

## Chương 12 ĐƯỜNG HẦM THỦY CÔNG

### §1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐƯỜNG HẦM THỦY CÔNG

#### I. Khái niệm và phân loại

##### 1. Khái niệm và điều kiện xây dựng

- Đường hầm thủy công là công trình dẫn nước hoặc tháo nước kiểu kín đục xuyên qua đất đá.
- Đường hầm thủy công được xây dựng khi:
  - + Không có điều kiện tháo nước hoặc dẫn nước qua bản thân các công trình dâng nước;
  - + Khi xây dựng đường dẫn hở không kinh tế bằng xây dựng đường hầm;
  - + Nếu xây dựng kênh hở có thể bị phá hoại do sự sạt lở ở sườn núi hoặc có đá lăn;
  - + Tuyến dẫn nước qua nơi rừng núi rậm rạp, địa hình phức tạp.

##### 2. Phân loại

###### a. Phân theo mục đích sử dụng

- Đường hầm lấy và dẫn nước từ hồ chứa, sông ngòi phục vụ cho công nghiệp, đời sống, phát điện tưới ...hoặc là công trình trên kênh lợi nhất.
- Đường hầm tháo nước dùng để tháo lũ, dẫn dòng thi công, tháo nước cho trạm thủy điện ngầm...
- > Trong xây dựng nên kết hợp đường hầm sử dụng tạm thời lúc thi công với đường hầm sử dụng với mục đích lâu dài.

###### b. Theo chế độ thủy lực

- Đường hầm có áp, loại này được sử dụng khi :
  - + Mục nước thượng lưu thay đổi lớn.
  - + Yêu cầu dòng chảy phải có áp (lấy nước vào buồng xoắn trạm thủy điện).
  - + So sánh với việc xây dựng đường hầm không áp thấy có lợi hơn.
- Đường hầm không áp, loại này được sử dụng khi :
  - + Mục nước thượng và lưu lượng thay đổi ít.
  - + Yêu cầu dòng chảy phải không áp (đường hầm có yêu cầu giao thông thủy).
  - + So sánh với việc xây dựng đường hầm có áp thấy có lợi hơn.

**Lưu ý :** Trong thực tế xây dựng một số đường hầm, dọc theo chiều dài của nó từng đoạn có chế độ thủy lực khác nhau.

#### II. Hình dạng mặt cắt và điều kiện sử dụng

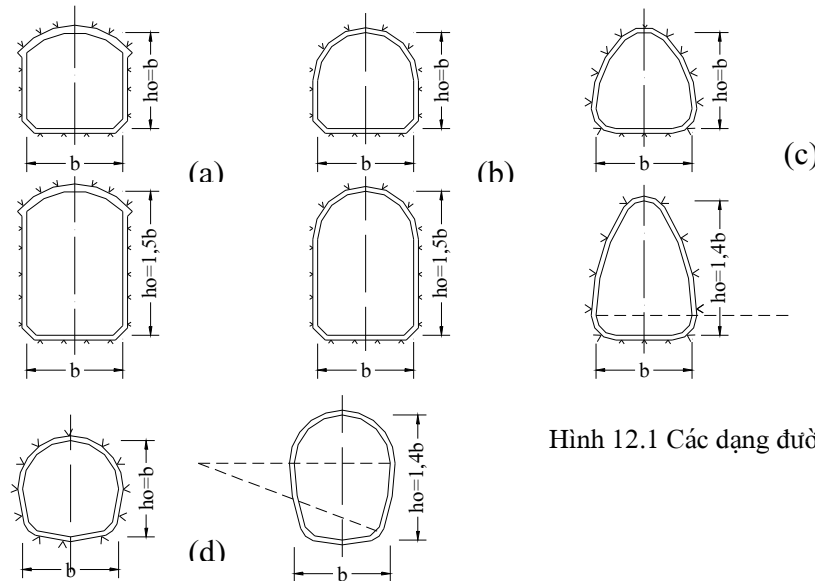
Khi chọn mặt cắt ngang của đường hầm phải dựa vào các điều kiện :

- + Điều kiện thủy lực : quyết định tiết diện mặt cắt.
- + Địa chất : điều kiện cơ bản quyết định hình thức mặt cắt.
- + Điều kiện thi công : phải khả thi trong thi công.

