quyết định.

Các thông số phun vữa: bố trí phun vữa, áp lực phun, nồng độ vữa phun v.v... căn cứ vào điều kiện địa chất công trình, địa chất thủy văn, kiểu ống nút bịt, điều kiện làm việc của nút bịt hầm, phương pháp thi công nút hầm để phân tích, quyết định.

**9.1.8** Vật liệu phun vữa, căn cứ vào điều kiện địa chất, thủy văn địa chất của đá bao quanh hầm, điều kiện làm việc của hầm để quyết định. Khi nước ngầm có tính ăn mòn, thì dùng xi măng chống ăn mòn.

## **9.2 Chống thấm và thoát nước**

**9.2.1** Phải căn cứ vào điều kiện địa chất công trình, địa chất thủy văn dọc tuyến đường hầm, yêu cầu về bảo vệ môi trường, và các điều kiện khác để xác định thiết kế chống thấm và thoát nước



## **TCVN 9154:2012**

đường hầm. Thiết kế chống thấm và thoát nước đường hầm phải tuân thủ nguyên tắc: bịt, cắt, thoát, chọn giải pháp xử lý đơn chiếc hoặc tổng hợp.

**9.2.2** Đối với hầm không áp: Từ mặt nước trở lên nên đặt lỗ thoát nước, khoảng cách lỗ, hàng lỗ, chiều sâu lỗ đều phải căn cứ điều kiện địa chất để phân tích, quyết định.

Khoảng cách lỗ và hàng lỗ nên dùng từ 2 m đến 4 m chiều sâu lỗ cắm vào đá từ 2 m đến 4 m. Phải đảm bảo ổn định của tấm đáy và tường vách.

**9.2.3** Đối với đường hầm có áp chịu tác dụng áp lực nước bên ngoài, nên có giải pháp bố trí thoát nước hợp lý để giảm bớt cường độ áp lực nước bên ngoài.

**9.2.4** Các vị trí sau đây của đường hầm thủy lợi phải áp dụng giải pháp chống thấm có hiệu quả bảo đảm tính ổn định thấm của đá bao quanh hầm và mái dốc:

- Cửa ra đường hầm có áp
- Đoạn đường hầm có đá bao quanh hầm loại IB và đoạn hầm địa chất xấu
- Đoạn đường hầm cục bộ có chiều dày tầng phủ không đạt yêu cầu quy định tại 4.1.7.

**9.2.5** Đoạn nối giữa vỏ hầm bê tông cốt thép với thép tấm chống đỡ của hầm áp lực cao thì ở đoạn cuối của vỏ hầm bê tông cốt thép phải bố trí màng chống thấm dạng hình vành khuyên, đồng thời đoạn đầu tấm thép bọc chống đỡ phải bố trí vòng chắn nước.

**9.2.6** Mái dốc ở cửa hầm và xung quanh cửa đường hầm cần phải căn cứ vào điều kiện địa hình, địa chất bố trí rãnh cắt nước và lỗ thoát nước để hình thành hệ thống thoát nước hoàn chỉnh. Ở mái của hầm nên có giải pháp chống nước chảy bề mặt gây xói lở.

## **10 Quan trắc an toàn hầm**

**10.1** Đường hầm thủy lợi thuộc một trong các trường hợp sau đây đều phải bố trí thiết bị quan trắc an toàn ở đoạn hầm có tính đại diện, tiêu biểu.

- Hầm thủy công cấp I
- Đường hầm thủy lợi đường kính lớn, cột nước cao, vận tốc lớn
- Đoạn hầm địa chất xấu
- Đường hầm đất
- Đoạn hầm áp dụng kỹ thuật cao.

**10.2** Quan trắc an toàn hầm bao gồm quan trắc bên trong hầm và quan trắc bên ngoài hầm. Nội dung quan trắc phải phù hợp quy định sau đây:

- Quan trắc bên trong hầm: chủ yếu quan trắc trạng thái nước chảy trong hầm, trạng thái làm việc của công trình và đá bao quanh đường hầm, cả về thủy lực và kết cấu.
- Quan trắc bên ngoài đường hầm chủ yếu quan trắc trạng thái làm việc bên ngoài dọc theo tuyến hầm, kể cả cửa vào, cửa ra, sự thay đổi mặt đất và mái đá.
- Nội dung quan trắc cụ thể, phải căn cứ vào công dụng của đường hầm và điều kiện đá bao quanh hầm để quyết định.

