

Quy trình thí nghiệm

Xác định ứng suất trong đá tại hiện trường sử dụng phương pháp tạo vết nứt bằng thủy lực¹.

ASTM D 4645 - 04^{ε1}

Tiêu chuẩn này được ban hành với tên cố định D 4645; số đi liền sau tên tiêu chuẩn là năm đầu tiên tiêu chuẩn được áp dụng, hoặc trong trường hợp có bổ sung, là năm sửa đổi cuối. Số trong ngoặc chỉ năm tiêu chuẩn được phê duyệt mới nhất. Chỉ số trên (ε) chỉ sự thay đổi về biên tập theo phiên bản bổ sung hay phê duyệt lại cuối cùng.

^{ε1} Chú thích – Hình 2 đã được sửa đổi biên tập vào tháng 9 năm 2004

1 PHẠM VI ÁP DỤNG *

1.1 Phương pháp thí nghiệm này nhằm xác định trạng thái ứng suất của đá tại hiện trường theo phương pháp tạo vết nứt thủy lực.

Chú thích 1 – Phương pháp tạo vết nứt bằng thủy lực để xác định ứng suất cũng như tạo vết nứt bằng nước. Tạo vết nứt bằng thủy lực và tạo vết nứt bằng nước có nghĩa là làm nứt đá bằng áp lực chất lỏng nhằm thay đổi đặc trưng của đá, chẳng hạn như là tính thấm và độ rỗng.

1.2 Tạo vết nứt bằng thủy lực là phương pháp hiện trường được áp dụng rộng rãi để đo ứng suất hiện trường ở độ sâu lớn hơn 50m. Có thể sử dụng được trong các hố khoan có đường kính bất kỳ.

1.3 Tạo vết nứt bằng thủy lực có thể dùng trong các hố khoan ngắn mà sử dụng được các phương pháp đo ứng suất khác, như phương pháp khoan cắt vượt quá. Ưu điểm của phương pháp tạo vết nứt bằng thủy lực là cho phép đo được ứng suất đàn hồi được tính trung bình trên một vài mét vuông (kích thước của bộ phận gây ra vết nứt bằng thủy lực) hơn là trên diện tích có kích cỡ hạt, như trong kỹ thuật khoan cắt vượt quá.

1.4 Tất cả các giá trị thu được và tính toán phải tuân thủ các quy định về số thập phân và nguyên tắc làm tròn nêu trong Tiêu chuẩn thực hành D 6026.

1.4.1 Phương pháp thí nghiệm trong tiêu chuẩn này dùng để xác định cách thu thập, tính toán hay cách ghi lại các số liệu mà không liên quan trực tiếp đến độ chính xác của các số liệu dùng cho quá trình thiết kế hay các sử dụng khác, hoặc cả hai. Việc áp dụng các kết quả thu được theo tiêu chuẩn này nằm ngoài phạm vi của tiêu chuẩn.

1.5 Các thông số trong tiêu chuẩn này theo hệ đơn vị inch-pound.

1.6 *Tiêu chuẩn này không đề cập đến tất cả vấn đề an toàn liên quan đến sử dụng, nếu có. Đây là trách nhiệm của người sử dụng tiêu chuẩn phải đảm bảo độ an toàn và tình trạng sức khỏe phù hợp và những hạn chế áp dụng trước khi sử dụng.*

¹ Phương pháp thí nghiệm này thuộc phạm vi của Ủy ban ASTM D 18 về Đất và Đá và chịu trách nhiệm trực tiếp bởi Tiểu ban D18.02 về Cơ học đá. Lần xuất bản hiện nay được phê duyệt 1 tháng 1, 2004. Xuất bản vào tháng 2 năm 2004. Bản gốc được phê duyệt năm 1987. Lần xuất bản cuối cùng trước đây được phê duyệt năm 1997 là D 4645-87 (1997)

*** Phần tóm tắt về sự thay đổi sẽ được đề cập ở cuối tiêu chuẩn này**

2 TÀI LIỆU VIỆN DẪN

2.1 Tiêu chuẩn ASTM: ²

D 653 Thuật ngữ liên quan đến đất, đá và chất lỏng chịu nén.

D 2113 Tiêu chuẩn thực hành về phương pháp khoan lõi bằng mũi kim cương khi khảo sát hiện trường.

D 3740 Tiêu chuẩn thực hành về các yêu cầu tối thiểu đối với các đơn vị được thuê để tiến hành thí nghiệm và/ hoặc kiểm tra đất và đá dùng trong thiết kế và xây dựng công trình.

D 5079 Tiêu chuẩn thực hành về bảo dưỡng và vận chuyển mẫu lõi đá.

D 6026 Tiêu chuẩn thực hành về sử dụng số chữ số thập phân sau dấu phẩy của các số liệu địa chất.

² Để tham khảo các tiêu chuẩn ASTM, hãy vào website của ASTM, www.astm.org, hoặc liên hệ với Trung tâm dịch vụ khách hàng ASTM tại service@astm.org. Các thông tin về cuốn *Annual Book of ASTM Standards*, xem chi tiết Tài liệu tiêu chuẩn tóm lược trên trang web của ASTM.

3 THUẬT NGỮ

3.1 Các thuật ngữ dùng trong phương pháp thí nghiệm này tham khảo trong Thuật ngữ D 653.

3.2 *Khái niệm các thuật ngữ dùng trong tiêu chuẩn này:*

3.2.1 *Ứng suất phá huỷ* - ứng suất cần thiết để tạo ra vết nứt thủy lực trong đoạn hố khoan thí nghiệm nguyên vẹn trước đó.

3.2.2 *Ứng suất hiện trường* - ứng suất của đá đo được tại hiện trường (ngược với phương pháp đo từ xa).