## 1. Các hình thức của mặt cắt đường hầm không áp

Lực chủ yếu là áp lực đá núi vì vậy phải căn cứ vào áp lực đá núi, tức hệ số kiên cố  $f_k$  của địa chất để chọn hình dạng mặt cắt.

- Mặt cắt có đỉnh bằng hoặc vòm thấp : dùng khi đá rắn chắc có hệ số kiên cố  $f_k \geq 8$ , không có áp lực đá núi (hình 12.1a).
- Mặt cắt có đỉnh là vòm nửa đường tròn : sử dụng khi  $4 < f_k < 8$ , chỉ có áp lực đá núi thẳng đứng (hình 12.1b).
- Mặt cắt có thành, vòm cong : sử dụng khi  $2 \leq f_k \leq 4$ , có áp lực đá núi theo phương thẳng đứng và phương ngang (hình 12.1c).
- Mặt cắt hình móng ngựa : sử dụng khi  $f_k < 2$ , có áp lực đá núi theo phương thẳng đứng, phương ngang và cả dưới lên (hình 12.1d).
- Mặt cắt hình tròn : dùng khi có tầng đá nằm nghiêng dọc theo tuyến đường hầm, áp lực đá núi không đối xứng qua đường trục thẳng đứng đi qua trung tâm mặt cắt ngang, áp lực nước ngầm rất lớn.



Hình 12.1 Các dạng đường hầm không áp

## 2. Các dạng mặt cắt đường hầm có áp

- Đối với đường hầm có áp người ta thường dùng mặt cắt hình tròn. Với loại này điều kiện dòng chảy tương đối tốt và có lợi cho việc chịu tác dụng của áp lực nước phân bố đều ở trong đường hầm.
- Khi cột nước áp lực kể từ trung tâm mặt cắt trở lên không vượt quá ba lần chiều cao của đường hầm, có thể dùng các hình thức mặt cắt đường hầm không áp nhưng phải tiến hành phân tích các điều kiện kinh tế kỹ thuật một cách đầy đủ.

### Lưu ý :

- Để bảo đảm điều kiện thi công thì :
  - + Chiều cao hầm  $\geq 1,85\text{m}$  đối với thi công thủ công và  $\geq 2,5\text{m}$  với thi công cơ giới.
  - + Chiều rộng hầm  $\geq 1,5\text{m}$  đối với thi công thủ công và  $\geq 2,5\text{m}$  với thi công cơ giới.

- Đối với đường hầm không áp, chiều sâu nước trong đường hầm không lớn hơn 85% chiều cao đường hầm và trong mọi trường hợp khoảng không trên mặt không bé hơn 0,4m.

### III. Tuyến của đường hầm

Khi sơ bộ chọn tuyến dựa vào các nhân tố ảnh hưởng : liên hệ với sự bố trí của công trình đầu mối, địa hình, địa chất, điều kiện làm việc về thủy lực, kết cấu, thi công. Khi chọn tuyến đưa ra nhiều phương án so sánh rồi chọn tuyến lợi nhất về kinh tế, kỹ thuật.

- Địa hình :tuyến đường hầm tốt nhất là phải thẳng, ngắn. Nếu địa hình không cho phép tuyến thẳng thì tuyến có thể là cong hoặc gãy khúc.
- Địa chất : tuyến cần tránh những đoạn không có lợi cho việc đào đường hầm như áp lực đá núi quá lớn, tầng nham thạch có mực nước ngầm cao, lưu lượng thấm lớn. Cần tránh khu vực không ổn định có khả năng bị trượt, không nên bố trí gần sát mặt đất đá thiên nhiên.
- Thủy lực : Do tốc độ dòng chảy trong đường hầm lớn nên thường dùng tuyến thẳng và phải đảm bảo một độ dốc nhất định. Nếu buộc chọn tuyến cong thì  $R \geq 5B$ , nếu tuyến gãy khúc thì góc gãy  $\geq 120^\circ$ . Nếu tốc độ dòng chảy  $\geq 10\text{m/s}$  thì ở đoạn cong phải được xác định bằng thực nghiệm, phần trước và sau đoạn cong cần làm hai đoạn thẳng có chiều dài không bé hơn  $10b$ .
- Về thi công : Yêu cầu đường hầm nên làm thẳng, phải xét đến vấn đề thải đất, thông gió khi xây dựng, nếu thi công bằng nổ mìn thì không ảnh hưởng đến công trình lân cận.
- Kết cấu : Nên đặt ở sâu dưới đá, chiều dày của tầng đá phía trên đường hầm phải lớn hơn 2-3 lần chiều rộng hầm.

