

Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>

Solution for the preliminary weakening of hard roof for progressive caving in Panel M6 CD-2 level -190/-130 at Mong Duong coal company



Hung Phi Nguyen^{1,2,*}, Hung Duc Pham^{1,2}, Dung Tien Le^{1,2}

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Research Group: Sustainable Development of Mining Science, Technology and Environment, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20th Sept. 2024

Revised 26th Dec. 2024

Accepted 09th Jan. 2025

Keywords:

Roof rock,
Pressurized water,
Headgate,
Tailgate,
Support.

ABSTRACT

Panel M6 CD-2 level -190/-130 at Mong Duong coal company is one of the panels where caving sections did not occur as designed, leaving large mined-out voids. The mine pressure generated by hanging roof greatly concentrates on the face area, causing local face spall and roof fall and hindering support movement. To minimise these negative impacts on the panel, the Company has designed a solution to drilling holes of less than 2.5 m length behind the support tail to conduct forced roof caving by means of blasting. The solution helps to reduce the stress concentration on the face and to decrease the risk of unsafety. However, despite the large drilling work volume, roof caving efficiency was not as high as expected. The large periodic caving span of 14.57 m creates a large void that poses a potential risk of sudden roof collapse or eventually “windblast” which is extremely serious.

This paper is based on the roof collapse law to calculate the roof rock's natural caving span. The load from the hanging roof is proposed to transfer to lower strata by a new method of cutting roof along the designed planes. This leads to the redistribution of mine pressure and the release of elastic energy stored in roof strata. The solution using pressurized water is implemented to weaken the rock, change the mechanical properties of rock, and relocate the forced caving points. The paper's result has established water-pressurized drill holes at intersections between the rib and roof of transportation and ventilation roadways with an interval of 12÷15 m. An associated water pressure of 931.09 kG/cm² is found to induce a regular caving span of 1.6 m as designed.

Copyright © 2025 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: nguyenphihung@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(1).07



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>

Giải pháp làm yếu vách cứng sơ bộ phục vụ phá hỏa theo tiến độ cho lò chợ M6 CĐ-2 mức -190/-130 công ty than Mông Dương

Nguyễn Phi Hùng^{1,2*}, Phạm Đức Hưng^{1,2}, Lê Tiến Dũng^{1,2}

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Nhóm nghiên cứu: Phát triển bền vững khoa học công nghệ mỏ và môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 20/9/2024

Sửa xong 26/12/2024

Chấp nhận đăng 09/01/2025

Từ khóa:

Đá vách,

Ép nước,

Lò chân

Lò đầu

Vì chống.

Lò chợ M6 CĐ-2 mức -190/-130 là một trong những khu vực khai thác có nhiều đoạn không phá hỏa như thiết kế, để lộ khoảng trống khai thác lớn. Áp lực mỏ dồn từ khu vực phá hỏa lên lò chợ gây ra hiện tượng lở gương, tụt nóc cục bộ, gây cản trở trong việc di chuyển giá, ... Nhằm hạn chế những tác động tiêu cực đến sản xuất lò chợ, công ty đã lập biện pháp và thực hiện khoan các lỗ khoan <2,5 m phía sau đuôi giá để khoan nổ mìn cưỡng bức hạ vách. Việc cắt vách treo cứng có thể làm giảm áp lực tác động và tạo ra sự phân bố lại ứng suất trên bề mặt khu vực lò chợ, giảm nguy cơ mất an toàn. Tuy nhiên, dù khối lượng mét khoan lớn nhưng không đạt được hiệu quả hạ vách như mong muốn. Bước sập đổ đá vách thường kỳ là 14,57 m tạo ra khoảng trống khai thác lớn tiềm ẩn những nguy cơ sập đổ đột ngột, mất kiểm soát sẽ gây ra mất an toàn lao động, có thể tạo ra "cú đập vách" rất nguy hiểm.

Bài viết trên cơ sở phân tích các quy luật sập đổ đá vách, tính toán bước sập đổ tự nhiên làm cơ sở để chuyển tải trọng từ lớp đá bên trên xuống lớp bên dưới, phân bố lại áp lực mỏ, giải phóng năng lượng đàn hồi lưu trữ từ lớp vách treo bằng phương pháp cắt vách dọc theo các mặt phẳng thiết kế. Phương án sử dụng làm yếu vách là nước có áp làm thay đổi đặc tính cơ học đá, định hướng lại điểm gãy cưỡng bức, đảm bảo an toàn khai thác mỏ. Kết quả nghiên cứu đã thiết lập các lỗ khoan ép nước tại vị trí giáp hông-nóc lò dọc vỉa thông gió, dọc vỉa vận tải, khoảng cách các lỗ khoan từ 12÷15 m, áp lực nước cần thiết là 931,09 kG/cm² thì đạt được hiệu quả đưa bước phá hỏa thường kỳ về 1,6 m theo thiết kế.