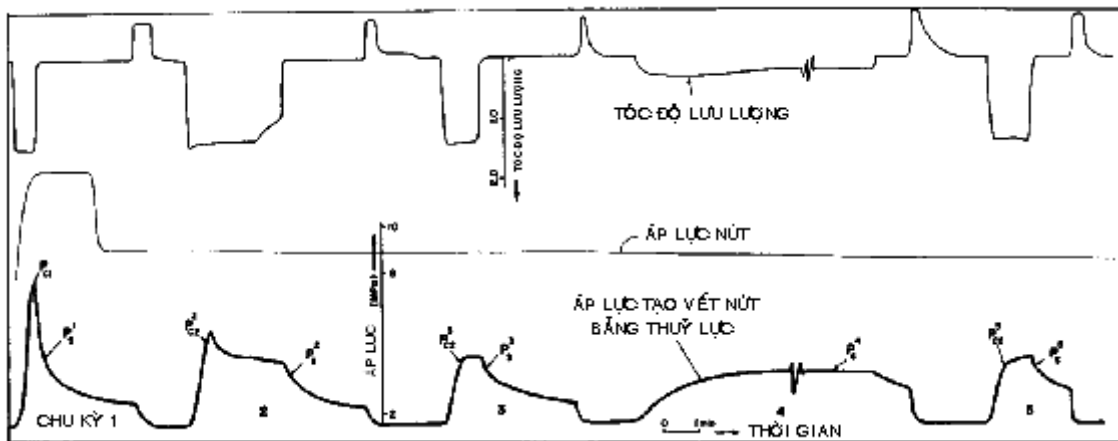
3.2.3 *Áp lực phá huỷ thứ cấp* (hoặc là áp lực làm vết nứt mở lại) – áp lực cần để mở lại một vết nứt do nước gây ra trước đó sau khi tạo ra áp lực trong từng đoạn hố khoan thí nghiệm để trở lại trạng thái ban đầu.

3.2.4 *Áp lực đóng (hay ISIP - áp lực đóng tức thời)* – là áp lực khi vết nứt tạo ra do nước khép trở lại sau khi ngừng bơm.

3.2.5 *Các ứng suất chính theo phương đứng và phương ngang* – thông thường ba ứng suất chính tại hiện trường được giả thiết một ứng suất tác dụng theo phương thẳng đứng và hai ứng suất còn lại tác dụng trong mặt phẳng nằm ngang.

4 TÓM TẮT PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

4.1.1 Phân cách một đoạn hố khoan bằng hai túi cao su được thổi căng. Tiến hành nâng áp lực chất lỏng trong đoạn bị ngăn cách bởi hai nút đó bằng cách bơm chất lỏng vào bên trong với một tốc độ được khống chế cho tới khi xảy ra phá vỡ thành hố khoan. Ngừng bơm và để áp lực trong khoảng đó được ổn định. Sau đó giảm áp lực tới mức áp lực lỗ rỗng của thành tạo đá, và lặp lại quá trình tạo áp lực như trên vài lần nhằm duy trì tốc độ lưu lượng là giống nhau. Độ lớn của các ứng suất chính được tính toán từ các số đọc áp lực khác nhau. Xác định hướng của vết nứt để nhằm xác định ra hướng của các ứng suất chính theo phương ngang. Hình 1 mô tả biểu đồ áp lực-thời gian và tốc độ lưu lượng-thời gian điển hình trong đoạn thí nghiệm.



Chú thích 1 – Trong thí nghiệm này tốc độ lưu lượng phải được duy trì đều trong ba chu kỳ đầu tiên. Trong chu kỳ thứ tư phải duy trì một tốc độ lưu lượng rất chậm để đỉnh của đường cong áp lực - thời gian được xem như là giới hạn trên đối với áp lực đóng.

Hình 1 - Biểu đồ áp lực-thời gian, tốc độ lưu lượng-thời gian trong khi tạo vết nứt bằng nước.

5 Ý NGHĨA VÀ SỬ DỤNG

5.1 Hạn chế:

5.1.1 Chiều sâu đo chỉ giới hạn trong khoảng chiều dài của hố khoan thí nghiệm.

5.1.2 Hiện tại, các kết quả của phương pháp tạo vết nứt bằng thủy lực chỉ có thể suy ra được các ứng suất tại hiện trường nếu các hố khoan gần như song song với một trong ba thành phần ứng suất chính tại hiện trường. Trừ phi có các bằng chứng trái ngược, phải giả thiết các hố khoan thẳng đứng là song song với một trong ba thành phần ứng suất chính tại hiện trường.

5.1.3 Khi ứng suất chính song song với trục của hố khoan không phải là ứng suất chính nhỏ nhất, thì chỉ có hai ứng suất chính còn lại xác định được trực tiếp từ thí nghiệm này. Nếu ứng suất nhỏ nhất tác dụng dọc theo trục của hố khoan, những vết nứt có thể sinh ra do thí nghiệm này có phương song song và vuông góc với trục của hố khoan, cho phép xác định cả ba ứng suất chính.

5.1.4 Trong trường hợp có thể không xảy ra, vết nứt sinh ra thay đổi hướng so với hố khoan, thì có thể không sử dụng được các dấu vết của vết nứt đó trên thành hố khoan để xác định ứng suất.

5.2 Các giả thiết:

5.2.1 Đá thí nghiệm được giả thiết là đàn hồi tuyến tính, đồng nhất và đẳng hướng. Bất cứ sự sai khác lớn nào so với các giả thiết này cũng có thể ảnh hưởng đến kết quả.

5.2.2 Giả thiết các hố khoan thẳng đứng cơ bản phải song song với một trong các ứng suất chính tại hiện trường, bởi vì qua nhiều quan sát địa chất và đo ứng suất bằng các phương pháp khác cho thấy, trong hầu hết các trường hợp một trong số các ứng suất chính là thẳng đứng và gần như thẳng đứng.

5.3 Việc xác định ứng suất tại hiện trường bằng tạo vết nứt bằng thủy lực có thể sẽ rất phức tạp do độ rỗng của nền đá, những vết nứt tự nhiên, sự tồn tại của các công trình ngầm gần đó, và sự thay đổi cục bộ trong trường ứng suất.

Chú thích 2 - Độ tin cậy của kết quả thực hiện từ tiêu chuẩn này phụ thuộc vào kỹ năng của người thí nghiệm, sự phù hợp của thiết bị thí nghiệm và các tiện ích được sử dụng. Nói chung, các tổ chức thoả mãn Tiêu chuẩn thực hành D 3740, sẽ được xem như có năng lực về kỹ năng thực hiện và phương pháp thí nghiệm/lấy mẫu/giám sát... Khi sử dụng Tiêu chuẩn này người sử dụng tiêu chuẩn phải chú ý là dù có làm đúng theo Tiêu chuẩn thực hành D 3740 thì cũng không đảm bảo các kết quả là tin cậy. Độ tin cậy của kết quả phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Tiêu chuẩn thực hành D 3740 cung cấp phương tiện đánh giá một vài yếu tố đó.