## §2. LỰC TÁC DỤNG LÊN ĐƯỜNG HẦM

### I. Các lực tác dụng

1. Áp lực thủy tĩnh, thủy động.
2. Trọng lượng bản thân của lớp áo bọc đường hầm.
3. Áp lực đá núi thẳng đứng.
4. Áp lực bên của đất đá.
5. Phản lực nền.
6. Lực kháng đàn tính.
7. Áp lực nước ngầm.
8. Áp lực phụt vữa ép vào bên ngoài lớp áo bọc.
9. Lực sinh ra do co ngót của bê tông
10. Lực sinh ra do máy thi công.
11. Lực động đất.

Các lực từ 1-7 là tải trọng chủ động thường xuyên.

Các lực 7-10 là các lực phụ tạm thời.

Lực 11 là lực đặc biệt.

## II. Xác định áp lực đá núi theo GS M.M Pơrôtôđiacanốp

### 1. Sự hình thành áp lực đồi

Sau khi đào đường hầm, trạng thái ban đầu của đất đá bị phá vỡ. Lớp đất đá xung quanh đường hầm bị biến dạng gây ra lực tác dụng lên lớp áo bọc đường hầm, lực đó gọi là áp lực đá núi.

Áp lực đồi có ba thành phần :

- + Áp lực đồi theo phương thẳng đứng tác dụng lên đỉnh hầm.
- + Áp lực đồi tác dụng theo phương ngang : áp lực tác dụng lên thành đường hầm.
- + Phản lực nền tác dụng lên đáy đường hầm.

Trị số áp lực đồi phụ thuộc vào :

- + Cấu tạo, tính chất cơ lý của đất đá.
- + Độ sâu đặt đường hầm.
- + Phương pháp thi công.

### 2. Các quan niệm tính toán áp lực đồi

Hiện nay có nhiều quan điểm khác nhau để tính toán áp lực đồi dựa trên những cơ sở lý thuyết khác nhau. Các lý thuyết tính toán áp lực đồi có thể chia làm các nhóm sau :

- Xem áp lực đất phân bố như áp lực thủy tĩnh, chỉ tương đối chính xác trong trường hợp đường hầm ở vị trí nông trong các tầng đất đá có tính chảy hoặc các tầng đá vụn nát.
- Giả thiết môi trường đất đá xung quanh là liên tục, đồng nhất, đẳng hướng và đàn hồi. Dựa trên cơ sở lý thuyết đàn hồi để tính. Nhưng trong thực tế đất đá không phải là môi trường đàn hồi đồng nhất đẳng hướng nên phương pháp này không có ý nghĩa thực tế.
- Phương pháp quan trắc thực địa, được ứng dụng rộng rãi hiện nay (công nghệ NATM, được ứng dụng ở đường hầm Hải Vân).
- Phương pháp của giáo sư M.M Pơrôtôđiacanốp đề xuất năm 1903.

### 3. Tính toán áp lực đồi theo phương pháp Pơtôđiacônốp

#### a. Các giả thiết

- Giả thiết 1

Xem đất đá là môi trường rời và dùng công thức vật thể rời để tính toán.