© 2025 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: nguyenphihung@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(1).07

1. Mở đầu

Trong quá trình khai thác, than và đá ở phía trước gương làm thay đổi ứng suất động do ứng suất giới hạn giảm, tác động lên ranh giới lớp đá hoặc tồn tại trong lớp đá để buộc đá xung quanh di chuyển đến khoảng trống không gian khai thác (Du và Wang, 2019; Du và nnk., 2020). Toàn bộ quá trình biến dạng, phá hủy và di chuyển của khối đá dưới tác dụng của áp lực mỏ thông qua chuyển động của đá xung quanh và lực đỡ được gọi là hiện tượng xuất hiện áp lực mỏ. Ứng suất tồn tại sẵn trong đá gốc trước khi khai thác là nguyên nhân sâu xa gây ra áp lực mỏ. Độ lớn, hướng và tỷ lệ giữa ứng suất thẳng đứng và ứng suất ngang của từng điểm trong đá ban đầu quyết định sự phân bố lại ứng suất của đá xung quanh sau khi khai thác (Haiming và nnk., 2002). Kỹ thuật khai thác phá hóa toàn phần tạo ra trạng thái cân bằng mới sau khai thác khi một lớp đá ngàm vào nguyên khối và đầu còn lại được tựa lên khối đá đã sập đổ gọi là dầm công xôn (console). Lúc này áp lực mỏ đã được phân bố ra hông và về phía khoảng trống đã khai thác. Áp lực mỏ được chia thành 3 vùng gồm vùng sập đổ, vùng nứt nẻ và vùng uốn võng. Nếu không xuất hiện vùng sập đổ, toàn bộ tải trọng động chuyển sang tải trọng tĩnh (Jiang và nnk., 2017). Theo mức độ gia tăng của chiều sâu khai thác, áp lực mỏ cũng tăng nhanh do ứng suất nguyên sinh trong khối đá lớn và lớp đá bên trên đè xuống bên dưới tạo ra giá trị áp lực theo phương thẳng đứng γH (Đỗ và Vũ, 2008). Giả thuyết vòm cân bằng tự nhiên dựa trên mô phỏng các đồng đá đổ tự nhiên có dạng hình parabol, đỉnh vòm là phần áp lực cao nhất, chân vòm có một điểm đặt ở khu vực lò chợ, một điểm tựa là khối đá sập đổ phía sau.

Theo tiến độ khấu của lò chợ, các vòm parabol cũng lớn dần theo, khi vòm đủ lớn (đạt giá trị tới hạn) sẽ xuất hiện điểm gãy vách gây ra sự sập đổ. Khi tiến gương lò chợ lên phía trước, các vòm parabol lớn dần theo mức độ tịnh tiến và đạt tới giá trị giới hạn khi vách ở điểm đó không xuất hiện sự sập đổ nhưng xuất hiện điểm gãy (Lê và Vũ, 2023). Giả thuyết dầm công xôn cho rằng khi vách là đá rắn và phân lớp ở các lò chợ đủ dài thì nó làm việc như những tấm dầm công sơn. Những tấm dầm này được ngàm chặt một đầu trong khối nguyên trước gương lò chợ,

còn đầu kia treo tự do bên trên lò chợ và khoảng trống đã khai thác, hoặc tựa lên vì chống lò. Khi tải trọng của đá vách và không gian bỏ trống bên dưới đủ lớn tạo ra uốn võng dẫn đến sập đổ đá vách (Wang và nnk., 2020). Giả thuyết của Labass cho rằng, theo mức độ dịch chuyển của lò chợ xuất hiện sự hạ võng của các lớp đá vách gây ra sự nứt nẻ sơ bộ của nó ở trước gương lò chợ. Các nứt nẻ này được hình thành liên tục trong các lớp đá nằm trên và có thể phát triển đến mặt đất (Li và nnk., 2018).

Các giả thuyết trên đều chỉ ra rằng quá trình khai thác than tạo ra khoảng trống, dưới áp lực của các lớp đất đá bên trên, lò chợ tiến gương đến một khoảng nhất định thì đất đá vách sẽ tự sập đổ. Ứng suất ở phía trước gương lò chợ thay đổi đáng kể trong quá trình khai thác, là điểm cốt lõi tạo ra các điểm gãy đá vách vào không gian trống phía sau (Li và nnk., 2015; Đỗ và Vũ, 2008). Khi khoảng rỗng vách quá lớn không có điểm tựa lực cho các dầm conson dẫn đến hiện tượng "vòm treo diện tích lớn" tạo ra sự tích tụ áp lực đến cực điểm, áp lực dồn từ phía sau chuyển vị về phía trước cộng hưởng với sự chồng chất tải trọng động và tải trọng tĩnh. Một sự giải phóng năng lượng lớn có thể tạo ra cú đập vách, hoặc nguy cơ nổ đá ở phía mặt gương gây mất an toàn lao động (Haiming và nnk., 2002). Do đó, việc làm cho đá vách sập đổ theo chu kỳ nhằm tạo ra những trạng thái cân bằng lực mới là điều bắt buộc để đảm bảo an toàn khai thác mỏ.

Để hạ vách có thể sử dụng phương pháp phá hóa tự nhiên, khi điều kiện đất đá vách có cấu trúc đơn giản, dễ nứt vỡ, tải trọng của đá sẽ tạo ra các điểm gãy theo bước tiến gương (Đỗ và Vũ, 2008; Lê và Vũ, 2023). Đối với các vách cứng vững không thể hạ tự nhiên theo bước tiến gương thì có thể áp dụng giải pháp hạ vách cưỡng bức. Để phá vách cưỡng bức có thể sử dụng phương pháp khoan nổ mìn lỗ khoan ngắn, khoan trực tiếp lên vách và cho nổ hạ vách. Phương án này mỏ Mông Dương đã thực hiện nhưng gây cản trở hoạt động khai thác, khối lượng mét khoan nhiều nhưng không có hiệu quả (vách vẫn treo) (Công ty CP Than Mông Dương, 2023). Do đó, cần thiết có giải pháp kỹ thuật khác để giải quyết vấn đề hạ vách treo cưỡng bức.