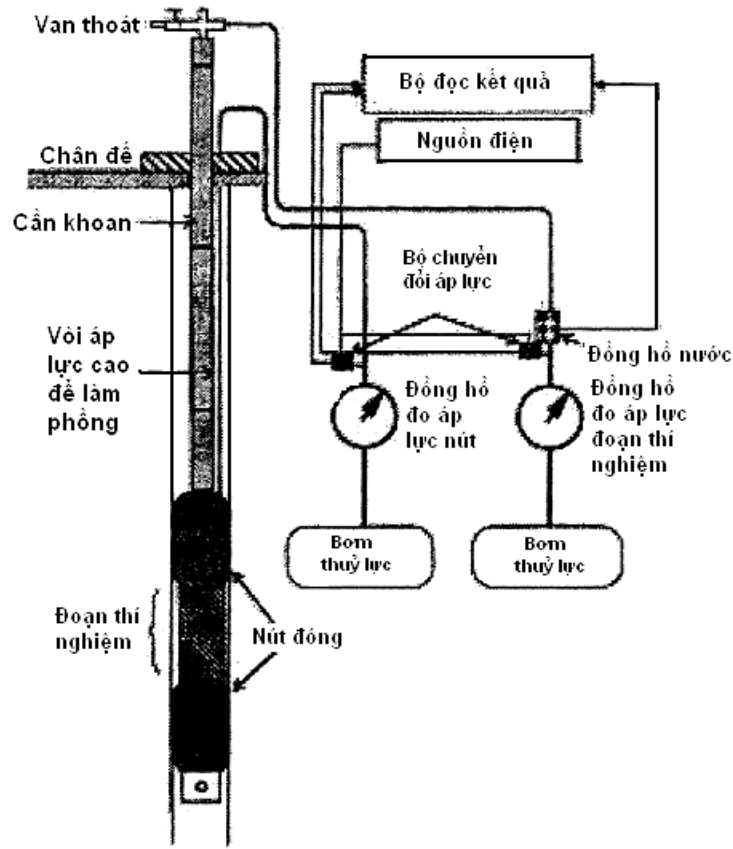
6 DỤNG CỤ VÀ THIẾT BỊ

6.1 *Giá ba chân hay thiết bị khoan* – Thiết bị dùng để hạ và nâng các dụng cụ tạo vết nứt bằng thủy lực trong hố khoan thí nghiệm là rất cần thiết. Để tạo thuận lợi cho công tác hạ và nâng các thiết bị tạo vết nứt bằng nước trong hố khoan, phải lắp đặt giá ba chân hoặc thiết bị khoan trên đỉnh của hố khoan thí nghiệm. Khi sử dụng ống áp lực cao hoặc ống khoan (cần khoan) để hạ các thiết bị, cần phải sử dụng thiết bị khoan có cần trục và tời có khả năng nâng được trọng lượng của cả ống và thiết bị. Khi sử dụng hệ vò bằng dây treo mềm để tạo vết nứt bằng nước, phải dùng một giá ba chân được thiết kế có đủ khả năng để chịu được trọng lượng của dụng cụ thí nghiệm, dây treo và hệ vò.

6.2 *Nút đóng kiểu chân xoè* – Hố khoan được làm kín bằng hai nút cao su được thổi căng, đặt cách nhau một khoảng ít nhất bằng 6 lần đường kính hố khoan, được nối cơ học và thủy lực với nhau để tạo ra một hệ gọi là nút đóng kiểu chân xoè.

6.3 *Ống hoặc vò áp lực cao* – Thực hiện việc đóng và tạo áp lực trong từng đoạn thí nghiệm bằng một ống áp lực cao (có thể thay ống này bằng cần khoan) hoặc bằng vò áp lực cao, hay tổ hợp của cả hai (nơi sử dụng ống để tạo áp lực lên đoạn thí nghiệm, và vò được buộc phía ngoài của ống tạo thuận lợi cho sự bơm phồng của nút). Vòi hay ống, hoặc cả hai, một đầu được nối với bơm hoặc máy tạo áp lực (0.7 MPa, tốc độ 0 đến 25 L/phút), và đầu còn lại nối với chân của nút đóng và đoạn thí nghiệm giữa

các nút đóng (Hình 2). Công suất máy bơm tương ứng với các giá trị nêu ra ở đây có thể lớn hơn tính thẩm của bất kỳ loại đá thông thường nào và thuận lợi cho việc tạo áp lực.

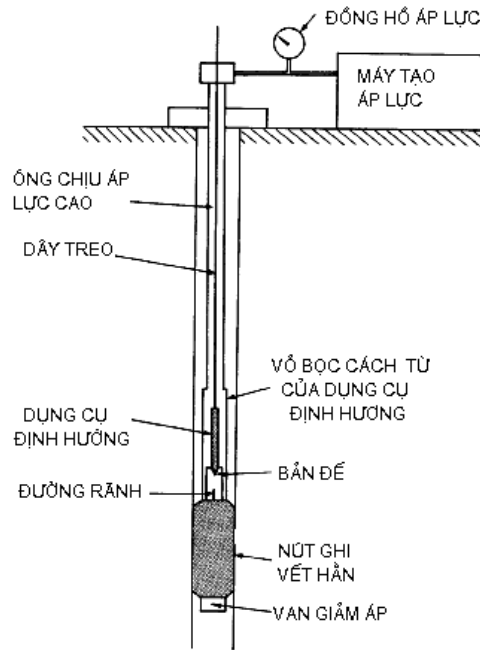


Hình 2 - Sơ đồ bố trí các thiết bị trong hố khoan và trên mặt đất của thí nghiệm tạo vết nứt bằng thủy lực

6.4 *Bộ chuyển đổi áp lực và đồng hồ đo lưu lượng* - Sử dụng bộ chuyển đổi áp lực (10 đến 70 MPa) để kiểm tra áp lực đoạn thí nghiệm cả trên bề mặt và theo chiều sâu thí nghiệm (hoặc cả hai). Trong một số bố trí, áp lực nút đóng cũng được kiểm tra tương tự như đoạn thí nghiệm. Sử dụng một đồng hồ đo lưu lượng để kiểm tra tốc độ lưu lượng của chất lỏng vào bên trong đoạn thí nghiệm. Các sensor đo được nối vào dụng cụ ghi có nhiều cổng để có được các số đo liên tục theo thời gian. Máy tính kỹ thuật số thực hiện lưu giữ các thông tin về áp lực thí nghiệm và tốc độ lưu lượng để sau này có thể thực hiện phân tích từ các số liệu này.

