

## 2. Phương pháp thi công hầm mới của Áo Neue Östereichische Tunnelbaumethode -NÖT New Austrian Tunneling Method - NATM

### 2.1 Khái quát

Trong những thập kỷ 50, 60 của thế kỷ 20, các quan điểm mới trong xây dựng công trình ngầm được nêu ra và trao đổi mạnh mẽ. Cơ sở của các quan điểm mới này một mặt là dựa trên những nhận thức về yếu tố thời gian thường gặp trong quá trình xây dựng công trình ngầm, theo các luận điểm đã được Rabcewicz (1944) phân tích; mặt khác dựa trên những suy luận về những tác động tương hỗ tích cực, thụ động giữa khối đá và kết cấu chống hay tổng quát hơn là kết cấu công trình ngầm, được nhiều tác giả phân tích, minh chứng định tính như Pacher (1964), Rabcewicz (1963, 1965, 1969), sau đó là định lượng như Egger (1973). Đồng thời các công trình của Sonderegger (1956) cũng như của tác giả Brunner (1955), người từng tham gia thi công nhiều công trình ngầm thành công, đặc biệt là của Rabcewicz (1961), đã phân tích tỷ mỉ về việc bảo vệ khoảng trống sau khi đào bằng bê tông phun. Theo các tác giả này, với bê tông phun có thể trám bít nhanh và có hiệu quả các khoảng trống mới đào ra, như đã được các thể hệ trước nhận xét và lưu ý như Heim (1905), Rothpeletz (1918), Maillart (1923), Andrea (1925, 1926).

Sự tổng hợp ba vấn đề, bao gồm hai vấn đề mang tính lý thuyết cùng với những nhận thức thực tế, cụ thể là: ảnh hưởng của yếu tố thời gian, tác dụng tương hỗ giữa khối đá và kết cấu công trình và khả năng trám bít bề mặt khoảng trống, đã dẫn đến sự hình thành một „cách“ mới trong xây dựng công trình ngầm. Trên cơ sở đó Rabcewicz (1963) đã đưa ra khái niệm mới, được nhiều người cho là có ý nghĩa lịch sử, đó là '**Phương pháp thi công hầm mới của Áo**' trong báo cáo của mình. Đương nhiên, phương pháp (đúng nghĩa hiểu theo tiếng Áo là *phương thức*) đào hầm mới này, đã chú ý đến các kinh nghiệm, các nghiên cứu về áp lực đất/đá cũng như mối liên quan giữa áp lực đất/đá với công nghệ thi công, với các vấn đề về địa cơ học và phương thức thi công, đã được nhiều nhà khoa học, các chuyên gia thực tế đúc rút và tổng hợp, như Bierbaumer, Örlay, Rabcewicz, Stini, Terzaghi và Tschernig.

Bê tông phun là yếu tố bảo vệ cơ bản của phương pháp thi công hầm mới của Áo đã khẳng định tính kinh tế rất rõ ràng. Phương pháp thi công này, theo đăng kí bản quyền của Rabcewicz có các đặc điểm cơ bản sau:

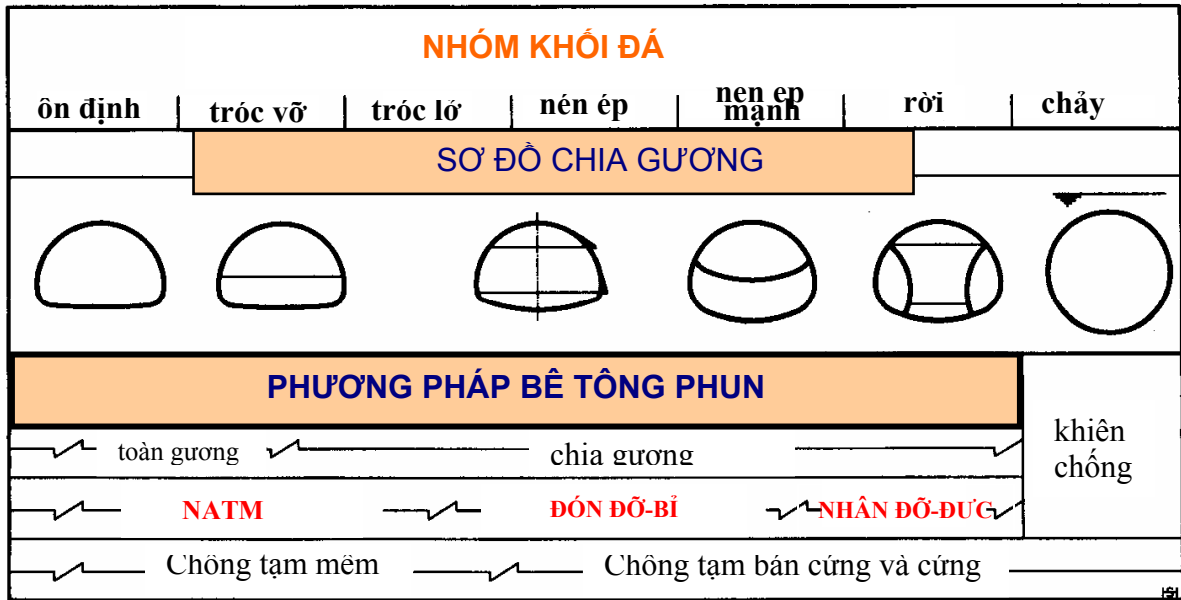
*Rabecwicz, L.v.: Patentschrift. Österreichisches Paten Nr.165573 (1948).*

*Rabecwicz, L.v.: Gebirgsdruck und Tunnelbau. Wien 1944.*

- *Phương pháp thi công hầm mới của Áo quan tâm chủ yếu đến ba loại kết cấu cơ bản là: bê tông phun, neo và khung thép hình hoặc khung thép hàn tổ hợp, được sử dụng riêng rẽ hoặc phối hợp.*
- *Nhờ có lớp vỏ mỏng bê tông phun nên hiện tượng dịch chuyển, tơi ròi của khối đá được hạn chế căn bản và quá trình biến đổi cơ học được lan rộng vào trong khối đá, qua đó hình thành một “vành chịu tải” trong khối đá.*
- *Kết cấu chống được xây dựng sau đó chỉ phải tiếp nhận tải trọng tác dụng nhỏ vì vậy có thể thiết kế với kích thước nhỏ hơn.*
- *Đo đạc biến dạng, dịch chuyển của khối đá kết hợp với thi công nhanh kết cấu nền hay vòm ngược phía nền, tạo cơ sở cho các quyết định, nhận định về tính toán và thi công.*

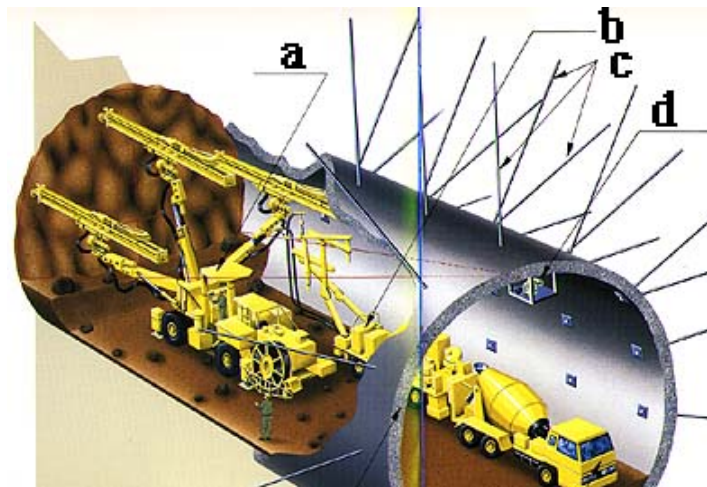
Như vậy, cốt lõi của ‘phương pháp thi công hầm mới của Áo’ chính là sử dụng bê tông phun làm kết cấu chống tạm, hay bảo vệ, nhanh, kịp thời. Cũng vì vậy, nhiều nhà khoa học và thực tế khác của Châu Âu quan niệm rằng phương pháp thi công hầm mới của Áo chỉ là một dạng của ‘phương pháp-hay phương thức bê tông phun’, đã được nhiều nơi sử dụng. Mặt khác ngoài bê tông phun, các kết cấu chống tạm hay bảo vệ khác cũng được sử dụng độc lập hay phối hợp như neo, khung thép, cọc, ván...; các sơ đồ thi công được xây dựng trên cơ sở các sơ đồ thi công kinh điển, do vậy ở Châu Âu, phạm vi áp dụng được coi là ‘phương pháp thi công hầm mới của Áo’ cũng được giới hạn lại (hình 2-1), cụ thể là trong phạm vi khối đá từ ổn định đến tróc lở. Khi khối đá có các biểu hiện tróc lở mạnh đến có áp lực mạnh, phương pháp thi công được thực hiện theo nguyên tắc đón đỡ, hay theo **phương pháp thi công hầm của Bỉ**. Khi biểu hiện của khối đá thuộc các nhóm từ áp lực mạnh đến dạng tơi ròi, có biểu hiện chảy, thì phương pháp thi công hợp lý là phương pháp chia gương có nhân đỡ (đào các đường lò hay đường hầm hai bên hông trước rồi đào phía nóc sau), còn được gọi là **phương pháp thi công (có nhân đỡ) của Đức**. Các phương pháp đó đã được coi là các phương pháp cổ điển, tùy theo sơ đồ đào và sơ đồ thi công.

Tuy nhiên, mặc dù bê tông phun với vai trò làm chức năng bảo vệ đã được sử dụng rất sớm, song lần đầu tiên đã được các chuyên gia Áo phân tích kỹ và xây dựng thành phương pháp, do vậy trên thế giới phương pháp thi công hầm mới của Áo đã được áp dụng rộng rãi và quen biết với khái niệm NATM (New Austrian Tunneling Method).