Các lỗ khoan dài 15÷45 m từ các lò dọc vỉa vận tải, dọc vỉa thông gió nạp nổ làm yếu vách trước gương hoặc hạ vách sau gương (làm yếu sơ bộ). Giải pháp này sử dụng sóng nổ với lỗ khoan dài tạo ra từ lò dọc vỉa thông gió, lò dọc vỉa vận tải, không tạo ra nhiều cản trở hoạt động khai thác, tuy nhiên việc kiểm soát năng lượng nổ khó khăn. Lượng thuốc nổ sử dụng quá ít sẽ không có hiệu quả, nếu sử dụng quá nhiều thì đá vách đã vỡ vụn trước khi khai thác đến khu vực (trong trường hợp nổ trước gương), hoặc tạo ra sóng rung chấn lớn gây ra xô lệch vì chống, đổ lò (trong trường hợp nổ sau gương). Vì vậy, cần thiết phải có một phương án khác ít rủi ro hơn phương án nổ mìn, và giải pháp sử dụng áp lực nước là lựa chọn lý tưởng để thực hiện.

2. Xác định điểm gãy tự nhiên của vách trong quá trình khai thác lò chợ M6 CĐ-2 mức -190/-130

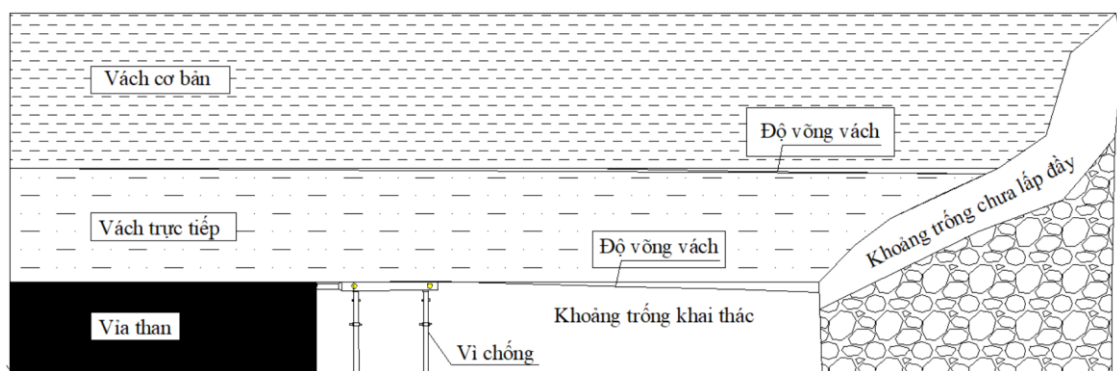
Các thông số cơ bản của đất đá xung quanh lò chợ M6-2 mức 190/-130 được trình bày trong Bảng 1. Vỉa than có chiều cao khẩu trung bình 2,2 m bao gồm 1,6 m than và 0,6 m lớp đá kẹp. Chiều dài lò chợ theo phương khai thác tối thiểu 55 m (giai đoạn 1) và tối đa 245 m (giai đoạn 2). Bước khẩu là 0,8 m. Bước phá hỏa

thường kỳ theo tính toán thiết kế ban đầu là 1,87 m. Đối với công tác phá hỏa ban đầu do đặc điểm vách khó sập đổ nên phải tiến hành phá hỏa cưỡng bức. Giàn chống sử dụng có mã hiệu XDY, tải trọng làm việc 1800 kN, áp suất bơm cột 20 MPa. Hiện trạng cấu trúc cơ bản đất đá khu vực lò chợ trước khi có giải pháp mô tả tại Hình 1.

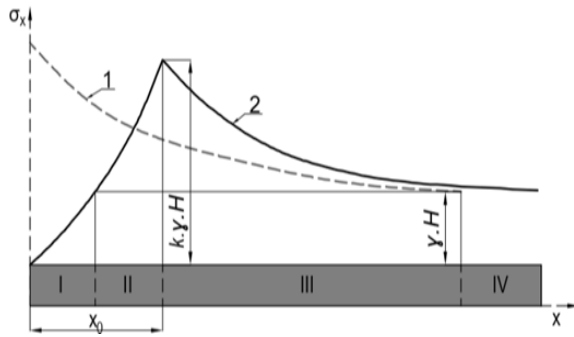
Quá trình khai thác lò chợ sẽ phá vỡ trạng thái cân bằng và thay đổi gia tăng ứng suất trong khối than nguyên giáp với khu vực khai thác (Hình 2). Theo đó, phạm vi trụ than chịu ảnh hưởng sẽ hình thành bốn vùng theo hướng từ phá hỏa về khối than nguyên là: Vùng bờ rời (I); Vùng rời rạc (II); Vùng dẻo (III); Phạm vi tăng cao ứng suất vùng đàn hồi (IV). Giả sử trụ than tại chu vi vùng khai thác ở vào trạng thái biến dạng đàn hồi, thì ứng suất thẳng đứng trụ than σ_y được phân bố như đường cong 1. Giá trị σ_y phát triển theo đường cong hàm mũ âm phụ thuộc vào khoảng cách x_0 tới biên của khu vực khai thác. Thực tế, dưới tác dụng của áp lực cao, tại vùng lân cận khu vực khai thác sẽ xuất hiện vùng bờ rời và vùng dẻo, đồng thời gây nên dịch chuyển hướng ứng suất vào bên trong khối than và gây ra biến dạng dẻo. Trong vùng bờ rời (vùng I), đất đá đã bị lở rời và vỡ vụn, cơ bản không thể truyền ứng suất thẳng đứng.