6.5 *Thiết bị tạo vết nứt bằng thủy lực:*

6.5.1 *Nút ghi vết nứt*– Thông thường sự xuất hiện và hướng của vết nứt do nước sinh ra thường được ghi lại bằng nút ghi vết nứt, là một nút đóng được làm căng bằng một lớp cao su bán lưu hoá bên ngoài rất mềm. Sử dụng một thiết bị định hướng dưới dạng một thiết bị thăm dò hố khoan bằng từ trường hoặc thiết bị thăm dò hố khoan có vòng quay hồi chuyển để xác định hướng và độ nghiêng mà vết nứt để lại trên nút đóng (Hình 3).



Hình 3 – Sơ đồ bố trí thiết bị trong hố khoan và trên mặt đất với nút ghi vết hàn của thí nghiệm tạo vết nứt bằng thủy lực

6.5.2 *Thiết bị thăm dò hố khoan bằng màn hình* - Một phương án khác thay cho nút ghi vết nứt là sử dụng thiết bị thăm dò hố khoan bằng màn hình, đó là một thiết bị siêu âm hố khoan ghi lại hình ảnh của thành hố khoan bằng âm thanh có định hướng. Thiết bị này nhanh hơn rất nhiều so với nút ghi vết nứt bởi vì nó có thể cho kết quả trên toàn chiều dài hố khoan thí nghiệm trong một lần thực hiện. Nút ghi vết nứt cần phải được phục hồi sau mỗi lần thí nghiệm đánh dấu hoặc thay thế lớp cao su bên ngoài trước khi hạ thiết bị xuống vùng kế tiếp. Tuy nhiên, thiết bị thăm dò hố khoan bằng màn hình có giá thuê hoặc mua tương đối đắt, và không phải lúc nào cũng nhận biết được các vết nứt mà bị khép chặt sau giai đoạn tạo áp lực, và phải đổ đầy chất lỏng vào trong hố khoan.

7 TRÌNH ĐỘ CHUYÊN MÔN CỦA NGƯỜI THỰC HIỆN VÀ CHỨNG CHỈ THIẾT BỊ

- 7.1 *Thí nghiệm viên* – Có thể tiến hành thí nghiệm tạo vết nứt bằng thủy lực ở các vị trí khác nhau và các loại đá khác nhau. Do yêu cầu ở hiện trường mà phải quyết định một cách nhanh chóng, có thể làm thay đổi kết quả của thí nghiệm. Do đó, người giám sát thí nghiệm phải là người có hiểu biết sâu sắc về lý thuyết của phương pháp thí nghiệm và phải có kinh nghiệm thực tế đã thực hiện thí nghiệm này với nhiều loại đá, nhiều chiều sâu và nhiều vị trí.
- 7.2 *Người khoan* – Quan trọng là chất lượng khoan để giữ cho hố khoan theo phương thẳng đứng nhất và mặt cắt hố khoan gần như là hình tròn.
- 7.3 *Chứng chỉ thiết bị* - Phải kiểm tra các qui định vận hành của các dụng cụ và thiết bị. Qui định vận hành thường yêu cầu hiệu chuẩn các thiết bị và hệ thống đo.

8 TRÌNH TỰ

- 8.1 Khoan một hố khoan (hầu hết các trường hợp là theo phương thẳng đứng) tới chiều sâu thí nghiệm. Sử dụng khoan lõi có mũi khoan bằng kim cương bởi vì phương pháp này lấy lõi khoan liên tục và tạo thành hố khoan có hình dạng tròn đều và nhẵn.
- 8.2 Lựa chọn vùng đá cứng không bị nứt trong hố khoan để thí nghiệm, có thể căn cứ từ lõi khoan, hoặc từ một hay nhiều máy đo địa vật lý (như compa, khối lượng thể tích, thiết bị thăm dò hố khoan) nếu chúng hoạt động được.
- 8.3 Để làm kín đoạn hố khoan thí nghiệm, hạ nút đóng kiểu chân xoè đến chiều sâu thí nghiệm xác định trước và tạo áp lực bằng thuỷ lực để thổi phồng nút áp vào thành của hố khoan. Việc tạo áp lực, thường sử dụng nước, được thực hiện trên bề mặt bằng máy bơm áp lực cao và được truyền tới nút qua các ống hoặc vòi mềm.
- 8.4 Với các nút được neo chặt vào thành của hố khoan (trong giai đoạn thí nghiệm này áp lực lên nút bằng 3 MPa là đủ), tạo áp lực bằng thuỷ lực (thường sử dụng nước) đoạn hố khoan thí nghiệm giữa các nút với tốc độ lưu lượng không đổi. Tốc độ này có thể thay đổi giữa các hố khoan khác nhau, phụ thuộc tính thấm của đá (tính thấm càng cao tốc độ càng cao). Nguyên tắc chung là tạo vết nứt bằng thuỷ lực trong một phút hoặc hơn kể từ khi bắt đầu tăng áp lực trong đoạn thí nghiệm. Trong suốt quá trình tạo áp lực lên đoạn thí nghiệm, phải duy trì áp lực lên nút cao hơn 2 MPa so với áp lực trong đoạn thí nghiệm để đảm bảo không bị rò rỉ. Khi đá bị nứt, tức là đã đạt đến áp lực phá huỷ. Khi đó nếu ngừng bơm mà không mở đường áp lực thì áp lực sẽ bị giảm đột ngột và dừng lại ở mức thấp hơn gọi là áp lực đóng. Việc tạo áp lực theo chu trình lặp lại với cùng tốc độ lưu lượng sẽ tạo ra áp lực phá huỷ thứ cấp (là áp lực cần thiết để làm mở lại vết nứt do nước tạo ra trước đó), và các giá trị tăng thêm của áp lực đóng.
- 8.5 Ghi lại liên tục toàn bộ quá trình tạo áp lực theo biểu đồ áp lực-thời gian và tốc độ lưu lượng-thời gian.
- 8.6 Khi kết thúc thí nghiệm, tiến hành mở thông áp lực đóng nhằm cho phép các nút trở lại đường kính ban đầu. Toàn bộ các bộ phận lắp ráp của nút đóng kiểu chân xoè có thể được di chuyển tới đoạn thí nghiệm tiếp theo hoặc được rút ra khỏi hố khoan.
- 8.7 Công cụ phổ biến nhất để xác định hướng của vết nứt bằng thuỷ lực là nút ghi vết nứt. Hạ nút trên cần khoan hoặc dây treo tới đoạn hố khoan thí nghiệm sau khi tạo vết nứt bằng thuỷ lực và thổi căng nút tới áp lực lớn hơn áp lực phá huỷ thứ cấp hoặc áp lực đóng (lấy giá trị lớn hơn). Điều này nhằm đảm bảo nút sẽ mở vết nứt một cách nhẹ nhàng và cho phép lớp cao su xung quanh tạo vết hằn của vết nứt tốt nhất. Sử dụng một thiết bị khảo sát hố khoan bằng la bàn từ trường (hoặc loại hồi chuyển) để chụp ảnh mặt được gắn la bàn mà thể hiện góc phương vị của một điểm cố định trên nút. Sau khi tạo áp lực khoảng 30 phút, làm xẹp nút ghi vết nứt và khôi phục lại. Xác định vết hằn của vết nứt và hướng của nó so với điểm cố định trên nút để có thể định hướng của nó theo hướng bắc.