- + Đất đá trong thực tế có tính dính, cho nên có cường độ chống cắt là :

$$\tau = \sigma \cdot f + c \quad (1)$$

- + Nếu xem đất đá là môi trường rời với hệ số kiên cố là  $f_k$  thì :

$$\tau = \sigma \cdot f_k \quad (2)$$

Nếu ta giả thiết môi trường đất đá là rời thì :

$$\sigma \cdot f + c = \sigma \cdot f_k$$

$$\Rightarrow f_k = f + \frac{c}{\sigma}$$

Với  $f_k = \frac{1}{100} R$  ( $R$  - cường độ chịu nén giới hạn của đá tự nhiên)

Lúc đó ta sẽ đưa về môi trường rời với góc ma sát trong là :

$$\varphi_k = \arctg(f + \frac{c}{\sigma}) = \arctg(f_k)$$

- Giả thiết 2.

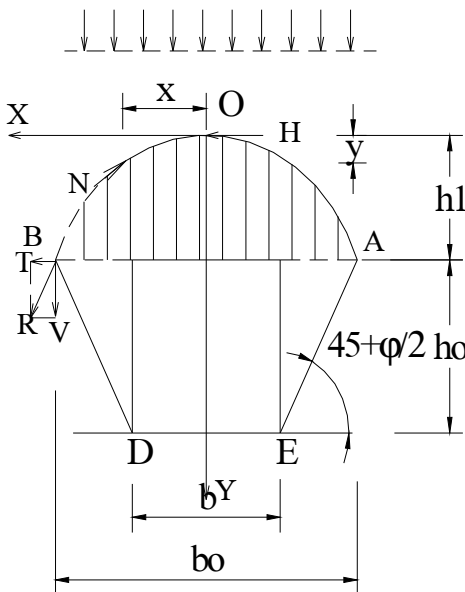
Với môi trường qui ước đất đá rời, sau khi đào đường hầm đất đá trên đỉnh rơi xuống do mất ổn định, sau đó phần đất đá hai bên sườn bị phá hoại và trượt xuống, đến một lúc nào đó dừng lại tạo thành dạng vòm cân bằng tự nhiên. Giới hạn mặt phá hoại ở hai bên vách đường hầm tạo với phương ngang một góc  $(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$

**Nhận xét :**

- Áp lực đòi tác dụng lên đỉnh đường hầm không phải là toàn bộ trọng lượng phần đất đá ở phía trên mà chỉ là phần đất đá nằm ở phạm vi dưới vòm cân bằng tự nhiên.
- Để xác định áp lực đòi cần phải xác định kích thước vòm cân bằng tự nhiên.

### b. Xác định vòm cân bằng tự nhiên

- Do vòm đối xứng nên ta chỉ xét một nửa vòm.
- Do đường hầm nằm sâu nên có thể xem áp lực tác dụng lên đỉnh vòm là phân bố đều với cường độ :  $q = \gamma_1 h$
- Gắn hệ trục toạ độ như hình vẽ
- Vòm cấu tạo bằng vật thể rời nên tại mỗi điểm trên cung AOB chỉ có ứng suất nén không có ứng suất kéo và mômen uốn.



Hình 12.2  
Sơ đồ tính  
áp lực đòi

- Xét cân bằng cung ON, thay phần tác dụng của đoạn cung OA và NB bằng hai lực H và N có hướng tiếp tuyến với vòm tại O và N, ta có

$$\Sigma M_{(N)} = H.y - \frac{q.x^2}{2} = 0$$

$$\Rightarrow y = \frac{q \cdot x^2}{2H} \quad (3)$$

Như vậy vòm cân bằng tự nhiên AOB là một parabol

- Lực V tại chân vòm gây ra lực ma sát:

$$T = V \cdot f_k = f_k \cdot \frac{qb_0}{2}$$

- Để an toàn lực ma sát phải lớn hơn hoặc bằng lực đẩy, tức  $f_k \cdot V \geq T$ . Để an toàn ta lấy :

$$T = 0,5 \cdot f_k \cdot V \quad \text{hay} \quad T = \frac{1}{4} qb_0 \cdot f_k$$

- Thay  $H=T = \frac{1}{4} qb_0 \cdot f_k$  vào (3) ta được :

$$y = \frac{2x^2}{b_0 f_k} \quad (*)$$

- Phương trình (\*) để xác định vòm cân bằng tự nhiên, để xác định trị số chiều cao của đỉnh vòm ta thay  $x=0,5b_0$  vào phương trình (\*) ta được chiều cao vòm là  $h_1 = \frac{b_0}{2f_k}$ .

