Journal of Mining and Earth Sciences

Website: http://jmes.humg.edu.vn

Application of the numerical method to analyze the effect of cross-sectional type in stabilizing the coal mine tunnel

Nhan Thi Pham [1,*], Fuzhou Qi [2]

[1] *Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam*
[2] *Zhong Yuan University of Technology, Henan, China*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 14th Dec. 2021
Revised 24th Mar. 2022
Accepted 10th Apr. 2022

Keywords:
Cross-section,
Displacement,
Plastic deformation,
Stress,
Tunnel.

ABSTRACT

For the coal mine tunnel, each type of cross-section of the tunnel will cause different laws of mechanical change in the rock mass around the tunnel. This difference is expressed through quantities such as displacement, stress, the damage zones within rock mass, etc.. It is completely unreasonable to adopt an independent mechanical parameter to evaluate the selection of the most optimal shape for the tunnel. To simulate the tunnel excavation process with different types of cross-section shapes in the same geological conditions, the software FLAC3D was employed. The data extracted from numerical simulation including displacement, stress field, plastic deformation area, the thickness of plastic deformation zone at the top, side, and bottom of the tunnel are evaluated. The type of section shape with the highest score will be evaluated as the most optimal one. The present case study shows that the type of cross-sectional shape of the straight wall with curved arch and deviated trapezoid got the highest scores of 36 points and 30 points, respectively. Therefore, the type of cross-sectional shape of the straight wall with curved arch and deviated trapezoid should be used. This shape choice will be the most optimal, and beneficial to the stability of the tunnel both during excavation and production progress.

Copyright © 2022 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author
E - mail: phamthinhan@humg.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).06

Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất
Trang điện tử: http://tapchi.humg.edu.vn

Ứng dụng phương pháp số phân tích ảnh hưởng của hình dạng tiết diện ngang đến độ ổn định của khối đá xung quanh đường lò đào trong than

Phạm Thị Nhàn [1,*], Fuzhou Qi [2]

[1] *Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam*
[2] *Đại học Công nghệ Zhong Yuan, Hà Nam, Trung Quốc*

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 14/12/2021
Sửa xong 24/3/2022
Chấp nhận đăng 10/4/2022

Từ khóa:
Biến dạng dẻo,
Chuyển vị,
Đường lò,
Tiết diện ngang,
Ứng suất.

TÓM TẮT

Đối với đường lò đào trong than, mỗi loại tiết diện ngang đường lò khác nhau sẽ gây ra những quy luật biến đổi cơ học khác nhau trong khối đá xung quanh đường lò thể hiện thông qua các đại lượng như: chuyển dịch, ứng suất, phạm vi vùng khối đá phá hủy,... Bài báo sử dụng phần mềm FLAC 3D để mô phỏng đường lò với các loại hình dạng tiết diện ngang khác nhau đào trong cùng một điều kiện địa chất. Các kết quả trích xuất từ mô phỏng số như là giá trị chuyển vị, trường ứng suất, vùng biến dạng dẻo, chiều dày vùng biến dạng dẻo tại nóc, hông, nền lò,... được đưa về cùng một hệ qui chiếu không đơn vị. Tổng điểm cuối cùng của mỗi loại hình dạng tiết diện ngang sẽ được dùng để so sánh. Loại hình dạng tiết diện nào có số điểm cao nhất sẽ được đánh giá là tối ưu hơn so với các loại hình dạng tiết diện còn lại. Kết quả khảo sát trong nghiên cứu cho thấy loại hình dạng tiết diện tường thẳng vòm cong và hình thang lệch đạt số điểm cao nhất lần lượt là 36 điểm và 30 điểm. Như vậy với đường lò đào trong than, sử dụng hai loại hình dạng này sẽ là tối ưu nhất, có lợi cho ổn định đường lò cả trong giai đoạn đào lò chuẩn bị và sử dụng phục vụ sản xuất.

© 2022 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Có nhiều nguyên nhân dẫn tới sự mất ổn định của đường lò, trong đó một trong những nguyên nhân quan trọng là hình dạng mặt cắt ngang đường lò và kết cấu chống sử dụng (Ngo, 2020).