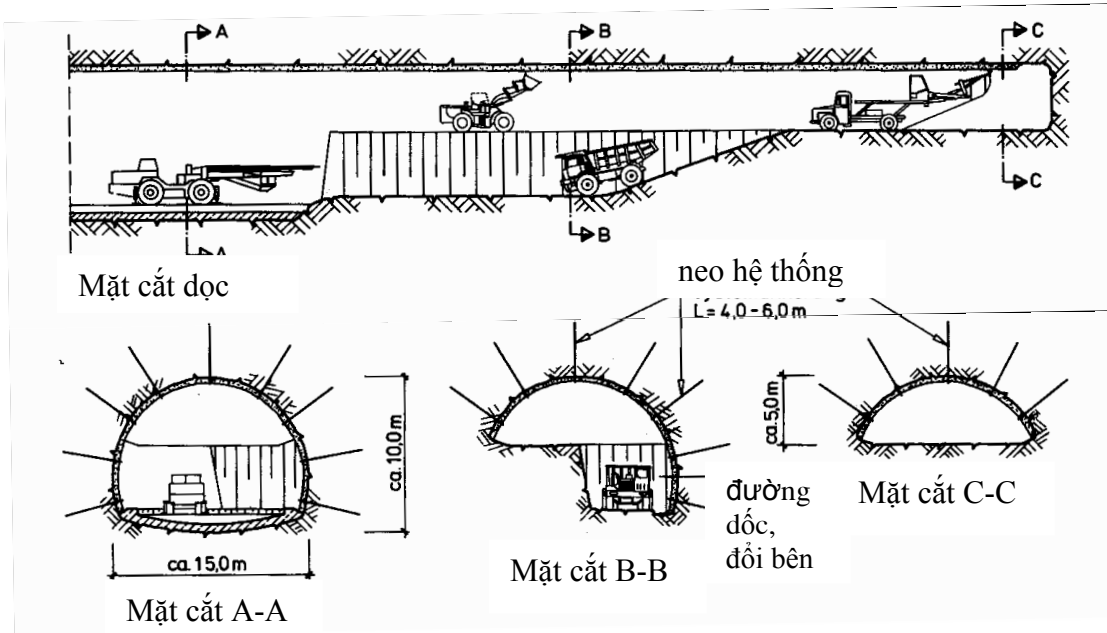
Hình 2-1.

Trong thực tế có nhiều tác giả nêu các quan điểm nghi ngờ về NATM, như MUIR, WOOD (1973) hay KOVARI (1993), song cho đến nay NATM được áp dụng và thành công tại nhiều nước trên thế giới. Hình ảnh về NATM, đào bằng phương pháp khoan-nổ mìn, được thể hiện tổng thể như trên hình 2-2 tại Nhật .

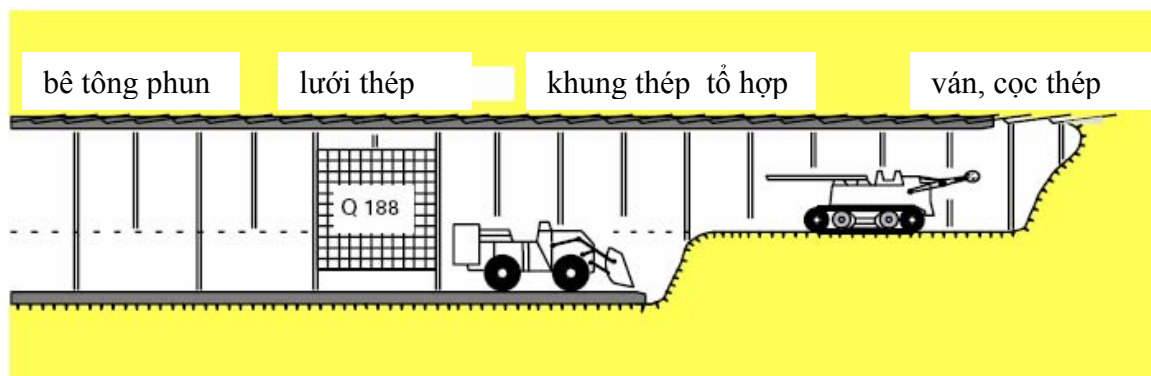


Hình 2-2.

Hình 2-3 là ví dụ về một sơ đồ thi công bằng NATM trong đá rắn cứng, sử dụng kết cấu chống tạm là bê tông phun và neo, theo sơ đồ hạ bậc có vòm nền. Hình 2-4 là sơ đồ thi công trong đá bở ròi (đất), cho thấy sự khác nhau, mặc dù cũng sử dụng bê tông phun. Ở đây, để bảo vệ phải sử dụng ván thép (cọc thép) tạo vòm hay ô bảo vệ trước khi đào tiến gương.



Hình 2-3.



Hình 2-4. Thi công trong khối đá bở ròi, sử dụng ván thép tạo ô bảo vệ

Để hiểu được bản chất lý luận của NATM, Mueller đã tổng hợp thành 21 nguyên lý cơ bản của NATM, cụ thể là:

*(Mueller, L.: Der Felsbau. 3Bd: Tunnelbau Stuttgart. Ferdinand Enke Verlag 1978.)*

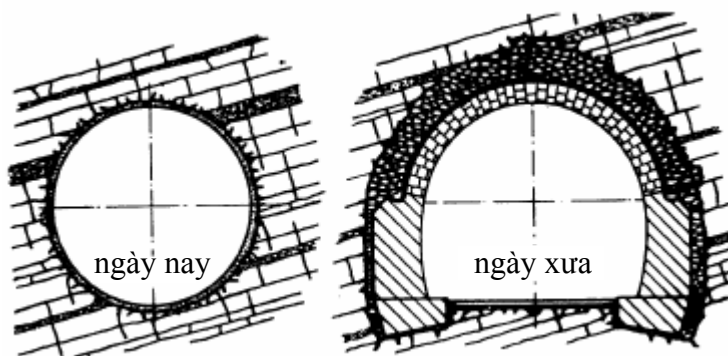
1. Bộ phận chịu tải chính của kết cấu công trình ngầm là khối đá.
2. Để cho khối đá có thể tiếp nhận được các tác động do quá trình biến đổi vật chất, cơ học (phân bố lại ứng suất) do thi công xây dựng công trình ngầm, cần thiết phải giữ gìn (bảo dưỡng) khối đá ở trạng thái không mất đi độ bền nguyên thủy (ban đầu) (hoặc chỉ suy giảm ở mức độ nhỏ tối thiểu).
3. Vì khối đá tiếp nhận biến dạng giảm tải (dãn nở) kém hơn là khi chất tải thêm (nén ép), cho nên cần thiết phải loại trừ các trạng thái ứng suất hai trục và đơn trục.
4. Phù hợp với các yêu cầu trên, nên các thành phần biến dạng của khối đá một mặt chỉ được phép phát triển ở chừng mực sao cho các phản ứng chống lại trạng thái biến dạng ở khu vực xung quanh công trình ngầm được huy động, để hình thành “vùng bảo vệ” quanh khoảng trống và ngăn chặn dịch chuyển (không đồng nhất) của khối đá về phía khoảng trống. Mặt khác dịch chuyển của khối đá cần phải được hạn chế ở mức giới hạn sao cho cường độ và mức độ phát triển của nó không hình thành vùng toi ròi do quá tải và nhờ vậy không gây ra giảm bền và tổn hại đến khả năng chịu tải.
5. Để đạt được mục tiêu này thì kết cấu bảo vệ và chống giữ tạm được sử dụng. Chức năng của nó là phải điều chỉnh biến dạng của khối đá thông qua sự hình thành phản lực trong kết cấu hoặc phát triển kháng lực tích cực theo ý nghĩa trên. Nó không phải tiếp nhận những gì do khối đá giảm bền gây nên, mà cơ bản là có nhiệm vụ đảm bảo giữ khối đá ở trạng thái có khả năng mang tải, chống lại hiện tượng toi ròi và giảm bền.
6. Để đáp ứng mục tiêu này một cách tối ưu, kết cấu chống cần được “lắp dựng” đúng thời điểm, nghĩa là không phải là nhanh nhất như có thể, mà là không quá sớm và cũng không quá muộn, nhằm tạo ra các tác động thuận lợi. Thời gian cần có để khối đá biến dạng được lựa chọn và tận dụng sao cho phản lực của kết cấu chống đủ phát triển trước khi xuất hiện hiện tượng giảm bền, nhưng vẫn hỗ trợ sự hình thành vùng bảo vệ.
7. Để đạt được điều đó phải chú ý đến yếu tố thời gian, đặc thù của từng loại khối đá và phải có các nhận định, đánh giá đúng đắn theo đặc điểm này.
8. Phục vụ nguyên lý trên một mặt là các thí nghiệm trước đó trong khối đá và mặt khác là công tác đo dịch chuyển và biến dạng trong quá trình thi công.