**10.3** Đoạn đường hầm có địa chất xấu, nên có thiết kế quan trắc trong thời gian thi công, và kịp thời thu thập tin tức, kết quả, để nghiên cứu, phân tích số liệu quan trắc.

## **11 Vận hành và duy tu hầm**

**11.1** Khi thiết kế, nên căn cứ vào yêu cầu vận hành công trình và các tài liệu có liên quan khác để đề ra yêu cầu vận hành, duy tu đường hầm.

**11.2** Khi lập yêu cầu vận hành, phải đảm bảo hầm được tháo cạn theo đúng thời gian quy định, tiện lợi khi sửa chữa và tiến hành thiết kế tháo cạn đường hầm và đưa nước vào đường hầm.

**11.3** Thiết kế nên căn cứ vào yêu cầu quản lý và duy tu công trình, đề ra những thiết chế và tiêu chí cần thiết.

## Phụ lục A

(Quy định)

### Tính toán kết cấu vỏ áo hầm theo phương pháp lực học đàn hồi

#### A.1 Tính toán áo có hình dạng bất kỳ

Việc tính toán áo có hình dạng bất kỳ chịu tải trọng bên ngoài và bên trong bất kỳ hoặc những tổ hợp của chúng khi những đặc trưng biến dạng của đá biến đổi theo đường viền, được tiến hành bằng những phương pháp cơ học xây dựng hoặc những phương pháp khác và có thể thực hiện được bằng cách sử dụng những chương trình mẫu trên máy tính điện tử.

Tính toán áo của những đường hầm chịu tác dụng của những tổ hợp tải trọng bất lợi nhất được thực hiện theo những yêu cầu tại 7.5.4 và 7.5.5. Trong trường hợp này không cho phép cộng những biểu đồ lực của từng tải trọng riêng biệt để được biểu đồ tổng cộng.

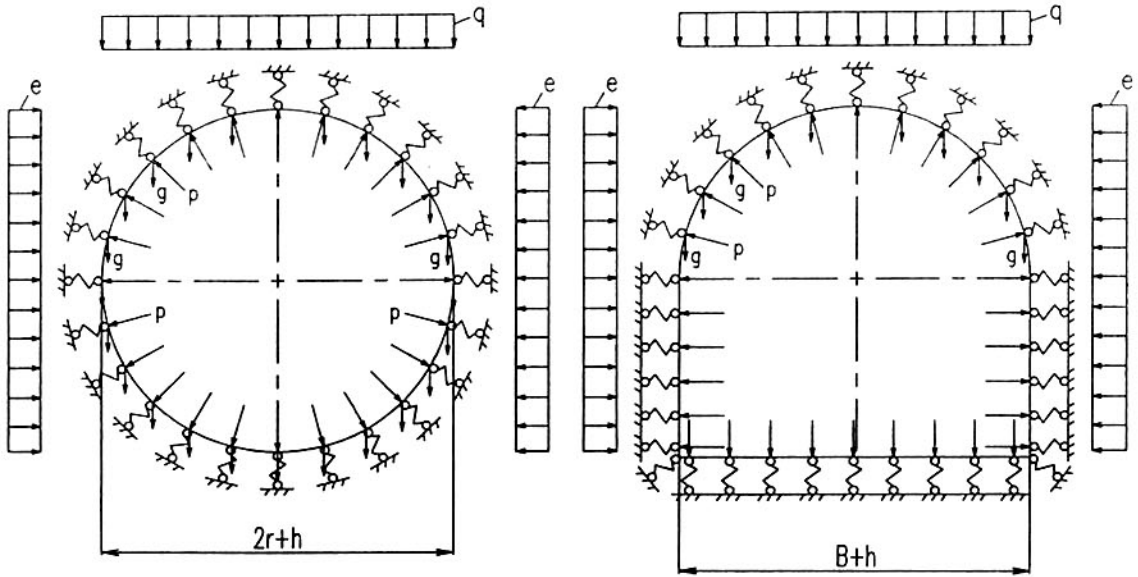
Khi lập sơ đồ tính toán, tim cong của áo đường hầm được thay thế bằng tim gãy khúc, còn lực kháng của đá thay thế bằng những phản lực của các điểm tựa đàn hồi đặt tại tim của áo và tại các điểm gãy của đường tim đó.