Chú thích 3 – Như được đề cập ở 6.5.2 có thể sử dụng các thiết bị âm thanh hố khoan hoặc các thiết bị địa vật lý khác để lập bản đồ vết nứt. Các kỹ thuật này nhanh hơn và ít tốn kém hơn và một số kỹ thuật có thể cho các kết quả ba chiều rất hữu ích. Thông thường các kỹ thuật này phải có một cuộc khảo sát trước và sau khi thí nghiệm.

Tuy nhiên như đã đề cập, các phương pháp này không phải lúc nào cũng nhận biết được các vết nứt bị khép chặt sau giai đoạn tạo áp lực của thí nghiệm này và một số phương pháp yêu cầu hố khoan phải được đổ đầy chất lỏng.

9 TÍNH TOÁN

9.1 *Tổng quát* - Việc tính toán các ứng suất chính tại hiện trường nêu ra ở đây sử dụng phổ biến cho các hố thí nghiệm thẳng đứng. Sử dụng biểu đồ áp lực - thời gian, như mô tả ở hình 1, để xác định các kết quả thí nghiệm cần thiết cho việc tính toán; những hiểu biết về hình thái của vết nứt trên thành hố khoan là rất cần thiết để áp dụng các phương trình phù hợp và diễn dịch một cách chính xác các phép tính.

9.2 *Vết nứt thẳng đứng* - Nếu ứng suất thẳng đứng không phải là ứng suất chính nhỏ nhất, thì thí nghiệm sẽ tạo ra một vết nứt thẳng đứng. Trong trường hợp này, chỉ có thể tính được ứng suất thẳng đứng từ trọng lượng của đá nằm trên tầng thí nghiệm như sau:

$$\sigma_v = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot D_i \quad (1)$$

trong đó:

σ_v = ứng suất theo phương đứng,

γ_i = trọng lượng đơn vị trung bình của lớp đá thứ i nằm phía trên tầng thí nghiệm,

D_i = chiều dày của lớp đá thứ i , và

n = tổng số lớp đá nằm phía trên tầng thí nghiệm.

9.2.1 *Các ứng suất theo phương ngang* – Có thể tính toán 2 ứng suất chính theo phương ngang như sau:

$$\sigma_h = P_s \quad (2)$$

$$\sigma_H = T + 3\sigma_h - P_{c1} - P_0 \quad (3)$$

trong đó:

σ_h = ứng suất nhỏ nhất tại hiện trường theo phương ngang,

σ_H = ứng suất lớn nhất tại hiện trường theo phương ngang,

P_s = áp lực đóng tại tầng thí nghiệm,

P_{c1} = áp lực phá huỷ tại tầng thí nghiệm,

P_0 = áp lực chất lỏng tại tầng thí nghiệm, và

T = cường độ chịu kéo của đá bị phá huỷ bằng thủy lực.

Chú thích 4 - Nếu ghi lại áp lực trên bề mặt, các giá trị "tầng thí nghiệm" tương ứng sẽ được xác định bằng cách cộng áp lực đỉnh (tương đương với cột chất lỏng giữa bề mặt và tầng thí nghiệm) với các giá trị bề mặt ghi được. Mất mát do ma sát là nhỏ nhất khi dùng nước (là chất lỏng thường dùng để tạo vết nứt) và có thể bỏ qua.

9.2.2 Áp lực phá huỷ (P_{c1}) đạt được khi tạo ra vết nứt và thể hiện bằng đỉnh đường cong áp lực - thời gian trong chu kỳ tạo áp lực đầu tiên. Sau khi vết nứt mở ra, chất lỏng tràn vào và làm áp lực giảm đột ngột. Dùng bơm để xác định áp lực đóng (P_s), là áp lực đạt được khi vết nứt khép lại. Trong chu kỳ đầu tiên vết nứt có thể không kéo dài đủ xa từ hố khoan thí nghiệm (tối thiểu là 5 lần đường kính hố khoan) và giá trị áp lực đóng có xu hướng tương đối lớn. Trong các chu kỳ tiếp theo tiếp tục bơm trong một khoảng thời gian ngắn (yêu cầu là một phút) sau khi vết nứt được mở lại. Bây giờ vết nứt được xem là đủ dài và các áp lực đóng gần hơn với ứng suất theo phương ngang nhỏ nhất. Trừ khi các vết nứt cắt qua các khe nứt hở có trước hoặc bộ phận nứt, áp lực đóng sẽ được giữ gần như không đổi từ chu trình này sang chu trình khác. Một số phương pháp xác định áp lực đóng trên đường cong áp lực - thời gian được trình bày bởi Lee và Haimson³.

³ Lee, M. Y., and Haimson, B. C., "Statistical Evaluation of Hydraulic Fracturing Stress Measurement Parameters," *Int. J. Rock Mech and Mininf Sci.*, Vol 26, 1989, pp. 447-456.