9. Để bảo vệ khối đá, cơ bản là sử dụng bê tông phun do khả năng đảm bảo liên kết cần thiết và đều khắp cũng như phản ứng tác dụng tăng theo thời gian, thường kết hợp với neo và lưới bảo vệ, cũng như với khung thép. Nó không hoạt động theo ý nghĩa của một vỏ vòm mang tải, mà cơ bản như là một bộ phận liên kết chốt giữ trong một kết cấu tổng thể bao gồm *bê tông, thép và khối đá*. Trong nhiều loại khối đá chỉ cần sử dụng các hệ thống bảo vệ riêng rẽ như bê tông phun với khung chống, có hoặc không có neo, không có khung chống cũng như riêng bê tông phun, neo.
10. Vỏ bê tông phun rất thích ứng về chức năng tĩnh học, không chú ý đến sự liên kết với khối đá, nhờ các tính chất biến dạng và tính chất bền của nó trong tổng thể kết cấu được lắp dựng, ở dạng vỏ mỏng dễ uốn. Sự suy giảm của ứng suất uốn, trong trạng thái biến dạng đầu tiên huy động phản lực của vỏ chống, được hình thành nhờ biểu hiện dẻo cũng như từ biến của vỏ và hỗn hợp thích hợp của bê tông phun.
11. Tương ứng với quan điểm xem công trình ngầm như là một ống dày, phần kết cấu nền được lắp ghép vào thời điểm đòi hỏi vỏ bê tông phun phải nhận tải theo chức năng tĩnh học.
12. Lớp vỏ ngoài (trong trường hợp nhất định cấu thành với kết cấu neo) có thể được xem là bộ phận của kết cấu tổng thể, chừng nào chúng không bị phá huỷ do ăn mòn hoặc đòi hỏi phải bảo vệ chống ăn mòn.
13. Khoảng thời gian xảy ra các quá trình đó được gọi là thời gian khép liên kết cấu nền là yếu tố cơ bản trong thi công và trong những điều kiện địa chất phức tạp cho việc phân tích (dự đoán nhờ vào những thử nghiệm trước khi tiến hành thi công và được kiểm chứng và điều chỉnh nhờ kết quả đo đạc trong quá trình thi công).
14. Hình dạng của đường hầm phải chú ý đến việc xem kết cấu là một ống kín về mặt tĩnh học, do vậy ưu tiên sử dụng tiết diện tron chu - hình tròn hay hình ôvan, loại trừ tập trung ứng suất như khi có các góc. Do vậy không mở rộng vai vòm và không sử dụng kết cấu đế móng rộng.
15. Để hạn chế số lượt các quá trình phân bố lại ứng suất và sự giao cắt của các “vỏ bảo vệ”, nên cố gắng thi công đào với ít công đoạn và ưu tiên đào toàn tiết diện hoặc thi công toàn tiết diện với phần vòm tiến trước.
16. Để tăng cường mức độ an toàn và để lắp dựng một lớp ngăn cách nước cần có một lớp vỏ thứ hai cũng đủ mảnh, liên kết nhờ chịu tải (không bằng liên kết ma sát hoặc chịu cắt (chống trượt)) và không chịu ứng suất uốn.
17. Lớp vỏ trong và vỏ ngoài được tăng cường nhờ đặt cốt, khung thép hình vòm hoặc đặt cốt cho lớp bê tông phun. Trong nhiều trường hợp cũng thực hiện bằng cách tăng mật độ và chiều dài neo.

18. Khi có nhận định phải tăng tính ổn định hoặc độ ổn định cho kết cấu tổng thể, thì cần thiết phải tăng cường hoặc giảm chiều dài, chiều dày của kết cấu được khẳng định; việc phân tích dựa vào kết quả đo dịch chuyển và hội tụ của công trình.
19. Để xác định kích thước của lớp vỏ ngoài phải tiến hành đo ứng suất trong bê tông và ứng suất tiếp xúc giữa lớp vỏ và khối đá.
20. Nếu lớp ngoài đã được tính toán đủ khỏe thì lớp trong được thiết kế với vai trò dự trữ bền. Còn nếu lớp ngoài có cấu tạo yếu hoặc phải tính đến khả năng bị han rỉ trong quá trình sử dụng thì lớp trong được tính toán không chỉ để đảm bảo dự trữ bền mà phải có chức năng đảm bảo ổn định cả hệ thống.
21. Để chống lại áp lực nước từ phía ngoài và áp lực nước do chuyển động dòng trong khối đá thì trong lớp vỏ ngoài và nhiều khi cả ở lớp vỏ trong phải bố trí các ống nhận nước và hệ thống thoát nước.
- Sau đây, để hiểu rõ hơn về NATM, sẽ tổng hợp các nguyên lý đó và trình bày theo hai nguyên tắc cơ bản. Các tài liệu công bố liên quan với NATM khá nhiều, cho phép có thể tìm hiểu đầy đủ và kỹ hơn.

## 2.2 Nguyên tắc thứ nhất

Nguyên tắc thứ nhất là ‘*Bộ phận chịu tải cơ bản của kết cấu bảo vệ là khối đá*’, thể hiện trên hình 2-5. Nếu như trong các lý thuyết cổ điển, ‘kết cấu chống’ được thiết kế phải tiếp nhận toàn bộ áp lực đất/đá, thì theo NATM, có một vùng khối đá gần, xung quanh công trình ngầm, hình thành vành đai vùng nhận tải, có kể đến cả vỏ bê tông phun mỏng. Trước đây khối đá không được coi có chức năng tĩnh học (nhận tải), mà chỉ là nguồn gây tải trọng.



Hình 2-5. Nguyên tắc thứ nhất của NATM: Bộ phận chịu tải cơ bản là khối đá

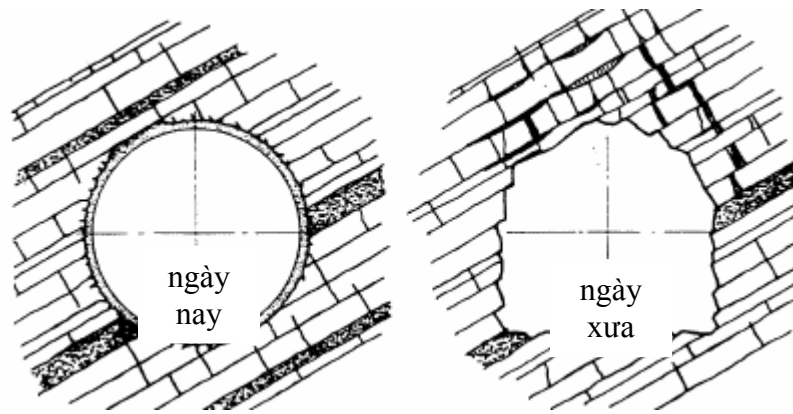
Từ đó hình thành hai yêu cầu cơ bản khác nhau đối với công tác thi công và thiết kế.



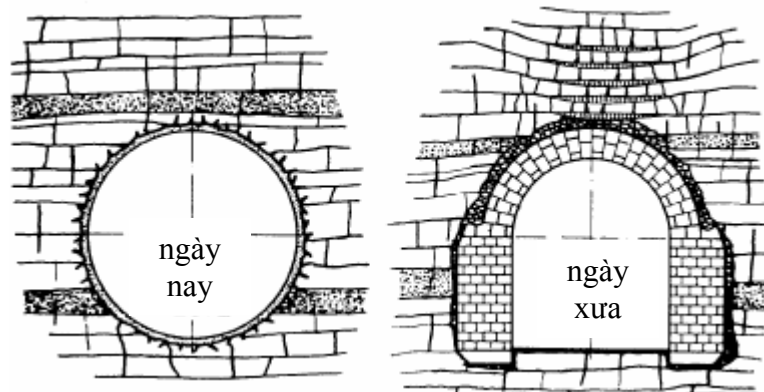
### **Yêu cầu thứ nhất đối với công tác thi công**

Muốn cho một bộ phận của khối đá xung quanh khoảng trống tạo thành một vành nhận tải (có tác dụng tĩnh học), thì khả năng chịu tải (độ bền) của khối đá, trong và sau khi đào ra khoảng trống ngầm, phải được bảo tồn. Bởi vì biến dạng tơi rời sẽ gây ra hiện tượng giảm bền trong khối đá, do vậy:

- cần phải áp dụng phương pháp thi công ‘bảo dưỡng khối đá’, chẳng hạn đào bằng máy hay đào bằng khoan-nổ mìn tạo biên;
- cần có biện pháp lắp dựng kết cấu chống bảo vệ ngay sau khi đào, hay nói cách khác là mặt lộ không được để trống sau khi đào (hình 2-6);
- kết cấu bảo vệ phải có liên kết về lực với khối đá và không để lại khoảng hở, lỗ trống (hình 2-7, 2-8), vì khối đá và kết cấu phải có tác dụng như là một khối tổ hợp. Sự có mặt của khoảng hở, lỗ trống, làm tăng khả năng biến dạng (không đồng nhất, lấp kín lỗ rỗng) và do vậy dẫn đến hiện tượng tơi rời.



Hình 2-6. Lắp dựng ngay kết cấu bảo vệ mặt lộ khối đá

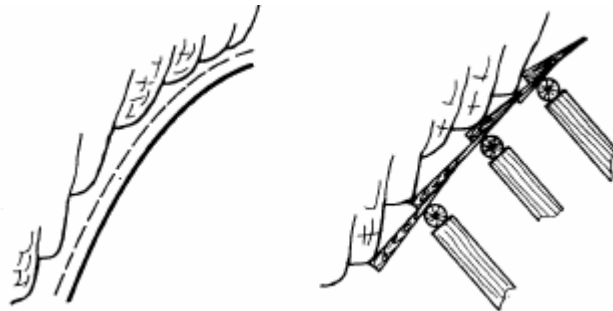


Hình 2-7. Tiếp xúc kín và chịu lực giữa khối đá và kết cấu bảo vệ



Hai đòi hỏi cuối được thỏa mãn, bằng cách tạo một lớp vỏ bê tông phun lên mặt lộ khối đá. Nhiều trường hợp vẫn cần phải gia cố khối đá, cải thiện độ bền. Điều này được thực hiện nhờ một hệ thống neo, vừa có khả năng tăng bền, vừa cải thiện được trạng thái ứng suất trong khối đá như trên hình 2-9.