Bảng 1. Thông số cơ bản của đất đá xung quanh lò chợ khu vực nghiên cứu.

TT	Tập đá vách	Chiều dày (m)	Khối lượng thể tích, γ (kg/m ³)	Độ bền nén, σ_n (MPa)	Độ bền kéo, σ_k (MPa)	Lực dính kết, C (MPa)	Góc ma sát trong, φ (độ)
1	Vách trực tiếp (bột kết)	4,5	2660	59,47	9,15	13,96	33 ^o 25'
2	Vách cơ bản (gồm bột kết và cát kết hạt mịn đến thô)	22	2630	111,83	10,39	36,77	35 ^o 29'



Hình 1. Mô tả cấu trúc cơ bản đất đá khu vực lò chợ M6 CĐ-2 mức -190/-130.



1- Ứng suất đàn hồi; 2 - Ứng suất đàn hồi dẻo; I- Vùng phá hủy (vùng bờ rời); II - Vùng phá hủy dẻo (vùng rời rạc); III- Vùng ứng suất đàn hồi tăng cao (vùng dẻo); IV- Vùng ứng suất ban đầu (vùng đàn hồi); x_0 - Chiều rộng khu vực không có tính đàn hồi.

Hình 2. Kích thước vùng biến dạng đàn hồi dẻo và phân bố ứng suất thẳng đứng.

Vùng nứt nẻ (vùng II) dựa vào một bên của vùng đã khai thác, áp lực giảm và bằng ứng suất nguyên sinh γH , tuy nhiên cường độ đất đá yếu đi rõ rệt, từ đó làm cho đất đá nứt nẻ và dịch động mạnh. Vùng biến dạng dẻo (vùng III) dựa vào một bên của khối than vùng nứt nẻ II và vùng ứng suất đàn hồi tăng cao (vùng IV) là vùng chịu tải trọng. Vị trí giáp ranh giữa vùng dẻo III và vùng đàn hồi IV là nơi ứng suất tập trung lớn nhất. Ở một độ rộng nhất định (x_0) cách biên trụ than giáp vùng phá hủy, ứng suất giới hạn và áp lực là tương đồng, đây chính là vùng cân bằng giới hạn, có kích thước bằng tổng chiều rộng của vùng II và III, được xác định theo công thức (Li và nnk., 2023):

$$x_0 = \frac{m}{2f\xi} \ln \frac{K\gamma H + Cctg\phi}{\xi Cctg\phi}, (m) \quad (1)$$

Trong đó: x_0 - Chiều rộng vùng cân bằng giới hạn, m; m - Độ dày vỉa than khai thác, m; C - Lực dính kết của than (hoặc đá), kN/m^2 ; ϕ - Góc nội ma sát của than, độ; ξ - Hệ số cân bằng giới hạn;

$$\xi = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (2)$$

f - Hệ số ma sát giữa mặt tiếp xúc vách và trụ vỉa than với đất đá, $f = 0,3$; K - Hệ số tập trung ứng suất, $K = 2,5 \div 3,0$; γ - Trọng lượng thể tích của các lớp đất đá phía trên vỉa than, kN/m^3 ; H - chiều sâu đường lò so với bề mặt địa hình, m.

Cùng với quá trình tiến gương của lò chợ từ thượng khởi điểm, diện tích lộ của vách cơ bản dần tăng lên. Khi đạt đến giới hạn sập đổ, bên trong vách cơ bản sẽ xuất hiện các vết nứt theo hướng dọc và theo phương. Với sự phát triển liên tục của vết nứt ban đầu, kết hợp phần lộ trần của vách cơ bản theo phương và hướng dọc cũng được mở rộng, từ đó tạo ra bước gãy ban đầu của đá vách cơ bản. Trong quá trình sập đổ thường kỳ, đá vách cơ bản sẽ gãy theo các khẩu độ nhất định.

Bước sập đổ thường kỳ của đá vách được xác định theo công thức (Li và nnk., 2023):

$$L = (h_{tt} + h_{cb}) \sqrt{\frac{2 \times \sigma_{u.tb}}{3 \times \gamma_{tb} \times H \times \cos \alpha \times k}}, m \quad (3)$$

Trong đó: h_{tt} - chiều dày vách trực tiếp, m; h_{cb} - chiều dày vách cơ bản, $h_{cb} = 22$ m, m; γ_{tb} - Trọng lượng thể tích trung bình của đá vách, $\gamma_{tb} = 2,66 \times 9,8$ kN/m^3 ; H - chiều sâu khai thác, $H = 350$ m; α - góc dốc vỉa than, $\alpha = 35$ độ; k - hệ số tính đến ảnh hưởng của khai thác, khi vỉa nguyên khối $k = 1$, khi vỉa đã khai thác tầng trên hoặc dưới $k = 0,9$; $\sigma_{u.tb}$ - giới hạn bền uốn bình quân của đá vách, $\sigma_{u.tb} = 3.05$ MPa.