Hiện nay, các nghiên cứu trong nước cũng như thế giới về ảnh hưởng loại hình tiết diện đến ổn định đường lò khá nhiều (Dai và nnk., 2004; Jia, 2008; Li và nnk., 2010; Sun và nnk., 2008). Tuy nhiên, vấn đề đánh giá mức độ ảnh hưởng của hình dạng tiết diện ngang đến ổn định khối đá xung quanh đường lò cũng như phương thức lựa chọn hình dạng tiết diện tối ưu phục vụ thiết kế thi công hiệu quả an toàn chưa được chú trọng nghiên cứu. Mặt khác hiện nay ở nước ta tiết diện ngang đường lò thường được lựa chọn theo kinh nghiệm hoặc

*Tác giả liên hệ
E - mail: phamthinhan@humg.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).06

chọn theo các tiết diện mẫu do Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam ban hành dựa trên hệ số độ kiên cố của đất đá, do vậy đôi khi còn dẫn tới loại hình tiết diện ngang chưa hợp lý.

Trong nước, việc sử dụng phương pháp số trong nghiên cứu ổn định đường lò với loại hình tiết diện chữ nhật, hình tròn, hình vòm tường thẳng cũng đã được một số tác giả nghiên cứu (Đào, 2014; 2018; Phạm và Nguyễn, 2021). Tuy nhiên cách đánh giá định lượng ảnh hưởng nhiều yếu tố khi xem xét ảnh hưởng của các loại hình dạng tiết diện ngang đến ổn định đường lò nhằm phục vụ công tác thiết kế, tính toán ổn định đường lò đào trong than nên được triển khai nghiên cứu thêm. Trong bài báo này, tác giả sử dụng 4 loại hình tiết diện ngang phổ biến hiện nay trong các đường lò đào trong than là: tường thẳng vòm bán nguyệt, hình chữ nhật, hình thang cân, hình thang lệch và thông qua sử dụng phần mềm FLAC^{3D} tiến hành mô phỏng đường lò dọc vỉa một đường xe trong giai đoạn đào lò, từ đó đưa ra được các kết quả biến dạng trong khối đá xung quanh đường lò, quy luật phân bố vùng biến dạng dẻo,… Từ kết quả trong nghiên cứu thu được ở mỗi thông số thành phần như là ứng suất cực đại, biến dạng lớn nhất, chiều dày vùng phá hủy, mỗi thông số này được cho điểm với từng tiêu chí. Sau đó dựa vào kết quả tổng hợp điểm của tất cả các tiêu chí sẽ lựa chọn được loại hình tiết diện được cho là tối ưu trong điều kiện địa chất cụ thể.

2. Phương án mô phỏng và thông số cơ lý đất đá sử dụng trong mô hình

Lựa chọn hình dạng tiết diện khảo sát là hình chữ nhật, hình vòm tường thẳng, hình thang cân và hình thang lệch. Góc nghiêng phân lớp đá và vỉa than là 20^0, chiều dày vỉa 3 m, hệ số áp lực ngang $\lambda = 1$. Trong mô hình mô phỏng sử dụng tiêu chuẩn phá hủy Mohr-Coulomb . Các thông số chủ yếu của mô hình thể hiện ở Hình 1 và Bảng 1. Để tiện cho việc so sánh, nhóm tác giả đã chọn chiều rộng lớn nhất của 4 loại mặt cắt ngang là 4 m, chiều cao lấy tại tâm đường lò 3 m, cụ thể như Hình 1.

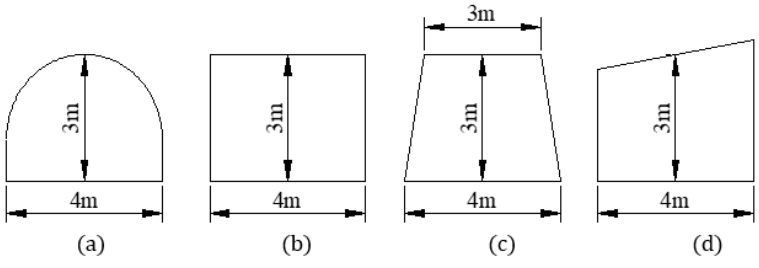
Trong tất cả các trường hợp đường lò được bố trí ở trung tâm vỉa, để tránh tác động do quá trình khai thác, chiều rộng mô hình lấy 60 m, độ cao lấy 50 m. Căn cứ vào độ sâu đường lò, biên trên mô hình cách mặt đất 150 m, biên dưới cách 200 m. Tính chất cơ học từng lớp đá được thể hiện trên Bảng 1.