Đối với áo hầm có dạng hình tròn khi sức kháng của đá theo chu vi của áo là cố định thì trị số của hệ số kháng  $K$  phải lấy phù hợp với những yêu cầu của chú thích ở Bảng 14.

Khi tính toán áo của các đường hầm không áp chịu tất cả các loại tải trọng và áo của đường hầm có áp chỉ chịu tải trọng bên ngoài theo nhóm thứ nhất và nhóm thứ hai của các trạng thái giới hạn, cũng như khi tính toán áo của các đường hầm có áp theo độ bền chống nứt dưới tác dụng của áp lực nước bên trong phải kể đến độ cứng của tiết diện bê tông. Khi tính toán áo của đường hầm có áp theo nhóm thứ nhất của trạng thái giới hạn chịu tác dụng của áp lực nước bên trong thì chỉ xét đến độ cứng của cốt thép.

Việc tính toán áo của đường hầm không áp theo nhóm thứ nhất của các trạng thái giới hạn trong trường hợp khi cho phép hình thành khe nứt, còn chiều dày của áo vượt quá trị số nhỏ nhất (xem 6.6.4) cho phép thực hiện có xét đến sự hình thành các khớp dẻo ở áo đường hầm.

Tính toán các mặt cắt của áo hầm phải được thực hiện theo quy phạm thiết kế các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép thủy công.



Hình A.1 – Các sơ đồ tính toán vỏ áo đường hầm

## A.2 Tính toán áo có dạng hình tròn

### A.2.1 Tính toán theo độ bền của áo bê tông cốt thép của vỏ vữa phun cốt thép và của áo bê tông cốt thép có vỏ thép ở trong chịu tác dụng của áp lực nước bên trong

Diện tích tiết diện của cốt thép chịu lực  $F_a$  ( $\text{cm}^2$ ) trên 1cm chiều dài đường hầm, khi tuân theo điều kiện :

$$H' \geq \frac{100K_0 r_{tr} R_a m m_{kc}}{r_{ng} \cdot \gamma_d \cdot E_a} \quad (\text{A.1})$$

được xác định theo công thức :

$$F_a = - \frac{F_0 R}{R_a} - \frac{100K_0 r_{tr}}{E_a} \quad (\text{A.2})$$

Khi không tuân theo điều kiện (A.1), xác định theo công thức:

$$F_a = \frac{p r_{tr}}{R_a m \cdot m_{kc}} - \frac{F_0 R}{R_a} - \frac{\gamma_d H' r_{ng}}{R_a m \cdot m_{kc}} \quad (\text{A.3})$$

Trong các công thức (A.1), (A.2), (A.3):

$p$  là áp lực bên trong tính toán của nước có kể đến nước va, tính bằng  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa);

$H'$  là khoảng cách từ đỉnh vòm của đường hầm đến mặt đất, tính bằng cm;

$R_a$  và  $E_a$  là cường độ tính toán của cốt thép chịu kéo và môđun đàn hồi của thép, tính bằng  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa);

## TCVN 9154:2012

$r_{tr}$   $r_{ng}$  là bán kính trong và ngoài của áo đường hầm, tính bằng cm;

$F_o$  là diện tích mặt cắt của vỏ thép ( $cm^2$ ) trên 1 cm chiều dài đường hầm;

$R$  là cường độ tính toán của vỏ thép lấy theo Bảng 5;

$\gamma_d$  là trọng lượng thể tích của đá, tính bằng  $kg/cm^3$

CHÚ THÍCH: Cũng cho phép dùng để tính toán kết cấu bê tông cốt thép của ống nhánh đường hầm có vỏ thép theo các công thức (A.2) và (A.3).