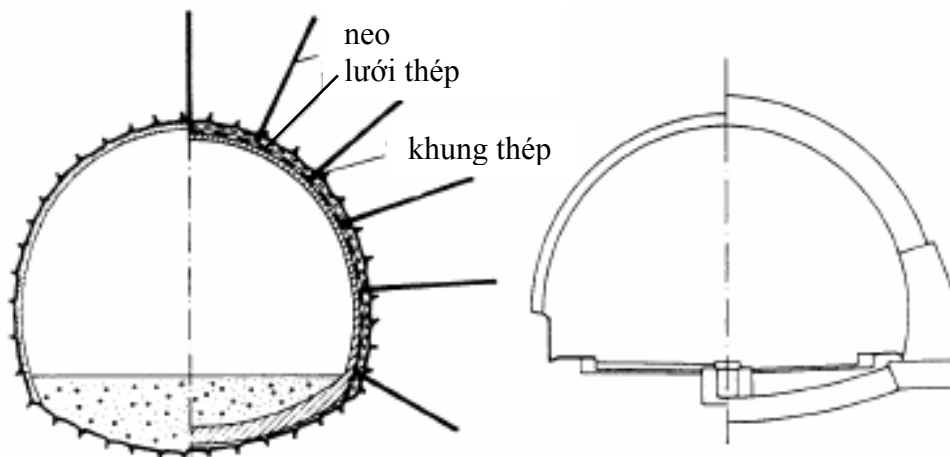
Nguyễn Quang Phích, Đào Văn Canh. *Về quy luật và khả năng gia cố khối đá khi sử dụng neo dính kết*. Tạp chí Công nghiệp mỏ. Hà Nội, 1996. Tr. 5 -6 và 10.



**BÂY GIỜ**

**NGÀY XƯA**

Hình 2-8. Lắp kết cấu bảo vệ không để lại khoáng hở, lỗ trống [ ]



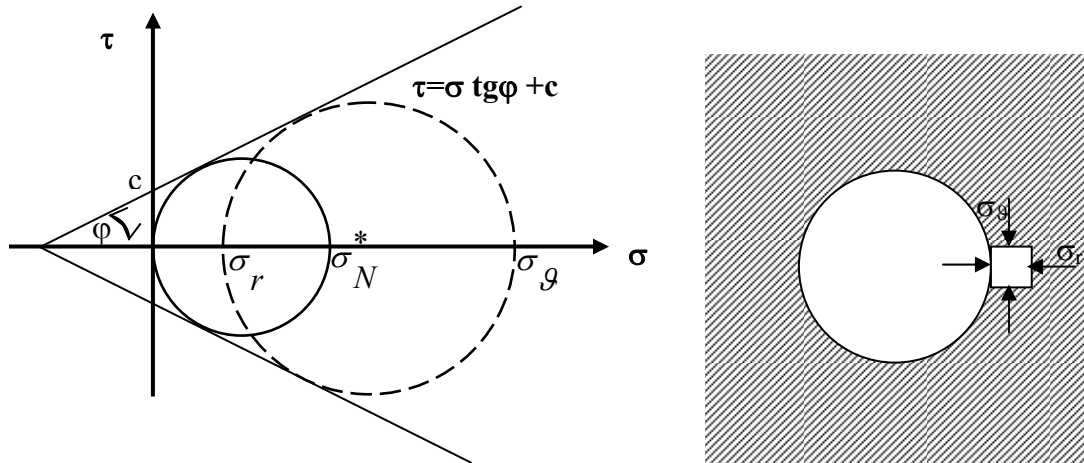
**BÂY GIỜ**

**NGÀY XƯA**

Hình 2-9. Cải thiện trạng thái ứng suất trong khối đá nhờ hệ thống neo [ ]

Nếu giả thiết rằng khả năng chịu tải của khối đá được mô hình hóa bởi tiêu chuẩn Mohr-Coulomb  $\tau = \sigma \cdot \tan \varphi + c$ , như vậy trước khi cắm neo hoặc phun bê tông, khả năng nhận tải tối đa của khối đá trên biên là  $\sigma_N^*$  (độ bền nén một trục). Nhờ có thành phần ứng suất  $\sigma_r$ , hình thành do lắp dựng hệ

thống neo hoặc bê tông phun, khối đá có thể tiếp nhận một ứng suất tác dụng tiếp tuyến lớn hơn  $\sigma_g > \sigma_N^*$  (hình 2-10).

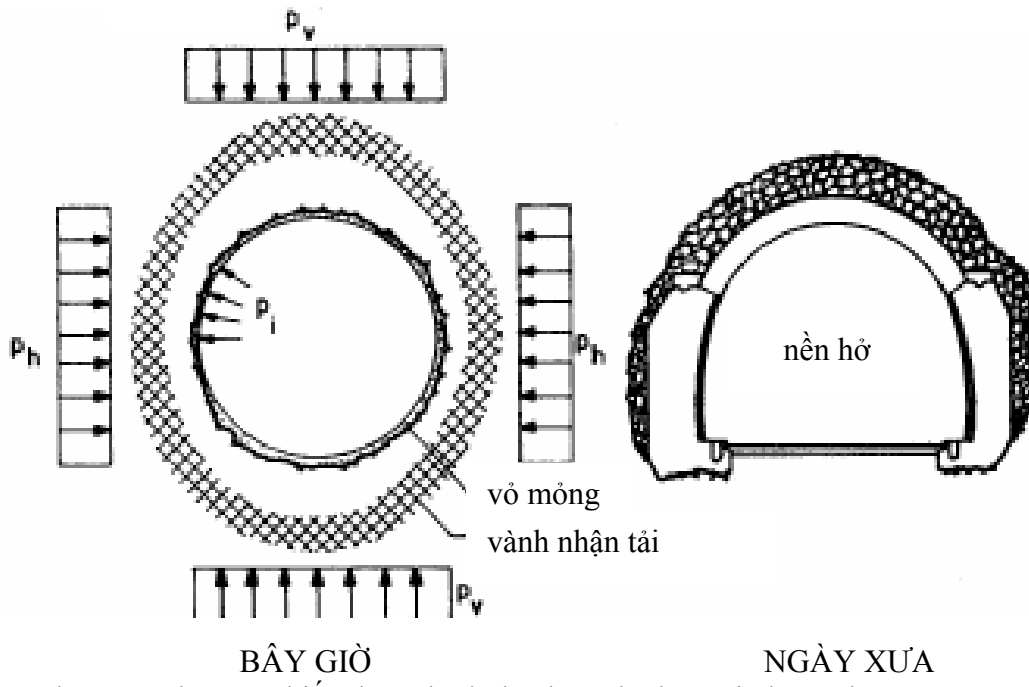


Hình 2-10. Cải thiện trạng thái ứng suất nhờ hệ thống neo

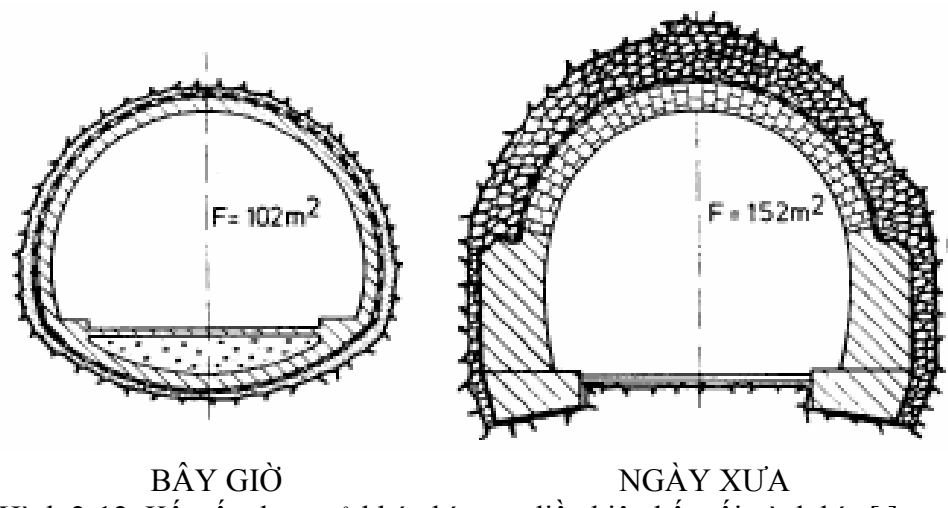
## Yêu cầu thứ hai đối với công tác thi công

Muốn có được một vành nhận tải xung quanh khoảng trống ngầm, cần thiết phải **tạo ra điều kiện cho khối đá, để hình thành vành nhận tải hay vành có tác dụng tĩnh học** này. Vành nhận tải khi đó được coi như một vỏ ống dày, từ vật liệu tổ hợp (bao gồm neo, khối đá, vỏ bê tông phun), có thể tạm coi như từ các lớp khác nhau (khối đá, vỏ bê tông phun). Từ yêu cầu này dẫn đến nguyên lý phù hợp cho công tác thi công, cụ thể:

- Để cho một vành nhận tải có thể hình thành và dưới tác dụng của áp lực nén, nhất thiết phải xuất hiện biến dạng hướng tâm về phía khoảng trống. Điều này đòi hỏi vỏ bảo vệ mong, có khả năng biến dạng (hình 2-11);
- Vì một ống dày chỉ có biểu hiện tĩnh học, nếu nó liên tục, hay kín, không bị phân cắt, do vậy việc tạo một '**kết nối vành kín**' có ý nghĩa quan trọng (hình 2-12). Vỏ bảo vệ (kết cấu chống) cần có dạng vành kín, hoặc ở dạng mồm nhái, dạng quả trứng, để bao bọc kín mặt lộ khoảng trống, khi khối đá phân nền không đủ bền để có thể hình thành vành khép kín. Điều đó có nghĩa là không để phân nền hở như trong các phương pháp cổ điển;
- Nên sử dụng các dạng tiết diện tròn tròn, bởi vì các cạnh gấp khúc, các góc sẽ dẫn đến trạng thái ứng suất không thuận lợi (hình 2-13).