Kết quả tính toán được $L = 14,57$ m. Điều này có nghĩa để sập đổ tự nhiên gương phải trống một khoảng 14,57 m. Khoảng trống vách như vậy quá lớn nên nguy cơ mất an toàn cao và buộc phải sử dụng giải pháp phá hủy cưỡng bức.

3. Giải pháp kiểm soát áp lực mỏ bằng phương pháp bẻ gãy thủy lực định hướng

3.1. Nguyên lý thực hiện

Sự nứt vỡ do thủy lực liên quan đến việc khởi tạo vết nứt, lan truyền và phá vỡ lực kết dính của đá dưới áp suất nước cao cho đến khi đá bị phá hủy, gãy. Các vết nứt thủy lực thường được thiết kế để phát triển dọc theo một hướng dự kiến và do đó hướng lan truyền vết nứt cần phải được kiểm soát, được gọi là nứt thủy lực định hướng. Hướng lan truyền của vết nứt gãy nên được kiểm soát để đạt được hiệu quả mong muốn. Vì cường độ kéo của đá thấp hơn nhiều so với cường độ nén của nó, nên ứng suất tiếp tuyến xung quanh lỗ khoan bị nứt dẫn đến biến dạng đứt gãy do kéo. Khi ứng suất kéo đạt đến độ bền kéo tới hạn, do tổng các thành phần của ứng suất tại chỗ theo hướng này, một bề mặt yếu

của đá bị phá vỡ và mở rộng, tạo thành các vết nứt. Hai dạng vết nứt có thể hình thành khi sử dụng phương pháp bẻ gãy thủy lực là vết nứt ngang và vết nứt dọc. Hướng nứt của hai loại vết nứt này vuông góc và song song với trục lỗ khoan. Các vết nứt ngang có tác dụng tốt hơn trong việc nứt vách ở các mỏ than. Các rãnh ngang được cắt bằng cách sử dụng mũi tạo rãnh ngang tại các vị trí được chỉ định trong lỗ nứt. Sau đó, một loạt lỗ khoan liền kề với rãnh ngang được bịt kín bằng máy đóng gói kín dạng đứng. Nước áp suất cao được bơm vào phạm vi kín này để tạo ra các vết nứt xuyên tâm. Khi thực hiện bẻ gãy thủy lực, các vết nứt ở xa lỗ sẽ bị nứt trước, sau đó chuyển hoạt động về phía lỗ khoan. Phương pháp này được gọi là bẻ gãy thủy lực rút lui. Sơ đồ của phương pháp này được trình bày trong Hình 3.

Phương pháp phá vỡ thủy lực có thể thay đổi các đặc tính vật lý, cơ học và cấu trúc của đá (Ma và nnk., 2022). Mục đích của việc ứng dụng phương pháp trong khai thác than hầm lò là làm suy yếu hoặc nứt lớp than trên cùng hoặc vách cứng bằng cách sử dụng nước áp suất cao để tăng tính thấm của than/đá.

Việc bẻ gãy thủy lực nên được phối hợp với tiến độ tiến gương và diễn biến của đá vách. Sơ đồ của các lỗ khoan nứt trên đường lò có thể được chia thành bố trí một bên khi chiều dài lò chợ dưới 150 m và bố trí hai bên khi gương lò chợ dài hơn 150 m. Lỗ khoan với góc nghiêng 70÷75°, đường kính lỗ khoan 75÷90 mm sử dụng mũi cắt loại KZ54 có hai cạnh để cắt các rãnh ngang nhân tạo từ lỗ khoan. Bán kính rãnh cắt gấp đôi bán kính lỗ khoan. Ứng suất kéo hiệu

quả sẽ hình thành từ đầu lỗ khoan khi bơm nước áp lực cao dưới sự hỗ trợ của các nút bịt kín có màng cao su để duy trì áp lực của nước. Nước đóng vai trò là môi trường giãn nở và làm suy yếu các cấu trúc tự nhiên của đá. Việc lựa chọn nút lỗ khoan căn cứ vào áp lực bơm ép, hệ số rỗng của khối than, tính thấm thấu của than và hướng khoan.

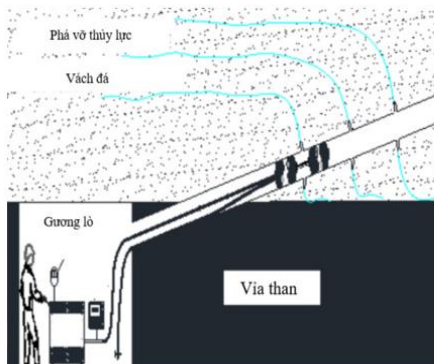
3.2. Tính toán áp lực nước

Áp lực nước và tốc độ dòng chảy hợp lý có thể làm nứt các lỗ khoan trong đá và giữ cho các vết nứt mở. Áp suất tham chiếu có thể làm nứt lỗ có thể được tính theo công thức (4). Áp suất dòng nước phải đảm bảo yêu cầu đủ lớn để phá vỡ đá, làm cho đá bị phá vỡ liên tiếp theo từng đoạn. Khi một vết nứt bên trong hình thành và lan rộng, nước có áp suất bơm vào các lỗ cần thiết (Xu và nnk., 2021).