9.2.3 Cường độ chịu kéo (T) không phải là một hằng số mà thay đổi theo tốc độ chất tải, kích thước mẫu, kích thước hạt và phương thức thí nghiệm. Có thể xác định cường độ chịu kéo trong phòng thí nghiệm và khi sử dụng phải xét đến các yếu tố kém chắc chắn. Không trực tiếp xác định T trong hố khoan thí nghiệm. Tuy nhiên, khi có thể giả thiết một cách chắc chắn rằng đá bị nứt do nước sẽ hoàn toàn khép lại khi kết thúc một chu kỳ tạo áp lực, thì áp lực cần để mở lại các vết nứt trong chu kỳ tạo áp lực thứ hai (áp lực mở lại vết nứt, hoặc áp lực tạo vết nứt trở lại, P_{c2}) có thể dùng thay cho P_{c1} ở phương trình 3 như sau:

$$\sigma_H = 3\sigma_h - P_{c2} - P_0 \quad (4)$$

9.2.3.1 Hai phương trình này là giống nhau trừ khi trong phương trình 4 giả thiết là $P_{c2} = P_{c1} - T$ do cường độ chịu kéo của đá sau khi bị nứt (đã xảy ra trong chu kỳ đầu tiên) bằng 0. Nếu vết nứt khép lại hoàn toàn, độ dốc của đường cong áp lực - thời gian sẽ giống như chu kỳ đầu tiên cho tới khi vết nứt mở ra và độ dốc thay đổi. Điểm thay đổi độ dốc được xem là P_{c2} . Nếu vết nứt không đóng lại hoàn toàn, thì độ dốc của đường cong áp lực-thời gian sẽ không bao giờ giống với chu kỳ đầu tiên và phương pháp xác định gián tiếp T này sẽ không sử dụng được. Chỉ nên xác định P_{c2} từ chu kỳ thứ hai trong khi mà vết nứt còn mới và hiện tượng xói mòn và sự rời rạc các hạt mới chỉ xảy ra rất ít. Một phương pháp xác định P_{c2} khá khách quan từ đường cong áp lực-thời gian được trình bày bởi Lee và Haimson³.

9.2.4 Xác định hướng của các ứng suất theo phương ngang từ các phương trình sau:

hướng σ_H = hướng vết nứt thẳng đứng

hướng σ_h = hướng vuông góc với hướng vết nứt thẳng đứng

9.2.4.1 Việc xác định này dựa trên giả thiết (đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm) là vết nứt bắt đầu xuất hiện và kéo dài dọc theo đường sức kháng nhỏ nhất, là đường vuông góc với ứng suất chính nhỏ nhất.

9.3 *Các vết nứt ngang và thẳng đứng* – Khi σ_v là ứng suất chính tổng nhỏ nhất, vết nứt từ hố khoan thí nghiệm sẽ có hướng theo phương ngang. Tuy nhiên tại thành của hố khoan, phân bố ứng suất trong đá nguyên khối sẽ tạo ra một vết nứt thẳng đứng theo hướng của σ_H . Vì vậy, vết nứt do nước ban đầu sẽ có hướng thẳng đứng, và trong chu kỳ đầu tiên đường cong áp lực-thời gian sẽ có dạng như trình bày ở 9.2. Tuy nhiên, trong các chu kỳ tiếp theo, khi vết nứt mở rộng, thông thường nó sẽ định hướng lại theo phương vuông góc với ứng suất chính nhỏ nhất, và nó sẽ chuyển thành một vết nứt ngang. Áp lực đóng tương ứng sẽ giảm xuống một giá trị xấp xỉ bằng ứng suất thẳng đứng. Nút ghi vết nứt hoặc thiết bị siêu âm hố khoan bằng màn hình sẽ xác định lại chính xác sự xuất hiện của các vết nứt thẳng đứng và các vết nứt ngang. Hình dạng của các vết nứt này sẽ cho phép tính toán trực tiếp cả ba ứng suất chính:

$$\sigma_h = P_{S1} \quad (5)$$

$$\sigma_H = T + 3\sigma_h - P_{c1} - P_0$$

hoặc:

$$\sigma_H = 3\sigma_h - P_{c2} - P_0 \quad (6)$$

$$\sigma_v = P_{S2}$$

trong đó:

P_{S1} = áp lực đóng ban đầu, và

P_{S2} = áp lực đóng thứ hai.

9.3.1 Nếu lượng chất lỏng bơm vào vết nứt được tính toán đủ để kéo dài vết nứt không lớn hơn 3 đến 4 lần đường kính trong suốt mỗi một chu kỳ tạo áp lực, thì vết nứt thẳng đứng và áp lực đóng tương ứng sẽ vẫn tồn tại trong 2 đến 3 chu kỳ đầu tiên. Sau đó, giá trị áp lực đóng sẽ giảm liên tục (thường trong 2 đến 3 chu kỳ) cho tới khi đạt đến tình trạng đóng ổn định thứ hai trùng với sự phát triển của vết nứt ngang. Giá trị áp lực đóng này sẽ tồn tại trong các chu kỳ áp lực lớn hơn.

9.4 *Vết nứt ngang* - Khi σ_v là ứng suất chính nhỏ nhất và thành lỗ thí nghiệm có các phân lớp ngang, xiên hoặc có tính không đồng nhất theo phương ngang khác, thậm chí là một số nhỏ, khi đó một hoặc nhiều vết nứt theo phương ngang sẽ phát triển. Trong trường hợp này ứng suất duy nhất có thể tính toán được từ thí nghiệm tạo vết nứt bằng nước là σ_v :

$$\sigma_v = P_S \quad (7)$$

9.4.1 Đánh giá về mặt định lượng các ứng suất theo phương ngang như sau :

$$\sigma_H \geq \sigma_h \geq \sigma_v (= P_S) \quad (8)$$

9.5 Các vết nứt nghiêng – Đôi khi có thể xảy ra các vết nứt nghiêng. Điều này là do phương của ứng suất chính bị nghiêng đáng kể so với trục của hố khoan thí nghiệm và mặt phẳng vuông góc với trục đó. Trong các trường hợp hãn hữu này có thể sử dụng các cách tính ở 9.2 và 9.3 để ước tính ứng suất chính nếu như mặt phẳng của vết nứt bị lệch ít hơn 15° so với trục thẳng đứng. Cornet và Valette⁴ đã đề xuất một phương pháp chính xác hơn để xác định các ứng suất tại hiện trường trong trường hợp này.