3. Phân tích kết quả mô phỏng số

3.1. Phân tích quy luật phân bố ứng suất đến ổn định đường lò

Sau khi chương trình tính chạy xong, tiến hành trích xuất dữ liệu thu được phân bố trường ứng suất như các Hình 3 và 4.

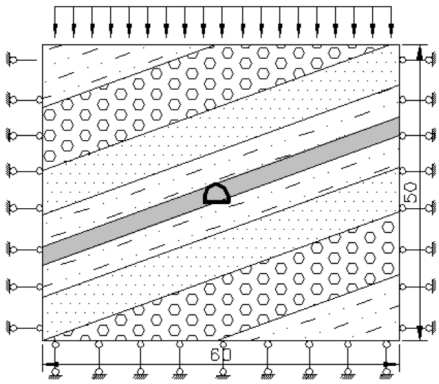
Phân tích Hình 3 và 4 cho thấy:



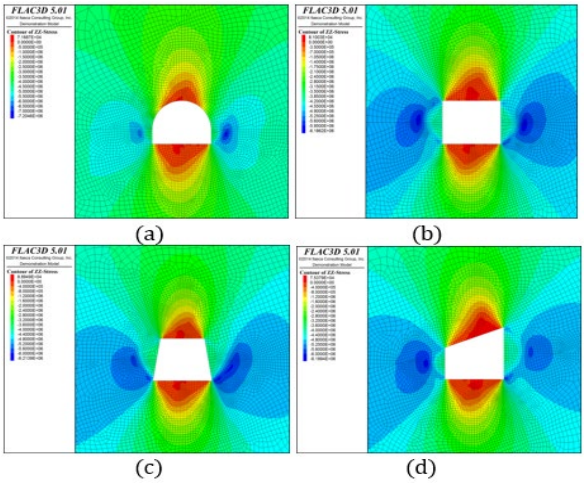
Hình 1. Bốn dạng mặt cắt ngang đường lò.
(a) hình tường thẳng vòm bán nguyệt; (b) hình vuông; (c) hình thang cân; (d) hình thang lệch.

Bảng 1. Bảng tính chất cơ học của các lớp đất đá than lập mô hình.

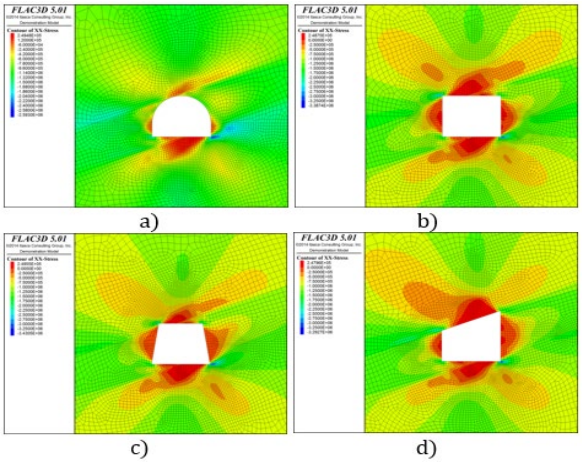
TT	Tên đá	Trọng lượng thể tích, (kG /cm^3)	Cường độ kháng nén, (kG/cm^2)	Hệ số kiên cố f	Lực dính kết C (kG/cm^2	Hệ số Poisson ν	Mô đun đàn hồi E (GPa)	Góc ma sát trong, (^{o})
1	Sạn kết	2.6	1200	12	300	0,3	25,36	35
2	Cát kết	2.6	800	8	250	0.28	20	34
3	Bột kết	2.6	500	5	160	0.28	18	32
4	Than	1.5	150	1.5	45	0.35	5	20



Hình 2. Mô hình hình học đường lò mô phỏng.



Hình 3. Phân bố ứng suất thẳng đứng khối đá xung quanh đường lò.
(a) hình tường thẳng vòm bán nguyệt; (b) hình vuông; (c) hình thang cân; (d) hình thang lệch.



Hình 4. Phân bố ứng suất nằm ngang trong khối đá xung quanh đường lò.
(a) hình tường thẳng vòm bán nguyệt; (b) hình vuông; (c) hình thang cân; (d) hình thang lệch.