Hình 2-11. Khả năng biến dạng, hình thành vành nhận tải nhờ vỏ bảo vệ mỏng

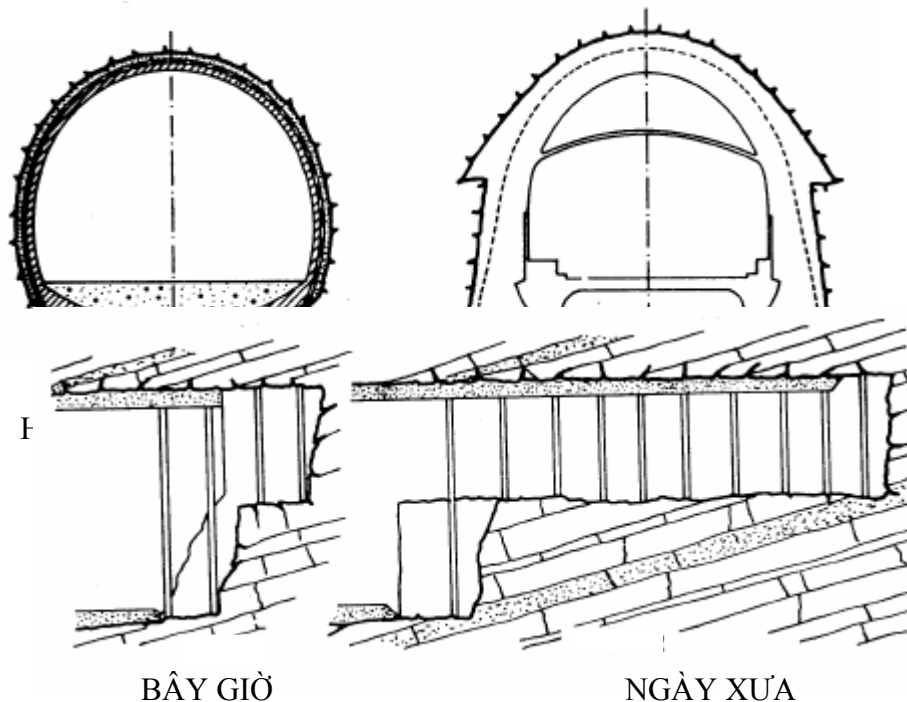


Hình 2-12. Kết cấu dạng vỏ khép kín tạo điều kiện kết nối vành kín [ ]

- Kết nối vành kín cần thực thi kịp thời. Chừng nào chưa kết nối kín, biến dạng còn phát triển và không cho phép tạo ra một vành nhận tải (cũng còn gọi là vành bị nén ép), như vậy biến dạng đó là không có nghĩa. Ngoài ra, biến dạng này còn có thể nguy hiểm vì nó dẫn đến hiện tượng rơi rời của khối đá. Do vậy phần vòm chỉ nên vượt trước ở mức độ nhất định (hình 2-14), *theo quy luật là càng nhỏ khi khả năng*

*mang tải của khối đá càng kém. Khi phần vòm vượt trước nhiều, kết cấu bảo vệ trong phạm vi này sẽ phải chịu tác động uốn bất lợi.*

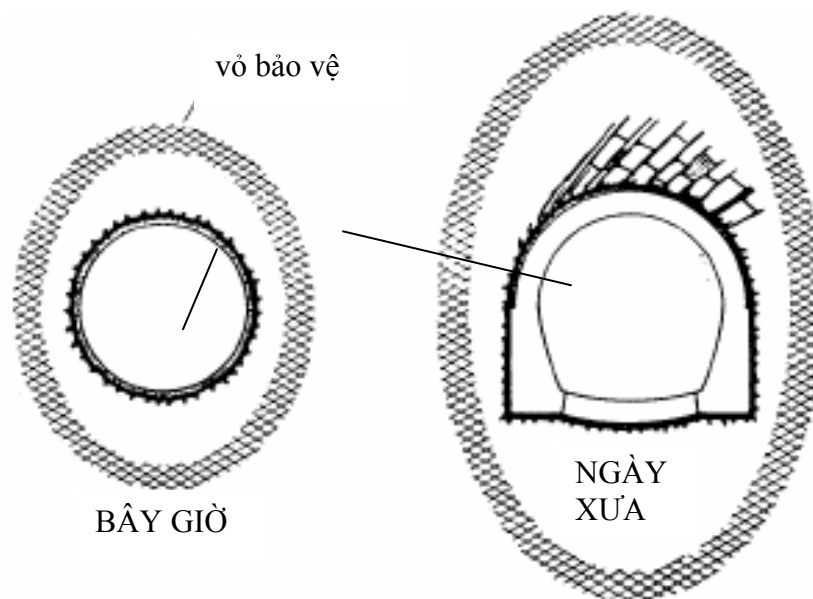
- Vành nhận tải tổ hợp (khối đá-kết cấu chống) cần tiếp nhận được các lực dọc, là lực nén. Khi đó kết cấu chống có thể thiết kế dạng vỏ mỏng, làm giảm các tác động uốn, tương tự như trong khối đá, chỉ còn các lực dọc.
- Kết nối vành kín cần thực thi kịp thời. Chùng nào chưa kết nối kín, biến dạng còn phát triển và không cho phép tạo ra một vành nhận tải (cũng còn gọi là vành bị nén ép), như vậy biến dạng đó là không có nghĩa. Ngoài ra, biến dạng này còn có thể nguy hiểm vì nó dẫn đến hiện tượng rơi rớt của khối đá. Do vậy phần vòm chỉ nên vượt trước ở mức độ nhất định (hình 2-14), *theo quy luật là càng nhỏ khi khả năng mang tải của khối đá càng kém.* Khi phần vòm vượt trước nhiều, kết cấu bảo vệ trong phạm vi này sẽ phải chịu tác động uốn bất lợi.
- Vành nhận tải tổ hợp (khối đá-kết cấu chống) cần tiếp nhận được các lực dọc, là lực nén. Khi đó kết cấu chống có thể thiết kế dạng vỏ mỏng, làm giảm các tác động uốn, tương tự như trong khối đá, chỉ còn các lực dọc.



Hình 2-14. Kết nối vành kín nên kịp thời, nghĩa là khả năng chịu tải của khối đá càng kém, khoảng vượt trước của phần vòm càng ngắn

## 2.3 Nguyên tắc thứ hai

Nguyên tắc thứ hai là: *Tải trọng từ phía khối đá (ứng suất) phân lớn được phân bố, truyền vòng xung quanh khoảng trống ngầm, tạo nên tác dụng của vòm áp lực quanh khoảng trống, do vậy vành nhận tải (khối đá-kết cấu chống) không phải tiếp nhận toàn bộ áp lực, mà lại được giảm tải* (hình 2-15). Suy luận này cũng đã hình thành trong lý thuyết cổ điển về công trình ngầm, dưới khái niệm ‘vỏ bảo vệ’. Đương nhiên, khi đó quan niệm cho rằng vòm hay vỏ bảo vệ chỉ hình thành phía nóc khoảng trống và không nên nhầm lẫn với ‘vành nhận tải’.



Hình 2-15. Hai nguyên lý cơ bản của NATM: hình thành vành nhận tải và vỏ bảo vệ

Một vòm bảo vệ, có tác dụng phân bố lại ứng suất được hình thành trong khối đất/đá, nếu có một phạm vi nào đó mất khả năng nhận tải do biến dạng (‘chỗ mềm yếu’). Điều này minh họa cho sự hợp lý của nguyên tắc thứ hai của NATM, là phải tạo ra được biến dạng trong giới hạn và theo quy luật nhất định.

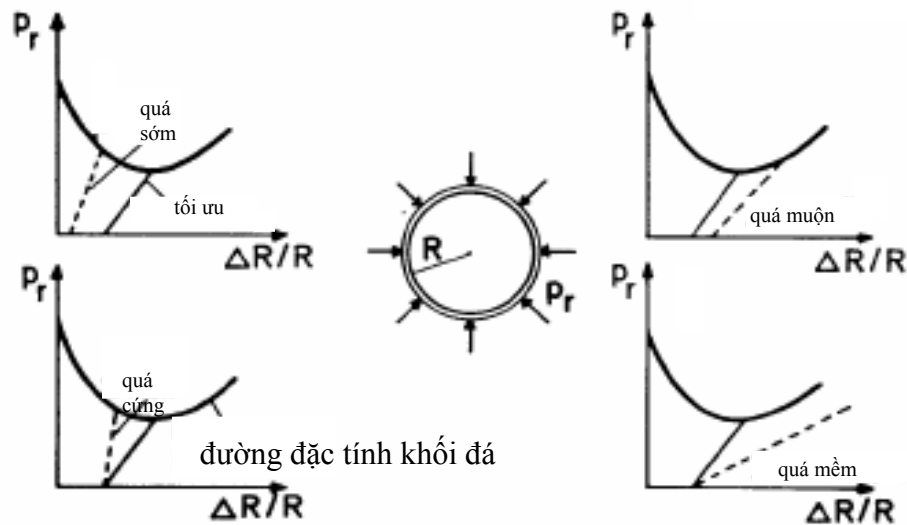
Từ đó dẫn đến yêu cầu thứ ba đối với công tác thi công.

### **Yêu cầu thứ ba đối với công tác thi công**

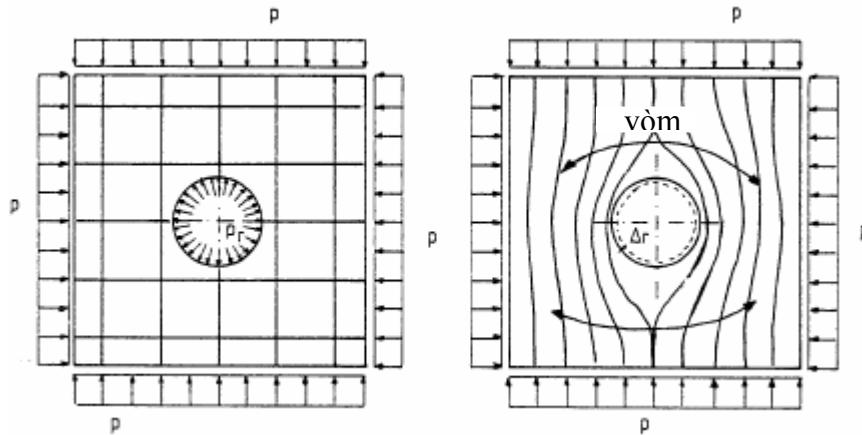
Kết cấu chống cần được lắp dựng kịp thời (đặc biệt là phải tạo ‘kết nối vành kín’ đúng lúc) và có độ cứng hợp lý (ví dụ lựa chọn, phỏng đoán đúng chiều dày của vành nhận tải và từ đó xác định chiều dài hợp lý của neo,

chiều dày hợp lý vỏ bê tông phun cũng như các kết cấu chống tăng sức như khung thép), như vậy sự hình thành vòm áp lực sẽ chỉ dẫn đến áp lực đất/đá tối thiểu. Có thể nhận thức rõ ý nghĩa của yêu cầu này thông qua các vấn đề trình bày sau đây.