### A.2.2 Tính toán theo độ bền và ổn định của áo kiểu liên hợp với vỏ thép và ống bê tông ở ngoài

#### A.2.2.1 Kiểm tra độ bền của vỏ thép theo công thức :

$$\delta_{np} = \delta_x^2 - \delta_x \delta_z + \delta_z^2 \leq R_1 \quad (A.4)$$

Khi đó phải tuân theo các điều kiện  $\delta_x \leq R_1$  và  $\delta_z \leq R_1$ .

trong đó

$\delta_x$  và  $\delta_z$  là ứng suất pháp tương ứng với các mặt cắt ngang và dọc của vỏ, tính bằng  $kg/cm^2$  (0,1 mPa);

$R_1$  là cường độ tính toán được lấy bằng  $mm_c R_{kéo}$  khi tính toán chịu áp lực bên trong, còn khi tính toán chịu áp lực bên ngoài lấy bằng  $mm_c R$ ;

$R_{kéo}$  và  $R$  là các cường độ tính toán của thép lấy theo Bảng 14 và Bảng 15.

#### A.2.2.2 Ứng suất pháp trong các mặt cắt dọc của vỏ do áp lực nước bên trong tác dụng được xác định

a) Khi có sức kháng của đá - theo công thức :

$$\delta_z = \frac{pr + 100\psi K'_o}{\delta + 4,33 \cdot 10^{-5} r K'_o} \quad (A.5)$$

trong đó :

$p$  là áp lực bên trong tính toán của nước có kể đến nước va, tính bằng  $kg/cm^2$  (0,1 mPa) ;

$r$  là bán kính trung bình của vỏ, tính bằng cm ;

$\delta$  là chiều dày của vỏ thép, tính bằng cm ;

$\Psi$  là khe hở hướng tâm tính toán giữa vỏ thép và bê tông, tính bằng cm ;

$K'_o$  là hệ số tính đổi của sức kháng đơn vị của đá, tính bằng  $kg/cm^3$  .

Khi  $K_o \cdot \frac{r_{ng}}{r} \leq 100$  lấy bằng  $K_o$  ;

Khi  $K_o I_n \frac{r_{ng}}{r} > 100$  xác định theo công thức ;

$$K_o = \frac{100}{E_b} I_n \frac{r_{ng}}{r} \quad (A.6)$$

trong đó

$r_{ng}$  là bán kính ngoài của ống bê tông cm ;

$E_b$  là mô đun đàn hồi của bê tông, kg/cm<sup>2</sup> (0,1 mPa);

b) Khi không có sức kháng của đá hoặc khi  $\frac{\psi}{r} \geq 4.33.10^{-7} \frac{pr}{\delta}$  - theo công thức :

$$\delta_z = \frac{pr}{\delta} \quad (A.7)$$

Khe hở hướng tâm tính toán  $\Psi$  được xác định theo công thức :

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 \quad (A.8)$$

Trong đó :

$\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3$  là các thành phần của khe hở hướng tâm ứng với các lực tác dụng của nhiệt độ, co ngót của bê tông và từ biến của đá, tính bằng cm .

Thành phần của khe hở do nhiệt độ được xác định theo công thức :

$$\Psi_1 = 15,6.10^{-6}.r.(t_p^o - t_{min}^o) \quad (A.9)$$

trong đó

$t_p^o$  là nhiệt độ lớn nhất trong đường hầm khi phụ xi măng lấp khe hở;

$t_{min}^o$  là nhiệt độ nhỏ nhất của nước hoặc không khí trong đường hầm.

Thành phần của khe hở do co ngót của bê tông  $\Psi_2$  và từ biến của đá  $\Psi_3$  được xác định theo những số liệu nghiên cứu và chỉ xét đến khi tính toán chịu những tổ hợp tải trọng đặc biệt.

Đối với những tính toán sơ bộ cho phép lấy :

$$\Psi = 3.10^{-4}.r \quad (A.10)$$

**A.2.2.3.** Ứng suất pháp trong mặt cắt dọc của vỏ do chịu áp lực bên ngoài được xác định theo công thức :

$$\delta_z = p_{ng} \frac{r}{\delta} \quad (A.11)$$

trong đó :

$p_{ng}$  là áp lực bên ngoài tính toán, tính bằng kg/cm<sup>2</sup> (0,1 mPa).