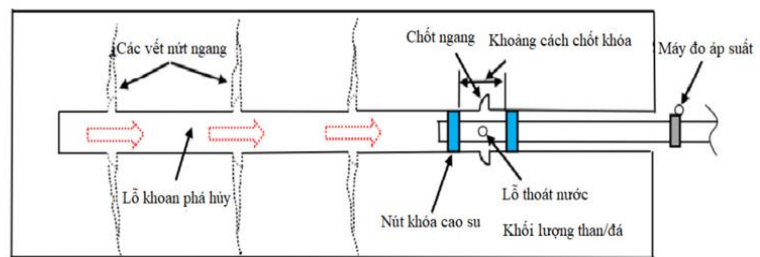
$$p_b \equiv 3\sigma_{min} - \sigma_{max} + \sigma_t = 93,11 \text{ MPa} \quad (4)$$

Trong đó: σ_{min} và σ_{max} lần lượt biểu thị ứng suất nén tối thiểu và tối đa, và σ_t biểu thị độ bền kéo các loại đá vách. Trong đó: $\sigma_{min} = 52,28 \text{ MPa}$ - Cường độ kháng nén nhỏ nhất của đá bột kết; $\sigma_{max} = 79,04 \text{ MPa}$ - Cường độ kháng nén lớn nhất của đá cát kết; $\sigma_t = 15,31 \text{ MPa}$ - Cường độ kháng kéo lớn nhất của đá cát kết.

Quá trình thực hiện được mô tả như sau: (1) Thiết lập lỗ khoan thủy lực với đường kính 90 mm; (2) Kết nối đường nước với máy bơm áp lực cao; (3) Đặt các nút khóa lỗ khoan, chiều dài nút phải lớn hơn 1 m. Bịt khóa nút, kiểm tra tình trạng hoạt động; (4) Gia tăng áp lực nén của dòng nước trong lỗ khoan tới khi đạt 10 MPa.



(a) Sơ đồ nguyên lý thực hiện của phương pháp bẻ gãy thủy lực.



(b) Sơ đồ bố trí lỗ khoan phương pháp bẻ gãy thủy lực.

Hình 3. Sơ đồ nguyên lý phương pháp bẻ gãy thủy lực (Ma và nnk., 2022).

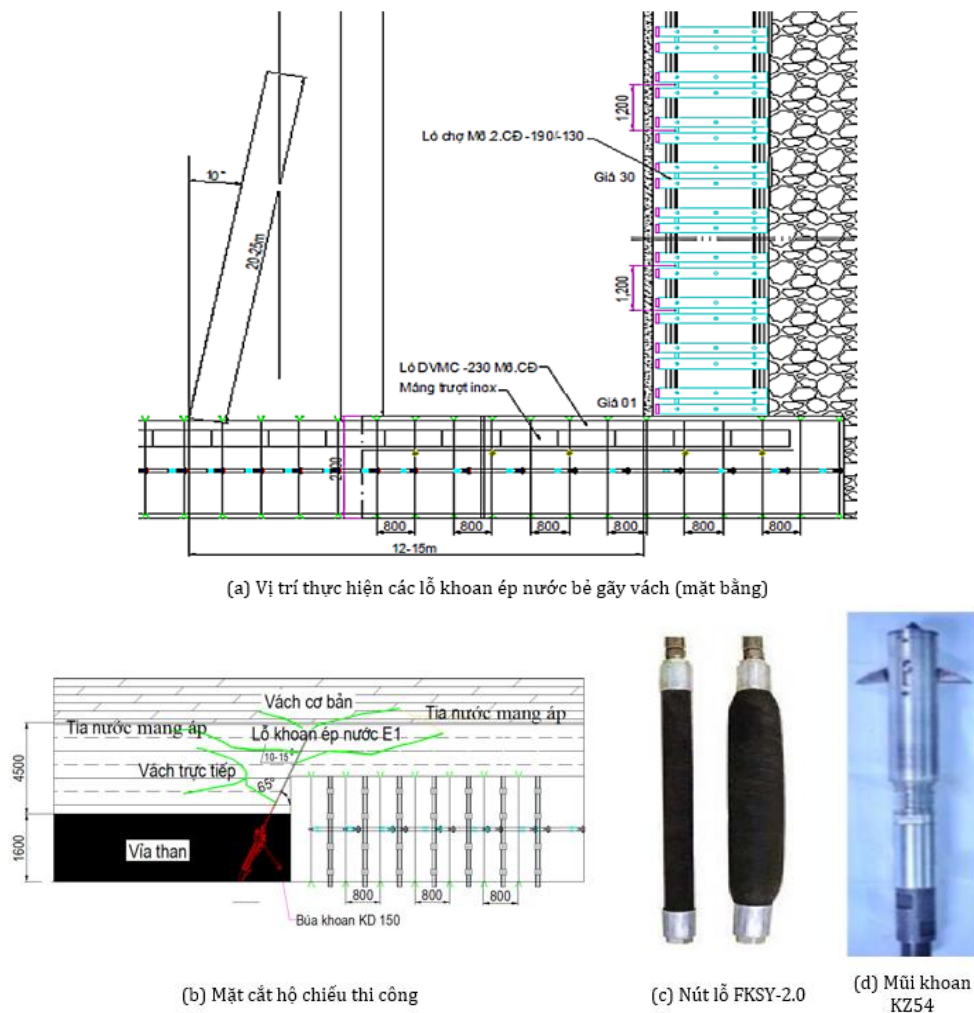
Kiểm tra bộ nút lỗ có thể giữ được áp suất thủy lực hay không bằng cách xem đồng hồ áp suất. Trong trường hợp áp suất nước bị giảm thì thử lại gia tải áp suất nước. Nếu vẫn mất áp suất thì lỗ khoan bị rò rỉ; (5) Gia tăng áp lực lên đến khi vách bị vỡ, tức là khi áp lực biểu tại đồng hồ đo giảm mạnh đột ngột; (6) Sau khi bề gãy thủy lực, tắt bơm cao áp trước khi cắt nguồn cấp nước. Sau đó, giải phóng áp suất trong máy bơm và đưa thiết bị ra khỏi lỗ khoan.