### c. Xác định áp lực đôi

#### - Xác định lực tác dụng lên đỉnh vòm

Tổng áp lực đôi thẳng đứng tác dụng lên đường hầm bằng trọng lượng khối đất giới hạn dưới vòm cung AOB :

$$Q = \gamma_1 \omega = \gamma_1 \frac{b_0^2}{3f_k} \quad \omega = \frac{2}{3} b_0 \cdot h_1$$

Suy ra trị số áp lực đôi phân bố đều trên đỉnh đường hầm tính bằng :

$$q = \frac{Q}{b} = \gamma_1 \frac{b_0}{3f_k}$$

Để tăng tính an toàn trong tính toán có thể lấy :

$$q = \gamma_1 \frac{b}{2f_k}$$

**Lưu ý :** Trong trường hợp nếu đỉnh hầm có dạng hình tròn thì trị số áp lực đôi có thể lấy bằng  $q_1 = 0,7q$ .

#### - Xác định áp lực đôi hướng ngang

Áp lực đôi hướng ngang xác định trên cơ sở lý luận môi trường rời tác dụng lên tường, với góc ma sát trong bằng góc kháng trượt  $\varphi = \arctg(f_k)$ .

$$\text{Trị số áp suất tại đỉnh hầm: } e' = \gamma_1 \cdot h_1 \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

$$\text{Trị số áp suất tại chân hầm: } e'' = \gamma_1 \cdot (h_1 + h_0) \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

### Nhận xét:

- Phương pháp Pôtdiacônốp không xét đến ảnh hưởng của độ sâu vị trí đặt đường hầm so với bề mặt và ảnh hưởng tương tác khi các đường hầm đặt gần nhau, đặc biệt là cấu trúc địa chất...
- Khi đường hầm đặt rất sâu (hơn 500m) phương pháp này không thích hợp.
- Sơ đồ trên được phân tích trong trường hợp có cả thành phần áp lực đá núi thẳng đứng và nằm ngang, trong thực tế tùy tình hình địa chất mà có thể không có, có không đủ hoặc có đủ các thành phần.

### 4. Phản lực nền

Trong thực tế tính toán tùy theo tình hình cụ thể về tính chất tầng đá (được thể hiện bằng hệ số  $f_k$ ) đường hầm đi qua mà tại đó có phản lực nền hay không.

#### - Đối với đường hầm tròn

Do áo bọc đường hầm là kết cấu cứng nên áp lực đất được truyền xuống đáy cho nên xuất hiện phản lực nền tác dụng lên áo bọc. Sự phân bố phản lực phụ thuộc hình dạng đường hầm và tính chất cơ lý của nền.

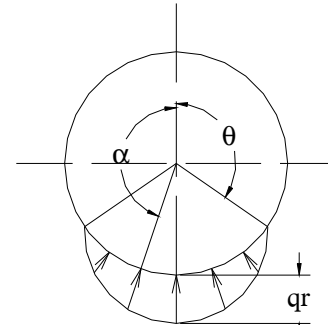
Đối với đất đá yếu với đường hầm có tiết diện tròn phản lực nền được tính như sau :

$$q_\alpha = q_r \cdot \cos(\pi - \alpha)$$

$$\text{Hoặc : } q_\alpha = q_r \cdot \frac{\cos\theta - \cos\alpha}{1 + \cos\theta}$$

$$q_r = \frac{P}{\pi - \theta + \sin\theta \cdot \cos\theta}$$

P : ngoại lực tác dụng lên đường hầm.