A.2.2.4 Các ứng suất pháp trong mặt cắt ngang của vỏ được xác định:

- Do lực tác dụng của nhiệt độ - theo công thức:

$$\delta x_1 = -25,2 T_1^\circ \quad (\text{A.12})$$

trong đó :

$T_1^\circ$  là độ chênh lệch tính toán của nhiệt độ.

- Do sự co hẹp của biến dạng ngang - theo công thức:

$$\delta x_2 = 0,3. \delta_z \quad (\text{A.13})$$

A.2.2.5 Các ứng suất cục bộ xuất hiện trong vỏ thép tại những vòng tăng cứng, cũng như ở chỗ gãy khúc tạo thành dưới những góc không lớn hơn  $10^\circ$ , trong tính toán không xét đến.

A.2.2.6 Kiểm tra độ ổn định của vỏ thép dưới tác dụng của áp lực bên ngoài được tiến hành theo công thức:

$$p_{ng} < m.m_c.p_k.\xi \quad (\text{A.14})$$

trong đó :

$p_k$  là áp lực bên ngoài tới hạn,  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa);

$\xi$  là hệ số lấy theo Bảng A.1.

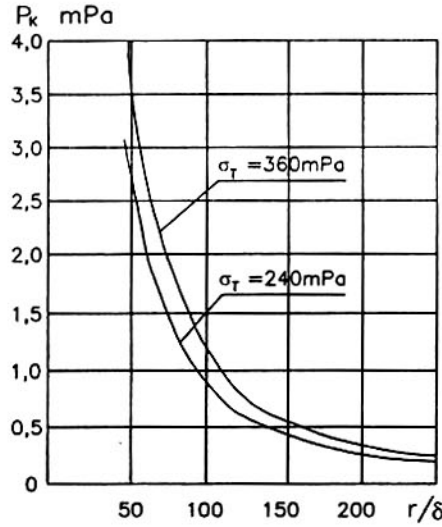
**Bảng A.1 – Hệ số  $\xi$**

$\frac{p_k.r}{\delta.\sigma_T}$	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5
$\xi$	0.9	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4

CHÚ THÍCH: Khi những trị số  $\frac{p_k.r}{\delta.\sigma_T}$  ( $\sigma_T$  giới hạn chảy tiêu chuẩn của thép khi kéo (mPa) lớn hơn 2,5 trị số  $k_k\xi =$

$$\frac{\sigma_T.\delta}{\Gamma}$$

Khi không có những vòng tăng cứng và khi  $\frac{l}{r} > 2$  ( $l$  - khoảng cách giữa các vòng tăng cứng ) thì áp lực tới hạn được xác định theo Hình A.2.



Hình A.2 – Biểu đồ quan hệ giữa áp lực tới hạn bên ngoài và  $r/\delta$

Khi có những vòng tăng cứng, áp lực tới hạn được xác định theo công thức:

+ Khi  $0,5 \leq \frac{1}{r} \leq 2$

$$p_k = 0,92 \cdot E \left( \frac{\delta}{l} \right) \cdot \left( \frac{\delta}{r} \right)^2 \quad (\text{A.15})$$

+ Khi  $\frac{1}{r} < 0,5$

$$p_k = E \cdot \frac{\delta}{r} \cdot \left[ \frac{1}{n^2 \cdot N^2} + 0,0913 \cdot \left( \frac{\delta}{r} \right)^2 \cdot n^{-2} \cdot \left( 1 + \frac{2}{N} \right) \right] \quad (\text{A.16})$$

trong đó :

$$N = 1 + \left( \frac{\bar{n}l}{\pi r} \right)^2$$

$\bar{n}$  là số lượng sóng tạo thành khi vỏ bị nén cục bộ chọn thể nào để có được trị số  $p_k$  nhỏ nhất.