(1) Sau khi khai đào đường lò, trạng thái ứng suất cân bằng 3 trục của khối đá bị phá vỡ, ứng suất nguyên sinh trong khối đá sẽ bị phân bố lại, vùng ứng suất tập trung xuất hiện ở các độ sâu khác nhau trong khối đá, mức độ giải phóng ứng suất cũng diễn ra với các mức độ khác nhau. Có thể thấy với hầu hết các tiết diện, sự giải phóng ứng suất đều xảy ra ở nóc và nền lò. Do cấu tạo đất đá phân lớp nghiêng nên trường ứng suất khối đá xung quanh đường lò không còn phân bố dạng đối xứng qua trục đường lò.

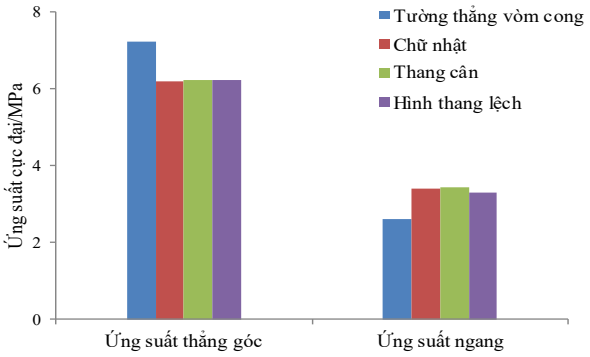
(2) Với trường ứng suất thẳng đứng, khi sử dụng loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong thì hiện tượng tập trung ứng suất chủ yếu xuất hiện ở lân cận khu vực tường lò, phạm vi vùng tập trung ứng suất bên hông phải lớn hơn bên hông trái.

(3) Với loại hình tiết diện hình chữ nhật, ở phần giữa hai hông lò sự tập trung ứng suất tương đối lớn, ứng suất tập trung đạt khoảng 6,19 MPa, trong khi nóc và nền lò vẫn chủ yếu là giải phóng ứng suất. Nguyên nhân chủ yếu là do ảnh hưởng góc dốc của vỉa than, tại hai vị trí kể trên đều nằm trong lớp than có cường độ thấp, dưới tác dụng của ứng suất tập trung phát sinh phá hủy dẫn tới hiện tượng giải phóng ứng suất.

(4) Với loại hình tiết diện là hình thang cân, hiện tượng tập trung ứng suất chủ yếu phát sinh ở hai góc nền lò, nhưng phạm vi tập trung ứng suất và cường độ gần góc dưới cùng bên phải lớn hơn góc dưới bên trái của đường lò. Với loại hình tiết diện hình thang lệch, về cơ bản ở hai bên hông lò đều nằm ở trong lớp than và cao độ của hông phải cao hơn hông trái, khối đá ở phạm vi này phá hủy cũng nghiêm trọng hơn thể hiện sự giải phóng ứng suất lớn, vì vậy sự tập trung ứng suất so với hông trái là yếu hơn.

(5) Tiến hành thống kê số liệu ứng suất thẳng đứng và ứng suất nằm ngang trong khối đá xung quanh đường lò ứng với các loại hình mặt cắt khác nhau được thể hiện như các Hình 4 và 5. Quan sát Hình 5 cho thấy, sau khi khai đào đường lò với bốn loại hình dạng tiết diện khảo sát, giá trị ứng suất thẳng đứng lớn nhất của khối đá xung quanh đường lò trong trường hợp tiết diện hình vòm tường thẳng lớn nhất là 7,2 MPa.

Giá trị đỉnh ứng suất thẳng đứng trong khối đá xung quanh đường lò trong trường hợp tiết diện hình chữ nhật và hình thang là bằng nhau, khoảng 6,2 MPa. Đối với ứng suất ngang, ứng suất cực đại của loại hình tiết diện vòm tường thẳng là

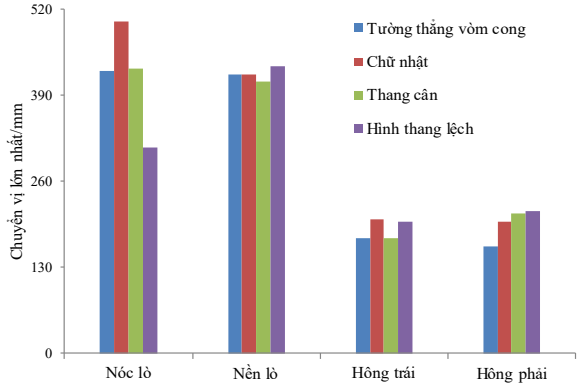


Hình 5. Giá trị ứng suất cực đại khi khai đào đường lò với các dạng tiết diện đường lò khác nhau.

nhỏ nhất khoảng 2,59 MPa, với ba loại hình tiết diện còn lại, đỉnh ứng suất nằm ngang thay đổi từ 3,29÷3,43 MPa và phạm vi dao động khá nhỏ.