#### - Đối với đường hầm chữ nhật

Theo Tximbarovich áp lực nền sẽ là :

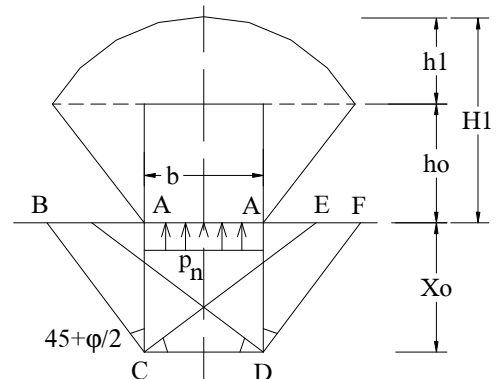
$$q_n = \frac{N}{b} = \frac{D_0}{b} \cdot \text{tg}(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2})$$

$$D_0 = R_0 - Q_0$$

$$R_0 = \frac{\gamma_l}{2} (X_0^2 + 2X_0 \cdot H_1) \cdot \text{tg}(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2})$$

$$Q_0 = \frac{\gamma_l}{2} X_0^2 \cdot \text{tg}(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2})$$

$$X_0 = H_1 \frac{\text{tg}^4(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2})}{1 - \text{tg}^4(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2})}, \quad H_1 = h_0 + h$$



$R_0$  : áp lực chủ động (lãng thể trượt ABC)

$Q_0$  : áp lực bị động (lãng thể đẩy ACE)

$X_0$  : chiều sâu ảnh hưởng của áp lực chủ động.

## 5. Lực kháng đàn tính

Dưới tác dụng của phản lực nền và áp lực đối làm cho áo đường hầm biến dạng ra hai bên, do đó đất đá hai bên xuất hiện áp lực đàn hồi chống lại.

Theo Burdózga đối với đường hầm tiết diện tròn, áp lực đàn hồi xuất hiện trên mặt ngoài áo bọc, nơi có hiện tượng áo bọc biến dạng về phía đất đá. Áp lực đàn hồi tác dụng thẳng góc và có hướng áp vào áo bọc.

Trong trường hợp tải trọng thẳng đứng tác dụng hoàn toàn đối xứng. Đường biểu đồ phân bố áp lực đàn hồi xác định theo công thức :

$$p_{\alpha} = k \cdot \delta = p_n \cdot \frac{\sin \alpha - \sin \theta_0}{1 - \sin \theta_0} \quad \text{khi } \theta_0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$$

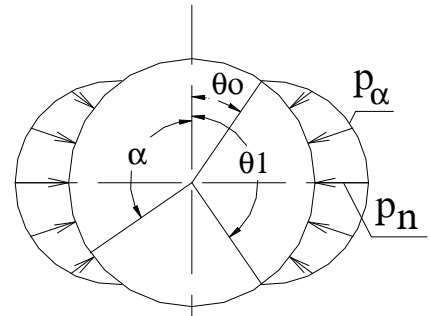
$$p_{\alpha} = k \cdot \delta = p_n \cdot \frac{\sin \alpha - \sin \theta_1}{1 - \sin \theta_1} \quad \text{khi } \frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \theta_1$$

Có thể lấy  $\theta_0 = 30^\circ \div 50^\circ$  ,  $\theta_1 = 130^\circ \div 150^\circ$

$k$  : hệ số áp lực đàn hồi

$p_{\alpha}$  : áp lực đàn hồi tại điểm xét ứng với góc  $\alpha$

$p_n$  : áp lực đàn hồi tại mặt cắt trực ngang của đường hầm.



Hình 12.3 lực kháng đàn tính

## §3. LỚP ÁO BỌC ĐƯỜNG HẦM

### I. Cấu tạo lớp áo bọc đường hầm

Hầu hết mọi đường hầm thuỷ lợi đều phải có lớp áo bọc nhằm mục đích chống áp lực bên ngoài (áp lực đối, động đất, nước ngầm...) và chịu áp lực nước bên trong. Đồng thời cải thiện một số điều kiện thuỷ lực như giảm hệ số nhám, chống thấm. Tuy nhiên cũng có trường hợp đường hầm không có áo bọc.