**A.2.2.7** Khả năng chịu lực của những vòng tăng cứng dưới tác dụng của áp lực nước bên ngoài được xác định theo công thức :

$$\frac{p_{ng} l_r}{m_c m F} + \frac{30 E h_v}{r^2} \cdot \frac{1}{13 \alpha m \cdot m_c - 1} \left( 0,1 f + \frac{I}{\Gamma F} + \alpha m m_c \Psi \right) \leq R \quad (\text{A.17})$$

trong đó



F là tổng diện tích các mặt cắt của vòng tăng cứng và của vỏ trên chiều dài, tính bằng  $\text{cm}^2$ ;

$h_v$  là chiều cao của vòng tăng cứng, cm;

I là mô men quán tính của vòng tăng cứng đối với trục, trùng với mặt ngoài của vỏ, tính bằng  $\text{cm}^4$ ;

F là sai lệch ban đầu của bán kính vòng tăng cứng so với bán kính lý thuyết, lấy bằng  $0,0025r$  ;

$\alpha$  là hệ số xác định theo công thức:

$$\alpha = \frac{EI}{p_{ng}lr^3}$$

### A.2.3 Tính toán áo hầm bê tông và bê tông cốt thép cũng như vỏ vữa phun có cốt thép theo độ bền chống nứt dưới tác dụng của áp lực nước bên trong

Chiều dày của vỏ hay áo ở trong các loại đá khi  $K_o \leq 200 \text{ kg/cm}^3$  phải được xác định theo công thức :

$$h_a = \frac{r_{tr}}{1 + \mu \frac{300}{R_p^{tc}}} \left( \frac{p^{tc}}{m \cdot m_{kc} R_k^{tc}} - \frac{100K_o}{E_a} \right) \quad (\text{A.18})$$

trong đó

$p^{tc}$  là áp lực bên trong tiêu chuẩn của nước, tính bằng  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa);

$E_a$  là mô đun đàn hồi của vật liệu áo hoặc vỏ;

$R_k^{tc}$  là cường độ tiêu chuẩn của vật liệu áo hoặc vỏ khi chịu kéo, đối với áo bê tông-cốt thép lấy theo các chỉ dẫn của quy phạm thiết kế các cấu kiện bê tông và bê tông cốt thép thủy công, còn đối với vữa phun và bê tông phun lấy theo Bảng 3;

$\mu$  là hệ số cốt thép của mặt cắt.

Chiều dày của áo đường hầm trong các loại đá nứt nhẹ yếu khi  $K_o > 200 \text{ kg/cm}^3$  cần xác định theo công thức

$$h_a = \frac{r_{tr}(p^{tc} - 100K_o\varepsilon)}{mm_{kc}R_k^{tc} \left( 1 + \mu \frac{300}{R_k^{tc}} \right) + 100K_o\varepsilon} \quad (\text{A.19})$$

trong đó

$$\varepsilon = 0,25 \cdot 10^{-5} mm_{kc} R_k^{tc} \lg(0,5 K_o + 10)$$

#### A.2.4 Tính toán trị số mở rộng khe nứt trong các khe hàm dưới tác dụng của áp lực nước bên trong

A.2.4.1 Trị số mở rộng khe nứt  $a_n$  (cm) trong áo bê tông của đường hầm có áp đã được thiết kế đối với các loại đá đồng nhất, nứt nẻ hoặc các loại đá khác, được phủ xi măng gia cố, phải xác định theo công thức:

$$a_n = c_n \frac{P^{tc}}{K_0} \quad (A.20)$$

trong đó

$$c_n = 0,28 + 6,25 \frac{P^{tc}}{K_0} \leq 1$$

A.2.4.2 Trị số mở rộng khe nứt trong áo bê tông cốt thép của đường hầm có áp đã được thiết kế đối với những điều kiện địa chất công trình bất kỳ, phải được xác định theo công thức:

$$a_n = \left( \frac{\sigma_a - \sigma_{bd}}{E_a} \psi_a - \varepsilon_b \right) l_n \quad (A.21)$$

trong đó

$\sigma_a$  là ứng suất cốt thép,  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa), được xác định theo công thức:

$$\sigma_a = \frac{P^{tc} r_{tr}}{F_a + \frac{100K_0 r_{tr}}{E_a}} \quad (A.22)$$

$\sigma_{bd}$  là ứng suất kéo ban đầu của cốt thép, đối với áo nằm trong đá ẩm cho phép lấy  $\sigma_{bd} = 200 \text{ kg/cm}^2$  (20 mPa);

$E_a$  là mô đun đàn hồi của thép, tính bằng  $\text{kg/cm}^2$  (0,1 mPa);

$\psi_a$  là hệ số, xét tới sự làm việc của bê tông chịu kéo giữa các khe nứt, lấy theo quy phạm thiết kế các kết cấu bê tông và bê tông chịu kéo thủy công.