⁴ Cornet, F. H., and Valette, B., " In Situ Stress Determination from Hydraulic Injection Test Data," *Journal of Geophysical Research*, Vol 89, 1984, pp. 11527-11537.

10 BÁO CÁO

10.1 Mục đích của phần này là để thiết lập các yêu cầu tối thiểu cho một báo cáo hoàn thành hoặc báo cáo ứng dụng. Có thể bổ sung các chi tiết khác khi phù hợp, và cũng có thể thay đổi trình tự của các hạng mục nếu cần thiết.

10.2 *Phần giới thiệu:*

10.2.1 Mục đích của thí nghiệm; ví dụ dùng cho thiết kế hầm, thiết kế đường hầm áp lực, mô tả sự hình thành kiến tạo.

10.2.2 Chi tiết về vị trí thí nghiệm, bao gồm một bản đồ (tốt nhất là bản đồ địa hình) có kinh độ và vĩ độ.

10.2.3 Lý do lựa chọn vị trí thí nghiệm theo mục đích thí nghiệm.

10.2.4 Chi tiết hố khoan thí nghiệm, như là độ nghiêng của hố khoan, đường kính, chiều sâu, phương pháp khoan, các lõi khoan hiện có, mực nước ngầm trong hố khoan và áp lực chất lỏng bất thường trong hố nếu có tồn tại.

10.2.5 Địa chất của vị trí thí nghiệm, bao gồm một bảng tóm tắt địa chất khu vực và địa chất cục bộ, loại đá hoặc các loại đá gặp trong hố khoan, địa chất chi tiết trong đoạn hố khoan thí nghiệm và trong phần ngay trước và sau của đoạn hố khoan thí nghiệm, một mô tả về kết cấu địa chất tổng quát như là chỗ đứt đoạn, hình thành khe nứt, nếp gấp và sự hình thành kiến tạo.

10.3 *Phương pháp thí nghiệm:*

10.3.1 Mô tả chi tiết về các thiết bị và công tác lắp đặt các thiết bị bao gồm một sơ đồ, và danh sách gồm tên, số hiệu, các tiêu chuẩn cơ bản của mỗi một nhóm thiết bị chính và hiệu chuẩn gần đây nhất.

10.3.2 Mô tả chi tiết trình tự thí nghiệm thực tế và cả tốc độ lưu lượng, số chu kỳ tạo áp lực và lưu lượng chất lỏng dùng cho mỗi chu kỳ. Đồng thời phải nêu rõ thứ tự thí nghiệm và cơ sở lựa chọn chiều sâu thí nghiệm.

10.3.3 Nếu thiết bị hoặc trình tự thí nghiệm thực tế thay đổi so với các yêu cầu của phương pháp thí nghiệm này, thì cần phải ghi chú mọi thay đổi và lý do thay đổi; đồng thời trình bày ảnh hưởng của các thay đổi đó tới kết quả thí nghiệm

10.4 *Phần cơ sở lý thuyết:*

10.4.1 Phải trình bày và định nghĩa rõ ràng tất cả các công thức dùng để chiết giảm kết quả; ghi chú mọi giả thiết áp dụng trong công thức hay giới hạn áp dụng các công thức đó và trình bày ảnh hưởng của chúng tới kết quả thí nghiệm.

10.4.2 Trình bày mức độ các điều kiện về địa điểm thí nghiệm thực tế thoả mãn với các giả thiết đã nêu trong phương trình chiết giảm kết quả. Trình bày bất cứ hệ số hay phương pháp dùng để hiệu chỉnh các kết quả khi điều kiện khác nhau.

10.5 *Phần Kết quả:*

10.5.1 *Sử dụng các biểu đồ áp lực - thời gian, lưu lượng - thời gian để lập một bảng trong đó nêu rõ thứ tự thí nghiệm, chiều sâu, áp lực lỗ rỗng, số chu kỳ và áp lực phá huỷ, áp lực mở lại vết nứt, áp lực đóng và tốc độ lưu lượng tương ứng. Đưa một bản copy các số đọc ban đầu vào phần phụ lục. Giải thích rõ và điều chỉnh phương pháp đã dùng để xác định các áp lực khác nhau cần cho việc tính ứng suất.*

10.5.2 Sử dụng biểu đồ phác hoạ vết nứt để lập một bảng nêu rõ thứ tự thí nghiệm, chiều sâu, độ nghiêng và hướng của vết nứt (hoặc hướng và độ nghiêng của vết nứt theo các thuật ngữ địa kỹ thuật). Trong phần phụ lục phải bao gồm cả mô hình chính xác của vết hàn của vết nứt trên nút ghi vết nứt hoặc các ảnh của hình trụ hố khoan thăm dò bằng siêu âm (phụ thuộc vào phương pháp thí nghiệm được sử dụng).

10.5.3 Ghi lại các ứng suất chính theo phương đứng và phương ngang bằng một bảng tính mẫu và một bảng tổng hợp ghi rõ số thứ tự thí nghiệm, chiều sâu thí nghiệm, áp lực phá huỷ hoặc áp lực mở lại vết nứt, hoặc cả hai, áp lực đóng, và cường độ chịu kéo (nếu phù hợp) đã được lựa chọn cùng với các giá trị ứng suất thẳng đứng, ứng suất ngang nhỏ nhất, ứng suất ngang lớn nhất và hướng của ứng suất ngang lớn nhất đã tính được đối với từng thí nghiệm.

10.5.4 Nên trình bày dưới dạng đồ thị về độ lớn và hướng của các ứng suất chính (ví dụ: là hàm số của chiều sâu, và trong phép chiếu nổi).

10.5.5 Có thể bao gồm các kiểu phân tích và trình bày kết quả khác khi phù hợp, như là trạng thái ứng suất trong mỗi cấu trúc đá được thí nghiệm (nếu có nhiều hơn một), sự thay đổi ứng suất theo chiều sâu, quan hệ giữa trạng thái ứng suất đo được với các địa chất khu vực và cục bộ, hoặc cả hai, cần nêu rõ kiểu đứt đoạn, mối quan hệ của ứng suất đo được với mặt bằng đứt đoạn khu vực hay cục bộ, hoặc cả hai, và những cái khác.