#### 1. Đường hầm không áp

a. Lớp lót trơn : Khi đường hầm đào qua tầng đất rất cứng ( $f_k > 10$ ), không có áp lực đối, lớp áo bọc chỉ nhằm mục đích giảm hệ số nhám thì chỉ xây lớp áo bọc trong giới hạn mặt cắt ướt hoặc chiếm toàn bộ đường hầm. Chiều dày lớp áo bọc 12-20cm không cần cốt thép.

b. Lớp lót bê tông : Khi áo bọc nhằm chống thấm và áp lực đối tương đối nhỏ hoặc trung bình. Có thể xây áo bọc trên toàn chu vi ướt hoặc chỉ ở đỉnh vòm còn thành bên và đáy có thể trát vữa xi măng. Chiều dày lớp áo bọc không quá 20cm.

c. Lớp lót bê tông cốt thép : Khi áo bọc chịu áp lực đối lớn ta dùng áo bọc BTCT, áo bọc có thể chỉ bố trí ở đỉnh vòm hoặc toàn bộ áo bọc.

#### 2. Đường hầm có áp



a. Lớp lót trơn : dùng cho nơi đá rắn chắc ( $f_k > 14$ ).

b. Lớp lót gia cố chỉnh thể đơn

Khi cột nước không lớn lắm ( $H < 60\text{m}$ ), đá tương đối rắn chắc, áp lực đá không lớn và lực kháng đàn tính đảm bảo; và khi  $H > 60\text{m}$  nhưng hệ số lực kháng đàn tính đơn vị của đá vào khoảng  $10^{10}\text{N/m}^2$ . Thì nên làm lớp lót đơn bằng bê tông.

Với đường hầm có cột nước trung bình ( $H = 30\text{--}60\text{m}$ ) hoặc cao ( $H > 60\text{m}$ ) có thể dùng hình thức lớp lót bằng BTCT.

c. Lớp lót gia cố kép : Vòng ngoài có thể làm bằng BT hoặc BTCT, vòng trong bằng xi măng lưới thép hoặc bằng thép. Loại này dùng cho đường hầm có đường kính lớn, áp lực đá núi lớn và áp lực nước bên trong đường hầm lớn.

### Lưu ý :

- Áo bọc BTCT có thể dùng hình thức đổ tại chỗ, hoặc hình thức lắp ghép.
- Để giảm nhỏ hệ số nhám và nâng cao tính chống thấm cần trát một lớp vữa chất lượng cao mặt trong lớp áo bọc.
- Trong nhiều trường hợp áo bọc cần có các khe nối ngang và dọc. Khoảng cách các khe nối ngang chừng 6-8m, tại khe nối cốt thép hai khối liên kết với nhau.
- Khi tuyến đường hầm qua vùng nước ngầm cần bố trí vật thoát nước (dọc, ngang). Nếu nước ngầm có tác dụng xâm thực áo bọc thì cần xây dựng thêm lớp chống thấm ngoài.
- Sau khi xây dựng xong cần thiết phải khoan và phụt vữa xi măng vào khe rỗng giữa lớp áo và đường hầm nhằm đảm bảo tính đàn hồi tương hỗ để giảm sự biến dạng của áo bọc, đảm bảo sự phân bố đều của áp lực đất và chống nước ngầm.

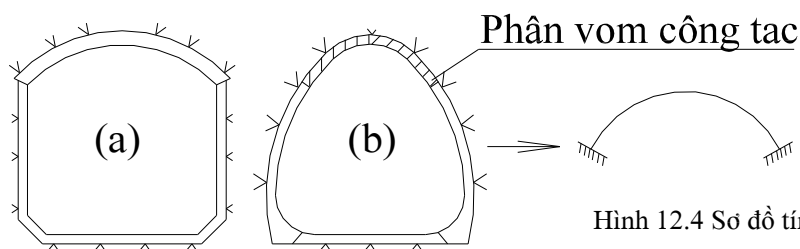
## II. Tính toán lớp áo bọc đường hầm

### 1. Đường hầm không áp

#### a. Tính toán theo sơ đồ vòm thấp

Tính toán theo sơ đồ vòm thấp, vòm ngầm chịt đàn hồi vào đá với các dạng hầm sau :

- Hầm như hình 12.4a.
- Hầm như hình 12.4b (chiều dày lớp lót không đổi và không có áp lực đá núi bên) -> chỉ có thể coi chỉ có một phần đỉnh vòm là vòm công tác.