4. Kết quả và thảo luận

Việc thiết lập các lỗ khoan trên đường lò dọc vỉa vận tải và dọc vỉa thông gió được thực hiện với chiều sâu khoan 20÷25 m, nghiêng so với hướng dốc khoảng 10÷15°, nghiêng so với mặt

phẳng nền lò 60÷70°. Sử dụng các nút lỗ khoan mã hiệu FKSÝ-2.0 có chiều dài 1,5÷2,0 m, tác dụng giữ nước đi một chiều, đảm bảo không tụt áp do tháo ngược nước.

Áp suất bơm ép nước phải lớn hơn lực kháng nén của đá, lấy áp suất tối thiểu 9,0 MPa. Lưu lượng bơm ép từ 50÷150 lít/phút, thiết kế lựa chọn thiết bị bơm ép là hệ thống bơm dung dịch nhũ hóa của các lò chợ. Khi bơm ép chỉ cần thay đổi dung dịch nhũ hóa bằng nước và đặt áp suất máy bơm theo mức tính toán ở trên. Có thể sử dụng bơm máy áp suất cao 150 MPa mã hiệu JUNDONG hoặc loại có tính năng tương đương. Ngoài ra, tại hiện trường có thể sử dụng nguồn nước khác khi đáp ứng được yêu cầu về áp suất như đã lựa chọn. Phương thức bố trí lỗ khoan ép nước trình bày trong Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ bố trí lỗ khoan ép nước bề gãy vách bằng phương pháp thủy lực.

Công tác khoan ép nước trên lò dọc vỉa thông gió và dọc vỉa vận tải được thực hiện theo bước tiến gương, cách gương khoảng 12÷15 m. Kết quả trước và sau khi thực hiện giải pháp được trình bày tại Hình 5. Kết quả nghiên cứu tại hiện trường cho thấy đá vách đã được hạ cường bức theo bước sập đổ từ 1,6÷2,4 m, đạt kết quả kỳ vọng như thiết kế.

5. Kết luận

Khai thác than hầm lò sử dụng phương pháp phá hỏa toàn phần có chi phí sản xuất thấp nhưng tồn tại nhược điểm khi vách cứng vững sẽ tạo ra vách treo. Khoảng trống khai thác lớn tạo ra các nguy cơ tiềm ẩn gây nguy hiểm, mất an toàn lao động. Do đó, việc hạ vách theo chu kỳ là rất quan trọng, đảm bảo sản xuất thuận lợi, giảm thiểu nguy cơ xảy ra sự cố đập vách, đổ lò do bước phá hỏa lớn.

Thực tế sử dụng giải pháp nổ mìn lỗ khoan ngắn để hạ vách tại lò chợ M6 CĐ-2 mức -190/-130 không đem lại hiệu quả như mong muốn. Nếu sử dụng nổ mìn bằng các lỗ khoan dài sẽ tạo ra sóng nổ mạnh, rất khó kiểm soát có thể gây mất an toàn lò chợ.

Nội dung bài báo trình bày phương pháp bẻ gãy thủy lực định hướng để là yếu sơ bộ vách cứng, phục vụ phá hỏa theo tiến độ khai thác. Trong phương pháp này, dòng nước có áp được đưa vào các lỗ khoan di chuyển theo các phân

lớp hoặc vết nứt nguyên sinh làm suy yếu và bẻ gãy có kiểm soát phần tử đá cứng. Từ đó tạo ra các vết nứt thứ sinh và các vết nứt này tiếp tục bị áp lực nước lan truyền làm suy yếu từ từ. Kết quả tính toán với áp lực 931,09 kG/cm², việc bố trí các lỗ khoan dài 20÷25 m và khoảng cách giữa hai lỗ khoan 12÷15 m là đủ lực để làm nứt gãy các lớp đá cứng. Dưới tác dụng của áp lực mỏ các khe nứt thứ sinh này tạo ra các mạng khe nứt nhỏ hơn làm phá vỡ kết cấu của đá vách dẫn đến sập đổ theo kiểm soát với chu kỳ là 1,6 m, đúng như kỳ vọng thiết kế.