$\varepsilon_b$  là biến dạng dư trung bình của bê tông giữa các khe nứt khi chịu kéo, cho phép lấy bằng  $1 \cdot 10^{-4}$  ;

$l_n$  là khoảng cách giữa các khe nứt trong áo hầm (cm), trong các loại đá đồng nhất với hàm lượng cốt thép bất kỳ, hoặc trong các loại đá không đồng nhất với  $f_k \leq 4$  khi  $\mu \geq 0,02$  thì khoảng cách giữa các khe nứt trong áo hầm  $l_n = \beta_n \frac{d}{4\mu}$  . Trong các loại

đá không đồng nhất được phủ xi măng gia cố khi  $\mu < 0,02$  thì trị số  $l_n = 1,5 \beta_n \frac{d}{4\mu}$  ;

## TCVN 9154:2012

$\beta_n$  là hệ số, phụ thuộc vào dạng cốt thép: đối với cốt thép trơn  $\beta_n = 1$ , đối với cốt thép gai  $\beta_n = 0,5$ ;

$d$  là đường kính cốt thép, tính bằng cm;

$F_d$  là diện tích của tiết diện cốt thép,  $\text{cm}^2$  trên 1 cm chiều dài đường hầm.

Những trị số mở rộng khe nứt  $a_n$  được xác định theo công thức (A.20), (A.21) không được vượt quá những trị số cho phép đã nêu trong Bảng 16.

### A.2.5 Tính toán trị số lưu lượng nước thấm từ đường hầm có áp

Trị số lưu lượng nước thấm l/s - cm từ đường hầm có áp được xác định theo công thức :

$$Q_t = \frac{p^{ic}}{\frac{h_a}{K_n n_n} + \frac{1}{K_t \phi}} \leq [Q_t] \quad (\text{A.23})$$

$K_n$  là hệ số thấm nước của các khe nứt trong hầm (lưu lượng nước,  $\text{cm}^3$  qua 1 cm của khe khi gradien cột nước bằng 1) được xác định theo công thức :

$$K_n = 1000 a_n^3 ; \quad (a - \text{cm}) \quad (\text{A.24})$$

Lưu lượng các khe nứt trong áo hầm xác định bằng các công thức :

– Với áo hầm bê tông:

$$n_n = 0,0628 r_{ng} \quad (\text{A.25})$$

– Với áo hầm bê tông cốt thép:

$$\bar{n}_n = \frac{2\pi r_{ng}}{l_n} \quad (\text{A.26})$$

trong đó

$r_{ng}$  là bán kính ngoài của áo hầm, tính bằng (cm);

$l_n$  là hệ số mức thấm của đá, tính bằng (cm/s);

$\Phi$  là mô đun hình dạng, đặc trưng cho tương quan hình học giữa những yếu tố trong vùng thấm được xác định theo công thức:

+ Khi  $n_n < 35$

$$\Phi = \frac{\pi}{\frac{R_t}{n_n} l_n \frac{R_0}{0,5a_n} + 0,5 l_n \frac{R_t}{r_{ng} + R_0}} \quad (\text{A.27})$$

+ Khi  $n_n \geq 35$

$$\Phi = \frac{2\pi}{l_n} \frac{R_t}{r_{ng}} \quad (\text{A.28})$$

trong đó

$R_t$  là bán kính vùng thấm, khi không có số liệu nghiên cứu, lấy bằng hai lần chiều sâu đặt đường hầm, tính bằng (cm);