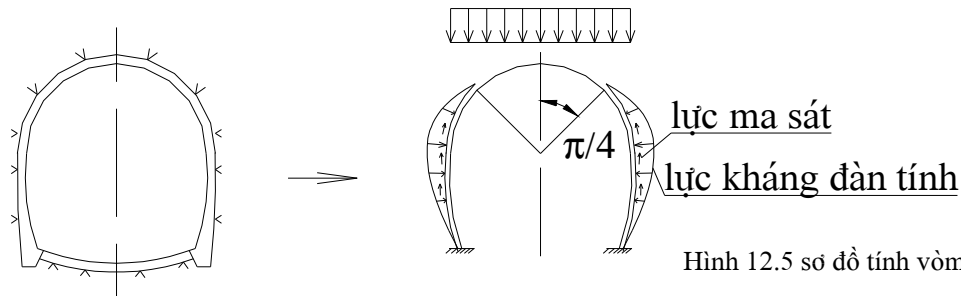


Hình 12.4 Sơ đồ tính vòm thấp

#### b. Tính toán vòm cao

Tính toán theo sơ đồ vòm cao như đường hầm ở hình hình 12.5.

Khi tính toán không xét tác dụng của bản đáy, chân vòm được ngàm chặt đàn hồi vào đá. Hai điểm ở chân vòm chỉ có chuyển vị góc không có chuyển vị thẳng, do đó lực kháng đàn tính ở điểm này bằng 0, giả thiết lực kháng đàn tính tác dụng lên vòm theo qui luật parabol.

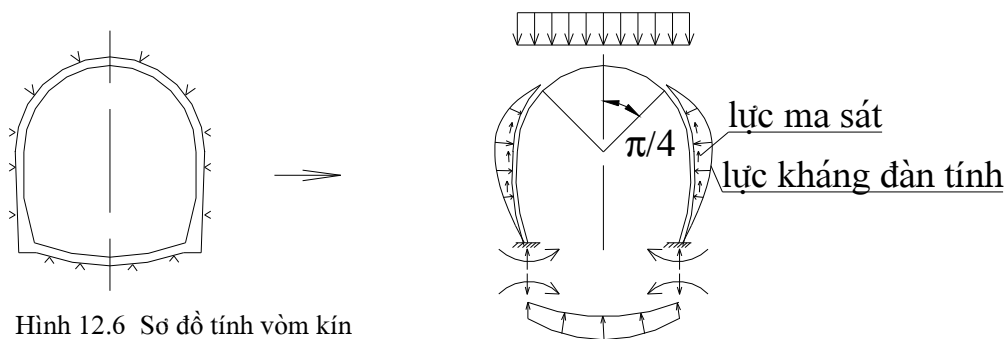


Hình 12.5 sơ đồ tính vòm cao

### c. Tính toán vòm kín

Trong tầng đất đá tương đối mềm yếu thường xây lớp lót thành một khối chỉnh thể trên toàn bộ chu vi của mặt cắt đường hầm (hình 12.6). Trường hợp này ta tính toán theo sơ đồ vòm kín trên nền đàn hồi (thực tế tính toán theo một vòm cao và một vòm ngược ghép lại mà thành)

Nếu thi công phần vòm cao phía trên trước, một thời gian sau mới thi công phần vòm ở đáy thì trọng lượng bản thân và áp lực đất do phần vòm cao chịu.



Hình 12.6 Sơ đồ tính vòm kín

### d. Tính kết cấu tường bên của lớp lót đường hầm

Đối với đường hầm không áp có lớp lót theo kiểu tường bên thẳng đứng, ta không dùng phương pháp vòm cao để tính toán, mà dùng lý thuyết đàn hồi có xét đến ảnh hưởng của môi trường đàn hồi của đá núi để tính toán.

Khi tính toán coi lớp lót và môi trường đàn hồi của đá núi cùng chịu được sự tác dụng của các lực. Tường bên được tính toán theo rầm trên nền đàn hồi. Lúc tính toán thay tác dụng của tầng đàn hồi sau và dưới chân tường bằng các kết cấu thanh.