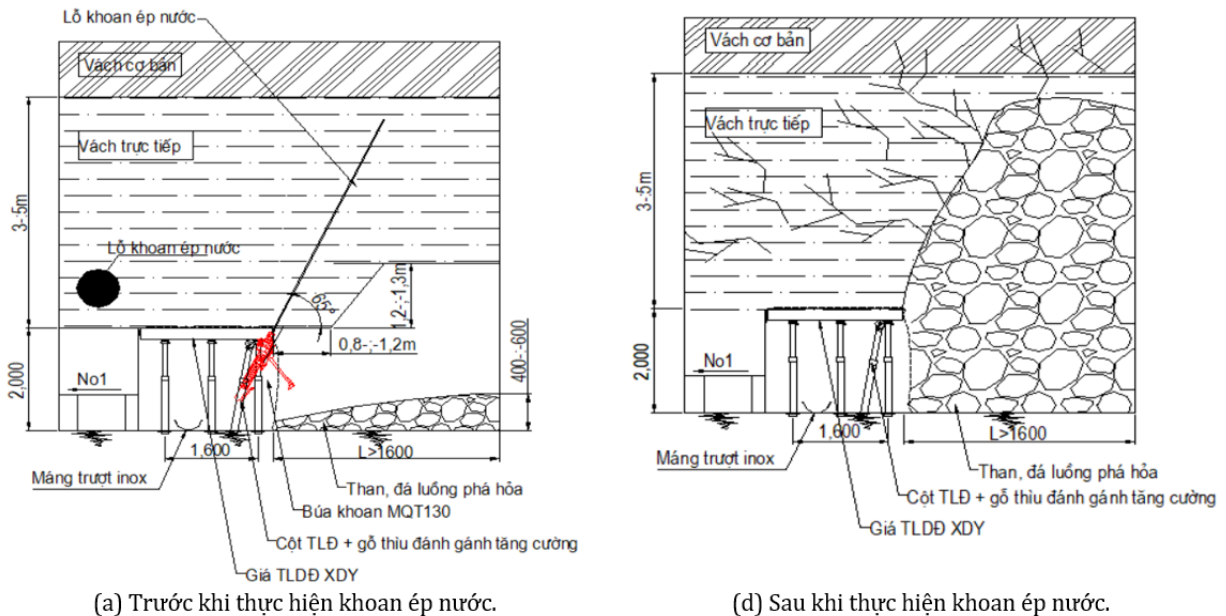
Kết quả nghiên cứu trong bài báo không chỉ áp dụng được cho mỏ than Mông Dương, mà còn là cơ sở để tham khảo thực hiện cho các mỏ, khu vực khai thác có điều kiện địa chất tương tự.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn lãnh đạo Công ty Cổ phần Than Mông Dương và phòng kỹ thuật đã tạo điều kiện giúp đỡ tài liệu để hoàn thành nghiên cứu. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Mỏ - Địa chất trong đề tài mã số T24-19.

Đóng góp của tác giả

Nguyễn Phi Hùng - xây dựng đề cương, viết bản thảo bài báo; Phạm Đức Hưng - thực hiện nghiên cứu mô tả tính toán các điểm gãy tự



Hình 5. Kết quả trước và sau khi ép nước hạ vách cường bức.

nhiên; Lê Tiến Dũng - góp phần kiểm định mô hình, chỉnh sửa nội dung bản thảo.

Tài liệu tham khảo

Công ty CP Than Mông Dương - Vinacomin. (2023). Báo cáo tổng kết hoạt động khai thác mỏ Công ty cổ phần than Mông Dương năm 2023.

Đỗ, M. P. & Vũ, Đ. T. (2008). Áp lực mỏ hầm lò. *Nhà xuất bản Giao thông vận tải*, Hà Nội.

Du, F. & Wang, K. (2019). Unstable failure of gas-bearing coal-rock combination bodies: insights from physical experiments and numerical simulations. *Process Safety and Environmental Protection*, 129, 264–279.

Du, F., Wang, K., Zhang, X., Xin, C., Shu, L. & Wang, G. (2020). Experimental study of coal-gas outburst: insights from coal- rock structure, gas pressure and adsorptivity. *Natural Resources Research*, 29(4), 2481–2493.

Haiming, P., Zhenbin, P., Jintian, H., Weigang, A. & Tiexiong, L. (2002). Research on lithological similar materials. *Guangdong Journal Civil Engineering and Architecture*, 12(12).

Jiang, F., Liu, Y. & Yang, W. (2017). Relationship between rock burst and the three zone structure loading model in Yuncheng coal mine. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 34(03), 405-410.

Lê, T. D. & Vũ, T. T. (2023). Áp lực mỏ và ổn định lò chợ trong công nghệ khai thác cơ giới hóa hạ

trần thu hồi than nóc. *Nhà xuất bản Giao thông vận tải*, Hà Nội.

Li, G., Zhang, Z., Xie, J., Dou, L., He J. & Cao, A. (2015). Rock burst prevention methods based on theory of dynamic and static combined load induced in coal mine. *Journal of China Coal Society*, 40(07), 1469-1476.

Li, S., Gao, M., Yang, X., Zhang, R., Li R. & Zhang, Z. (2018). Numerical simulation of spatial distributions of mining-induced stress and fracture fields for three coal mining layouts. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(5), 907-913.

Li, X., Liu, Y., Ren, X., Wu, X., & Zhou, C (2023). Roof breaking characteristics and mining pressure appearance laws in close distance coal seams. *Energy Exploration & Exploitation*. 41(2), 728-744.

Ma, J., Hong, X., Tian, F. & Guo, H. (2022). A control method for hydraulic fracturing of the hard roof with long and short boreholes. *Frontiers in Materials*, DOI 10.3389/fmats.2022.1035 815.

Wang, S. G., Shen, Y. J. & Sun. Q. (2020). Scientific issues of coal detraction mining geological assurance and their technology expectations in ecologically fragile mining areas of Western China. *Journal of Mining and Strata Control Engineering*, 2(4), 43531.

Xu, X., Gao, Y., He, M., Fu, Q. & Wei, X. (2021). Study on Mining Pressure Control of Deep Coal Seam Based on Artificial Fault Technology. *Reseach Square*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-333799/v1>.