$R_o$  là bán kính ảnh hưởng của từng khe nứt riêng lẻ ở trong áo hầm lấy bằng:

$$R_o = 2r_{ng} \sin \frac{\pi}{2n_n};$$

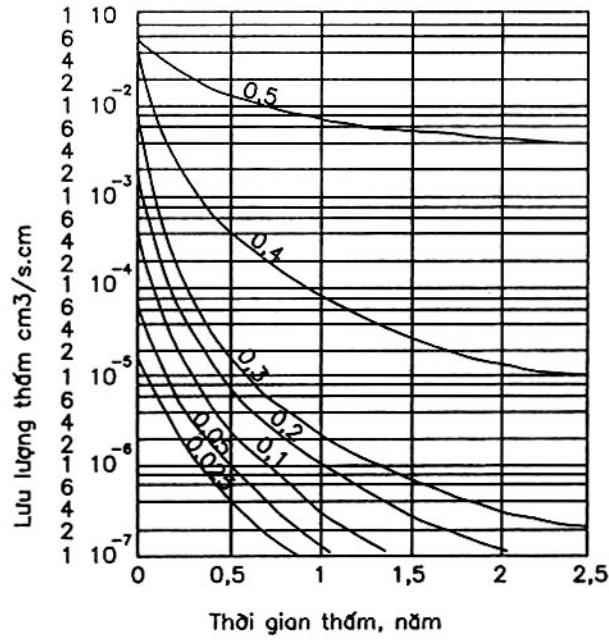
$[Q_t]$  là trị số lưu lượng nước thấm cho phép lấy theo tính toán kỹ thuật, khi tính toán sơ bộ cho phép lấy  $[Q_t] = 0,3$  đến  $0,5$  l/s trên  $1000 \text{ m}^2$  bề mặt đường hầm cho từng 10 m áp lực nước bên trong khi cột nước trong đường hầm lớn hơn 100 m và  $[Q_t] = 1$  l/s khi cột nước trong đường hầm bé hơn 100 m.

Khi tính toán trị số lưu lượng nước thấm từ đường hầm đi qua các loại đá có  $K_t \leq 10^{-5}$  cm/s cho phép bỏ qua sức cản thủy lực của áo hầm, nghĩa là  $\frac{h_a}{K_n n_n} = 0$ ; đối với các loại đá có hệ số thấm

nằm trong giới hạn:  $10^{-5} < K_T < 10^{-4}$  cm/s, trong các tính toán phải xét đến sức chống thấm của đá và của áo hầm; đối với các loại đá có  $K_t \geq 10^{-4}$  cm/s, trong các tính toán cho phép xét đến sức chống thấm của đá nghĩa là  $\frac{1}{K_t \phi} = 0$ , trong trường hợp này  $a_n \leq 0,2$  mm.

Phải tính toán trị số lưu lượng nước thấm trong trường hợp  $k_t \geq 10^{-4}$ ,  $Q_t > [Q_t]$  và độ kiềm hydrocacbonat của nước lớn hơn 0,8 mg đương lượng/lít khi  $I \leq 100$  có kể đến sự tự bịt kín của các khe nứt trong áo đường hầm.

Thời gian cần thiết để giảm hệ số thấm của các khe nứt trong hầm từ  $k_n$  đến  $k'_n$ , trong thời gian đó lưu lượng nước thấm từ đường hầm sẽ bằng  $[Q_t]$ , cho phép xác định theo đồ thị (Hình A.3)



Hình A.3 – Các đường cong tính toán về sự tự bịt kín của các khe nứt trong bê tông (các chữ số trên các đường cong biểu thị độ mở rộng của các khe nứt)

Trị số  $k_n$ , cm/s được xác định theo công thức :

$$k_n = \frac{[Q_t]}{n_n l} \quad (\text{A.29})$$

trong đó

l là gradien cột nước lấy theo những chỉ dẫn tại 6.5.9.

### Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] Tiêu chuẩn ngành thủy lợi nước Cộng hòa Dân chủ nhân dân Trung Hoa – Tiêu chuẩn thiết kế đường hầm thủy công SL 297-2002 ban hành năm 1994;
  - [2] Tiêu chuẩn ngành điện lực nước Cộng hòa Dân chủ nhân dân Trung Hoa – Tiêu chuẩn thiết kế đường hầm thủy công DL/T5195-2004 ban hành năm 2004;
  - [3] Tiêu chuẩn thiết kế đường hầm và tháp điều áp trong đá EM 1110-2-2901 do quân đội Mỹ ban hành năm 1997.
-