- Đường đặc tính khối đá. Khái niệm ‘đường đặc tính của khối đá’ đã được trình bày trong cơ học đá, và được hiểu là mối quan hệ về sự phát triển của áp lực đất/đá ( $P_r$ ), cũng như phản lực của kết cấu chống, với sự phát triển của dịch chuyển tuyệt đối ( $\Delta R$ ) về phía khoảng trống.  $\Delta R$  được đo trên biên mặt lộ và thường được ghi nhận ở dạng tỷ số  $\Delta R/R$  (hình 2-16). Trước tiên cần nhận thấy rằng áp lực giảm khi dịch chuyển tăng, điều này được mô phỏng bằng sơ đồ tính “tâm có lỗ rỗng chịu nén đều  $P$  ở xa vô cùng” và trên biên lỗ rỗng với bán kính  $R$  có phản lực  $P_r$  (áp lực = phản lực kết cấu chống) (hình 2-17). Khi  $P=P_r$  các đường dòng ứng suất (đường phương của các ứng suất chính) chạy thẳng. Áp lực trong càng nhỏ, dịch chuyển trên biên  $\Delta R$  càng tăng và các đường dòng ứng suất sẽ dẫn ra phía ngoài khoảng trống. Trên hình 2-17 b chỉ mô phỏng cho trường hợp chỉ có áp lực theo phương thẳng đứng với  $P_r=0$ .



Hình 2-16. Kết cấu chống với độ cứng hợp lý cần lắp dựng kịp thời



a) áp lực trong  $P_r = p$

b) áp lực trong  $P_r = 0$

Hình 2-17. Mô phỏng sự hình thành vòm áp lực hay vòm giảm tải

- Khi thi công, trạng thái này sẽ tồn tại, chừng nào các ứng suất tăng lên chưa vượt quá khả năng chịu tải của khối đá. Trong thực tế áp lực  $P_r$  giảm khi  $\Delta R/R$  tăng. Nhưng khi dịch chuyển lại tiếp tục tăng, thì có nghĩa là khối đá chuyển sang trạng thái giảm bền và ‘vòm áp lực hay vòm cân bằng’ lại bị nén ép lại, như thế lại làm cho  $P_r$  tăng lên, khi biến dạng vượt quá một giá trị nhất định. Đây là quá trình động và đường đặc tính của khối đá biến đổi theo quy luật như vậy. Đường nhiên đường đặc tính như vậy là quy luật điển hình cho khối đá, song không dễ xác định.
- Một tính toán tối ưu (nghĩa là cho phép lợi nhất về kinh tế-kỹ thuật) về vành nhận tải (vỏ bê tông phun+khối đá+neo=khung thép+lưới thép) có thể đạt được, nếu bố trí sao cho đường đặc tính khối đá và đường đặc tính của vành nhận tải gặp nhau tại điểm cực tiểu của đồ thị  $P_r = f(\Delta R/R)$ .
- Đường đặc tính của vành nhận tải thực tế được hiểu qua mối quan hệ giữa áp lực  $P_r$  tác dụng hướng kính lên vành nhận tải với dịch chuyển tuyệt đối  $\Delta R$  hay biến dạng tỷ đối  $\Delta R/R$  của vành nhận tải. Như vậy ở đây hiểu theo nghĩa rộng hơn, với kết cấu chịu tải là vành mang tải, chứ không chỉ riêng kết cấu chống nhân tạo.
- Một điều quan trọng nữa là, khi thi công đào biến dạng  $\Delta R/R$  không xuất hiện tức thời, mà xuất hiện chậm theo thời gian, nghĩa là khối đá có biểu hiện như là môi trường nhớt (lưu biến). Tùy thuộc vào loại khối đá, hiệu ứng chậm hay trễ này có thể kéo dài nhiều giờ, nhiều ngày, nhiều tuần, nhiều tháng. (Ngay cả khi mô phỏng khối đá là đàn hồi, thì do ảnh hưởng của gương đào, biến dạng cũng là hàm số của

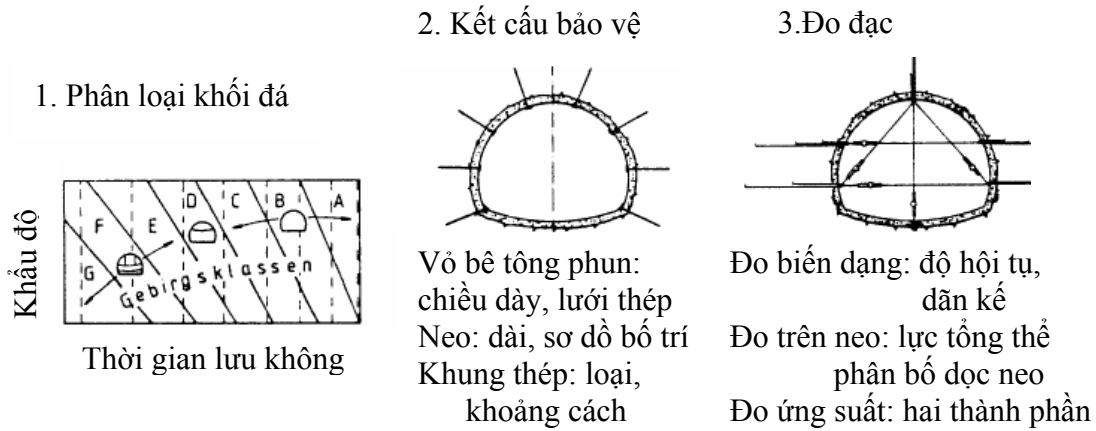


- khoảng cách đến gương, nếu chú ý đến ý nghĩa của bài toán không gian).
- Kết cấu chống cần được lắp dựng kịp thời, nghĩa là không quá sớm, nhưng cũng không được quá muộn, vì như vậy điểm giao cắt của hai đường đặc tính có thể ở trước hay sau điểm cực tiểu. Sau điểm cực tiểu, có nghĩa là khối đá biến dạng nhiều, giảm bền tối đa, do vậy tải trọng tác dụng lên kết cấu chống có thêm cả phần trọng lượng do rơi tuyết đối, và vành nhận tải cũng có khả năng nhận tải kém hơn.
  - Kết cấu chống không nên quá cứng nhưng cũng không được quá mềm. Thời gian và độ cứng liên kết tạo nên tổ hợp về đặc tính vành nhận tải.

## 2.4 Thiết kế theo kinh nghiệm

*Đường đặc tính của khối đá và kết cấu chống là những yếu tố khó xác định chính xác và hiện nay cũng vẫn chưa có thể tính toán, dự báo định lượng bằng lý thuyết, bởi vì có khá nhiều yếu tố ảnh hưởng. Cũng vì vậy trên thế giới xuất hiện quan điểm thiết kế công trình ngầm theo kinh nghiệm. Trong thiết kế, phương pháp thi công hầm mới của Áo cũng đại diện quan điểm này. Trong nhiều tài liệu còn gọi phương pháp thiết kế như vậy là ‘**phương pháp quan sát**’. Khối đá được phân loại dọc theo công trình ngầm, trên cơ sở các dữ liệu thăm dò (hình 2-18). Từ các kinh nghiệm thi công, người ta biết được kết cấu chống cho từng loại khối đá, ví dụ: số lượng, chiều dài và khả năng mang tải của neo, chiều dày và lưới thép cần thiết của bê tông phun, số lượng và loại khung thép... Ngoài ra cũng từ kinh nghiệm có thể xác định được phương pháp đào hợp lý (toàn gương, chia gương và các cách thức chia gương). Tuy nhiên cũng cần phải hiểu rõ rằng, khái niệm kinh nghiệm ở đây cũng bao hàm cả các kinh nghiệm nhận được từ các kết quả nghiên cứu cơ bản, tính toán lý thuyết với các công cụ khác nhau, chứ không thuần túy chỉ là kinh nghiệm rút ra từ thi công đơn thuần. (Lý thuyết không gắn với thực tế thì chỉ là mơ kiến thức sáo rỗng; thực tế không có lý thuyết thì chỉ là mơ bóng bong)*

Với các kết quả thiết kế dự báo theo nguyên tắc này, với phương pháp thi công được chọn, trong quá trình tiến hành thi công công trình ngầm cần quan trắc bằng các thiết bị đo. Trên cơ sở các dữ liệu đo sẽ đi đến các quyết định là: có phải tăng cường kết cấu chống hay không (ví dụ tăng chiều dài neo, tăng chiều dày bê tông phun), hoặc có thể tiết kiệm kết cấu chống trong đoạn thi công sau, hoặc cần phải thay đổi phương pháp thi công...