10.6 *Đánh giá sai số:*

10.6.1 Đánh giá các sai số liên quan đến sai sót của các thiết bị điện tử và việc xác định đúng các áp lực khác nhau như P_{c1} , P_{c2} , và P_s .

- 10.6.2 Tính ảnh hưởng của các sai số đo nên ứng suất và trạng thái tính toán bằng các giá trị áp lực tuyệt đối hoặc phần trăm, hoặc cả hai của trị số ứng suất được nêu ra.
- 10.7 Cần trình bày hai phụ lục: một bao gồm tất cả các số liệu thu thập tại hiện trường trong quá trình tạo vết nứt, như biểu đồ áp lực - thời gian, tốc độ lưu lượng - thời gian, phụ lục thứ hai bao gồm các thông tin về phác hoạ vết nứt trên thành hố khoan, bao gồm hướng của vết nứt so với phương bắc.

11 ĐỘ CHÍNH XÁC VÀ SAI SỐ

- 11.1 *Độ chính xác* – Tại một thời điểm, do tính chất của vật liệu đá được kiểm tra theo phương pháp này, nên việc tạo ra nhiều vị trí thí nghiệm có các đặc tính đồng đều là không thể thực hiện được hoặc chi phí quá đắt. Bất cứ sự khác nhau nào quan sát được chỉ có thể là mẫu thí nghiệm, hay là người thí nghiệm, hay sự khác nhau về thí nghiệm trong phòng. Tiểu ban D 18.12 rất mong chờ các đề xuất nhằm giải quyết vấn đề này để tạo ra sự phát triển trong một kết luận có độ chính xác hợp lý. Không có bất kỳ một giá trị tham khảo nào của đá được chấp nhận trong phương pháp thí nghiệm này; vì vậy, không thể xác định được sai số.

12 CÁC TỪ KHOÁ

- 12.1 Hố khoan; áp lực chất lỏng; tạo vết nứt bằng thủy lực; ứng suất hiện trường.

TÓM TẮT CÁC THAY ĐỔI

- (1) Bổ sung phần Tóm tắt các thay đổi và được ghi chú trong đề mục của Mục 1.
- (2) Bổ sung cho các thông số chủ yếu, trong Mục 1.
- (3) Bổ sung phần tham khảo thành Mục 2 và đánh số lại các mục sau đó.
- (4) Bổ sung tham khảo D 653, D 2113, D 3740, D 5079,, và D 6026 vào mục tham khảo.
- (5) Xoá từ “nguy hiểm” và thay bằng từ “phá huỷ” trong phần thuật ngữ và trong tất cả các phần khác.
- (6) Bổ sung từ “khép” sau từ “mở lại” trong mục 2.1.3.
- (7) Bổ sung từ “thường” trước từ “giả định” trong mục 2.1.5.
- (8) Bổ sung với D 3740 về khả năng trong mục ý nghĩa và sử dụng.
- (9) Thay đổi “thể hiện bằng” thành “để lại dấu vết trên” trong mục 4.1.4.
- (10) Thay đổi ký hiệu của ứng suất thẳng đứng trong phương trình 1 để thống nhất với liệt kê ký hiệu bên dưới phương trình.
- (11) Trong phần liệt kê các ký hiệu dùng cho phương trình 1 “ khối lượng thể tích trung bình” thay bằng “trọng lượng đơn vị”.

- (12) Xoá bỏ câu cuối cùng trong tiêu đề mục 8 “ Các vết nứt nghiêng”.
- (13) Bổ sung chú thích vào mục 8.7 về cách sử dụng phương pháp địa vật lý bên dưới hố khoan để xác định hướng của vết nứt.
- (14) Tham khảo 3 được thay đổi thành Lee, M. Y., and Hiamson, B. C., “Statistical Evaluation of Hydraulic Fracturing Stress Measurement Parameters,” *Int. J. Rock Mech and Mininf Sci.*, Vol 26, 1989, pp. 447-456
- (15) Câu sau được bổ sung vào mục 8.2.3 “ Cường độ chịu kéo có thể xác định trong phòng thí nghiệm và khi sử dụng phải xét đến các yếu tố kém chắc chắn. ”
- (16) Câu sau được bổ sung vào mục 8.2.3.1 “Một phương pháp xác định P_{c2} khá khách quan từ đường cong áp lực-thời gian được trình bày bởi Lee và Haimson”.
- (17) Bỏ “Bảng” từ bảng ghi ở Hình 2.

Hiệp hội ASTM không có chức năng đánh giá hiệu lực của các quyền sáng chế đã xác nhận cùng với bất kỳ một hạng mục nào đề cập trong tiêu chuẩn này. Người sử dụng tiêu chuẩn này phải chú ý rằng việc xác định hiệu lực của bất kỳ quyền sáng chế nào và nguy cơ xâm phạm các quyền này hoàn toàn là trách nhiệm của Hiệp hội.

Tiêu chuẩn này được Ủy ban kỹ thuật có trách nhiệm duyệt lại vào bất kỳ lúc nào và cứ 5 năm xem xét một lần và nếu không phải sửa đổi gì, thì hoặc được chấp thuận hoặc thu hồi lại. Mọi ý kiến đều được khuyến khích nhằm sửa đổi tiêu chuẩn này hoặc các tiêu chuẩn bổ sung và phải được gửi thẳng tới Trụ sở chính của ASTM. Mọi ý kiến sẽ nhận được xem xét kỹ lưỡng trong cuộc họp của Ủy ban kỹ thuật có trách nhiệm và người đóng góp ý kiến cũng có thể tham dự. Nếu nhận thấy những ý kiến đóng góp không được tiếp nhận một cách công bằng thì người đóng góp ý kiến có thể gửi thẳng đến địa chỉ của Ủy ban tiêu chuẩn của ASTM sau đây:

Tiêu chuẩn này được bảo hộ bởi ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Để in riêng tiêu chuẩn (một bản hay nhiều bản) phải liên lạc với ASTM theo địa chỉ trên hoặc 610-832-9585 (điện thoại), 610-832-9555 (Fax), hoặc service@astm.org (e-mail); hoặc qua website của ASTM (www.astm.org).