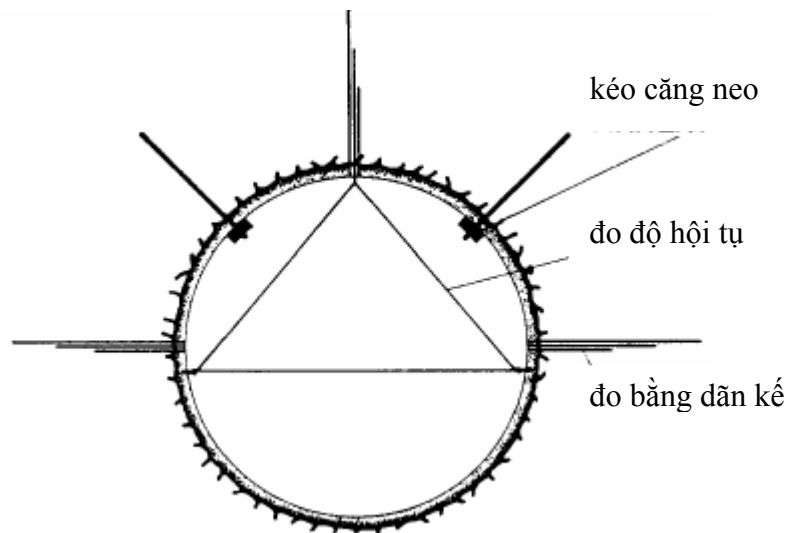


Hình 2-18. Nguyên lý thiết kế theo kinh nghiệm

## 2.5 Đo đạc địa kỹ thuật trong thi công

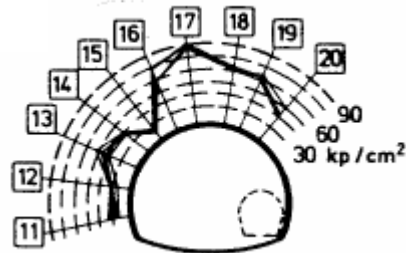
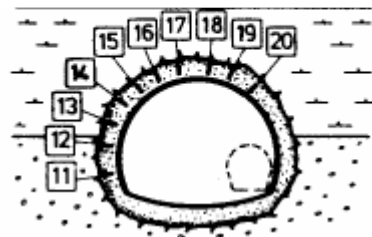
Khối đá và kết cấu công trình được theo dõi trong quá trình thi công, thông qua các giải pháp sau:

- Đo biến dạng (bằng máy đo độ dẫn nở-extensometer hay còn gọi là dẫn (giãn) kế, đo độ hội tụ và với các công trình gần mặt đất cần đo độ lún nhờ các máy kinh vĩ (hình 2-19)
- Đo đặc tải trọng tác dụng trên thanh neo (hình 2-19)
- Đo các thành phần ứng suất tác dụng tiếp tuyến trong vỏ bê tông phun và thành phần tác dụng hướng kính (hướng tâm) tại các vị trí tiếp xúc giữa khối đá và vỏ bê tông (hình 2-20)

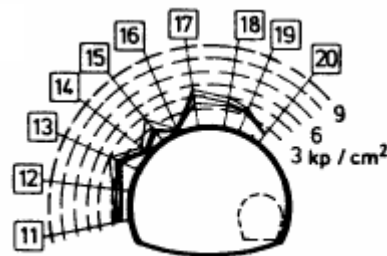
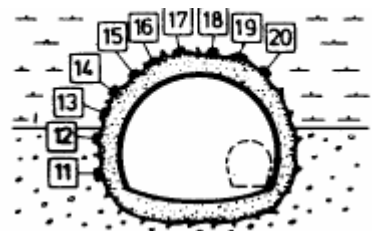


Hình 2-19. Sơ đồ bố trí đo đạc trong đường hầm: biến dạng và lực tác dụng lên neo

ứng suất trong vỏ bê tông



ứng suất tại các vị trí tiếp xúc



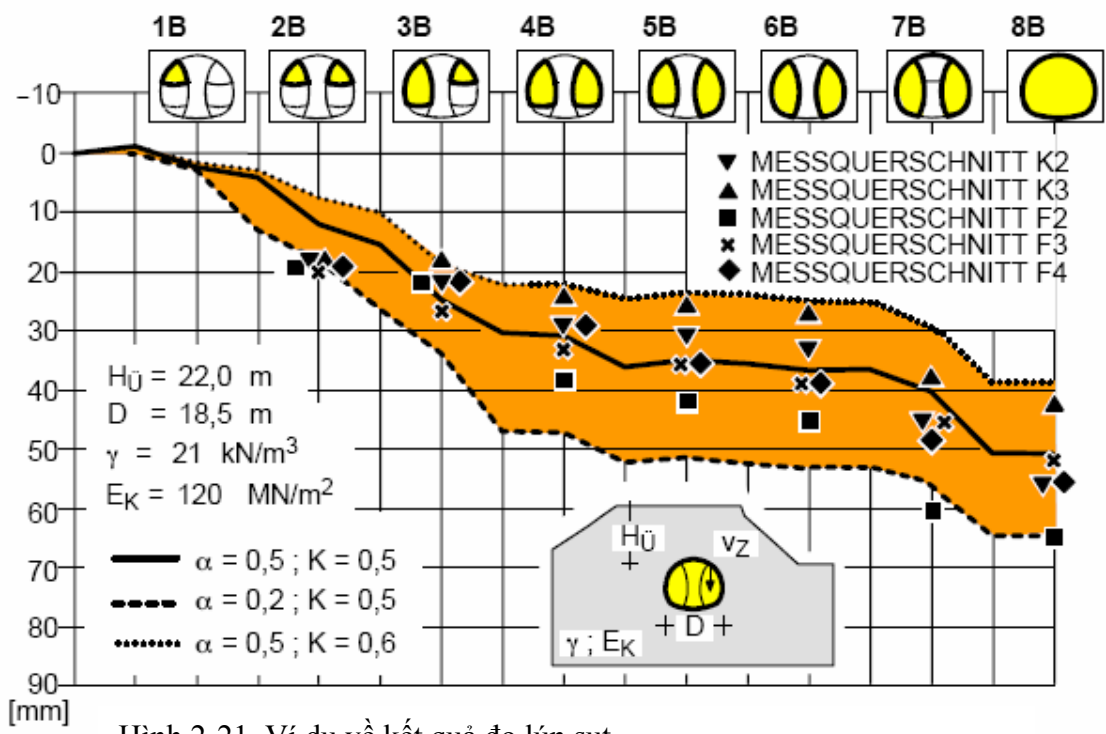
Hình 2-20. Sơ đồ đo các thành phần ứng suất trong vỏ bê tông phun và tại các vị trí tiếp xúc khối đá-vỏ bê tông phun

Điều quan trọng là quy luật biến thiên theo thời gian của các giá trị đo. Khi quy luật nhận được có xu thế tiệm cận giá trị nhất định, nhỏ hơn giá trị giới hạn, có thể thi công không cần gia cường thêm kết cấu chống. Nhưng nếu cho thấy biến thiên đều, thậm trí với tốc độ tăng nhất thiết phải chú ý đến khả năng gia cố tăng cường, thay đổi kết cấu chống...

Các thành phần ứng ứng suất trong vỏ bê tông phun cũng như tại các vị trí tiếp xúc không được vượt quá giới hạn cho phép về độ bền nén của bê tông phun.

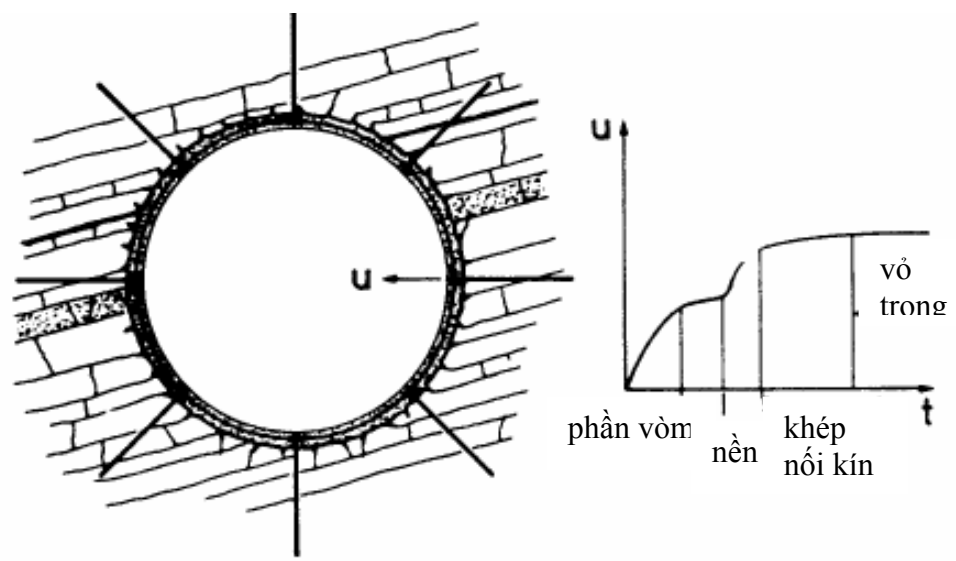
Các kết quả đo tại một mặt cắt nào đó nhất thiết phải có xu thế nhận tiệm cận khi vị trí thi công cách xa điểm đo khoảng 3 đến 5 lần đường kính tương đương của công trình ngầm. Ngoài ra, biến dạng của những điểm cách xa biên công trình ngầm, xác định bằng dán kế, phải thể hiện theo quy luật giảm dần .

Hình 2-21 là một ví dụ về kết quả đo sụt lún khi thi công đường hầm trong khối đá yếu (đất) gần mặt đất. Có thể nhận thấy rằng, độ lún có xu thế nhận giá trị tiệm cận



Hình 2-21. Ví dụ về kết quả đo lún sụt

Hình 2-22 cũng cho thấy biến dạng đo được có xu hướng nhận giá trị giới hạn, với quy luật giảm dần theo thời gian, theo các chu kỳ đào khác nhau. Lớp vỏ trong được lắp dựng khi biến dạng có xu hướng ổn định.

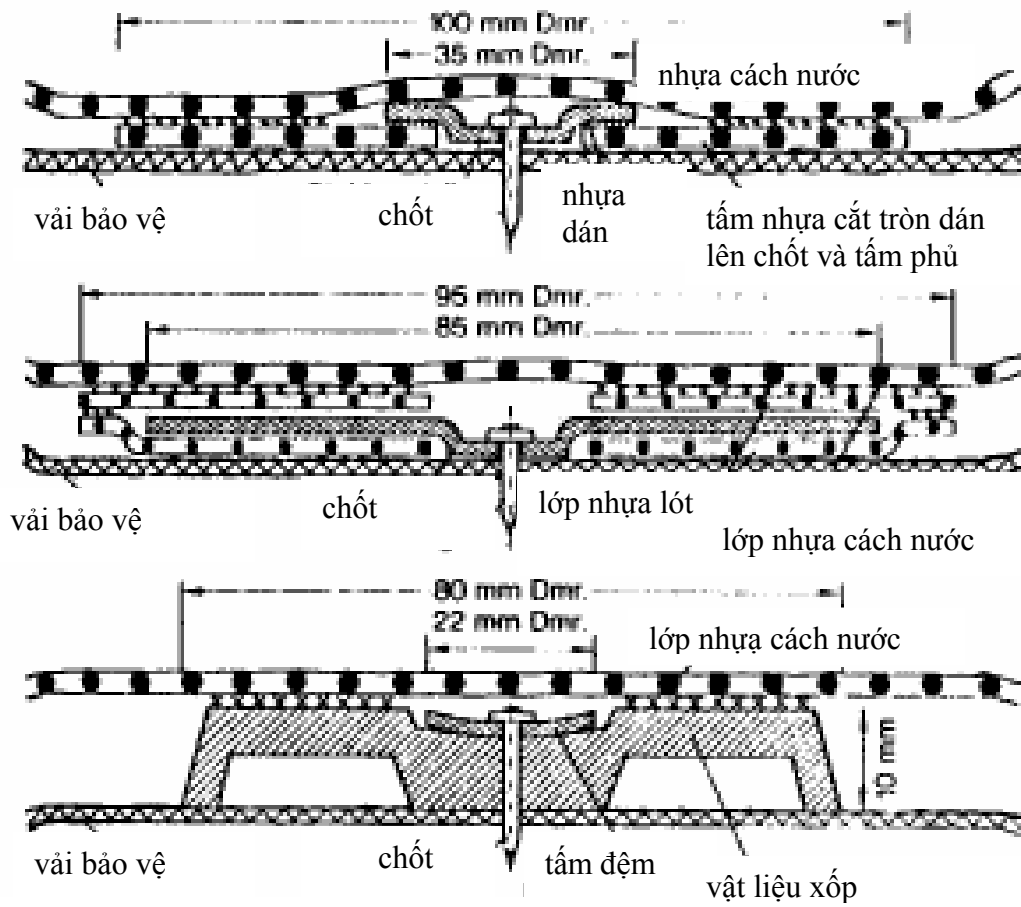


Hình 2-22. Sơ đồ minh họa đo biến dạng trong đường hầm

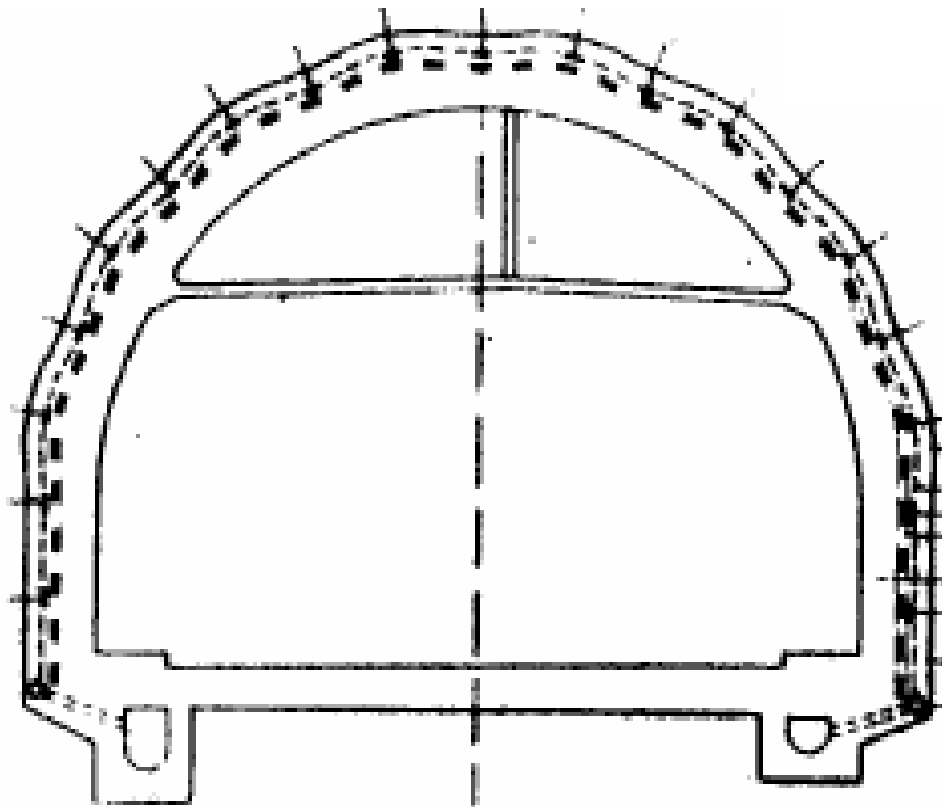
## 2.6 Vỏ kết cấu chống phía trong

Theo phương pháp thi công hầm mới của Áo, kết cấu chống được cấu thành bởi hai lớp vỏ, cụ thể là một lớp sau khi đào và một lớp sau khi biến dạng, dịch chuyển của khối đá đã ngừng lại. Lớp vỏ thứ hai chẳng hạn bằng bê tông được thi công với cấp pha di động.

- Tác dụng tĩnh học của lớp vỏ bảo vệ: Nếu trong khối đá có nước ngầm, có tính xâm thực, lớp vỏ trong được tính toán nhận tải lâu dài. Đây là kinh nghiệm gặp khi xây dựng các công trình ngầm thành phố. Trong khối đất/đá không có nước xâm thực, lớp vỏ ngoài (lớp đầu tiên) cũng được tính đến để nhận tải lâu dài. Khi hai lớp vỏ không có liên kết cứng chịu cắt, các thành phần nội lực được phân bổ cho cả hai lớp theo độ cứng. Khi tạo nên tiếp xúc chịu cắt bằng biện pháp thi công, các lực cắt sẽ được tính cho toàn bộ vỏ. Tuy nhiên trong thực tế khó khẳng định khả năng chịu cắt tuyệt đối. Khi hai lớp vỏ cách biệt, tức là không có liên kết chặt chẽ, liên quan đến khả năng chịu cắt, thì lớp vỏ trong sẽ tiếp nhận tải trọng, chỉ khi có biến dạng phát triển.
- Cách nước cho công trình ngầm: Khi trong khối đá có nước xâm thực, nhất thiết phải tạo lớp cách nước dưới dạng *màng cách nước* để bảo vệ lớp vỏ trong. Hiện nay lớp màng cách nước thường là tấm vải nhựa dày 1,5mm đến 2mm, tuy nhiên trên mặt bê tông phun nhám phải có lớp lót bảo vệ bằng vật liệu xốp hoặc vật liệu đặc biệt (dù vải địa kỹ thuật) dày đến 10mm. Tại các vị trí chốt chặt, các tấm nhựa phải được hàn kín, được đóng chặt vào khối đá như trên hình 2-23. Các tấm nhựa được chốt chặt bằng một chốt ở phần nền, hai chốt ở phần thân và ba chốt ở phần vòm, tính trên một m<sup>2</sup>. Các tấm nhựa lại được hàn chặt với nhau. Nếu mực nước ngầm không phủ kín công trình ngầm, không nhất thiết phải tạo vỏ kín. Chẳng hạn chỉ tạo vỏ chắn, dạng ô, để dẫn nước đến các hệ thống thoát nước.
- Khi có nước áp lực, màng cách nước phải phủ kín toàn bộ công trình ngầm và khi đó lớp vỏ trong nên là vỏ bê tông cách nước. Tuy nhiên, các kinh nghiệm hiện nay cho thấy, tại các công trình ngầm tiết diện lớn bê tông cách nước chưa đáp ứng được các yêu cầu về cách nước. Khi duy tu, sửa chữa các vị trí xuất hiện nước rất tốn kém. Với công trình tiết diện nhỏ, bê tông cách nước tỏ ra đáp ứng được các yêu cầu cách nước.



Hình 2-23. Chốt chặt các tấm cách nước vào lớp bê tông phun



Hình 2-24. Màng cách nước khi không có nước áp lực

### Tài liệu tham khảo thêm

Nguyễn Quang Phích. Xây dựng công trình ngầm dân dụng và công nghiệp. Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội 1999.

Nguyễn Quang Phích. Cơ học công trình ngầm. Đại học Mỏ-Địa chất 2000.

Nguyễn Quang Phích: *Gia cố khối đá*. Đại học Mỏ-Địa chất 2001.(Bài giảng cao học ngành Xây dựng công trình ngầm và mỏ).

Nguyễn Quang Phích: *Phương pháp giải các bài toán cơ học đá trong khai thác mỏ và xây dựng công trình ngầm*. Đại học Mỏ-Địa chất 2002.(Bài giảng cao học cho ngành Khai thác mỏ).

Nguyễn Quang Phích *Ứng dụng các quá trình vật lý đá trong xây dựng công trình ngầm*. Đại học Mỏ-Địa chất 2002. (Bài giảng cao học ngành Xây dựng công trình ngầm và mỏ).

Nguyễn Quang Phích: *Các biện pháp nâng cao hiệu quả thi công xây dựng công trình ngầm*. Đại học Mỏ-Địa Chất. Hà Nội 4-2005. (Bài giảng cao học ngành Xây dựng công trình ngầm và mỏ).

Nguyễn Quang Phích: *Dự báo và phòng ngừa các hiện tượng phá hủy công trình ngầm*. Đại học Mỏ-Địa Chất. Hà Nội 3-2005. (Bài giảng cao học ngành Xây dựng công trình ngầm và mỏ).