3.2. Phân tích quy luật phân bố biến dạng đến ổn định đường lò

Sau khi khai đào đường lò số mặt phẳng tự do tăng lên, khối đá có xu hướng dịch chuyển vào khoảng không đã khai đào, nóc và hai bên hông lò dịch chuyển kèm theo đó là lượng bùng nền tăng lên. Giá trị ứng suất, chuyển vị đứng - chuyển vị ngang lớn nhất khối đá sau khi tiến hành khai đào đường lò thể hiện trên Hình 6.



Hình 6. Chuyển vị lớn nhất khối đá xung quanh đường lò.

Từ Hình 6 cho thấy:

(1) Đối với khu vực đá nóc lò, sau khi khai đào đường lò sử dụng loại hình dạng tiết diện ngang hình chữ nhật, lượng dịch chuyển nóc lớn nhất đạt tới 501,75 mm, đứng thứ 2 là loại hình tiết diện hình thang cân là 429 mm, đứng thứ ba là hình tường thẳng vòm cong với chuyển vị là 427,1 mm, tiết diện đường lò hình thang lệch với cấu tạo nóc lò hầu như nằm trong lớp đá do vậy lượng dịch chuyển nóc nhỏ nhất là 310,8 mm.

(2) Sau khi khai đào đường lò, đối với phần nền lò, loại hình tiết diện hình thang cân cho lượng bùng nền bé nhất khoảng 410,29 mm, loại hình tiết diện hình thang lệch cho lượng bùng nền lớn nhất khoảng 433,87 mm. Loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong và hình chữ nhật cho lượng bùng nền gần tương đương nhau khoảng 421 mm. Trong cả 4 loại hình dạng tiết diện đường lò khảo sát trên, sự chênh lệch lượng bùng nền giữa giá trị lớn nhất và nhỏ nhất là 22,58 mm. Có thể thấy sự ảnh hưởng của loại hình tiết diện đến lượng dịch chuyển bùng nền là khá nhỏ.

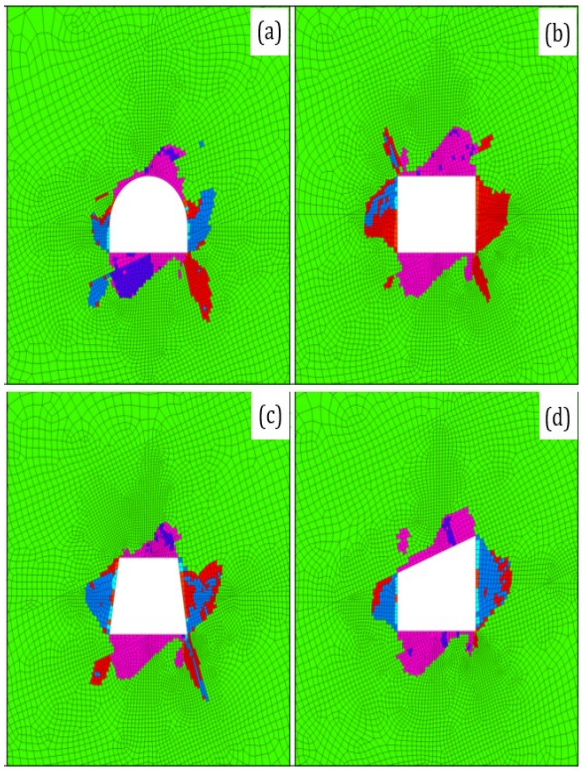
(3) Đối với hông trái đường lò, giá trị dịch chuyển lớn nhất của hai loại hình tiết diện đường lò hình chữ nhật và hình thang lệch khá tương đồng khoảng 200 mm, trong khi đó loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong và hình thang cân lượng biến dạng khá nhỏ khoảng 137 mm. Với khu vực hông phải đường lò thì loại hình tiết diện hình thang cân và hình thang lệch cho biến dạng tương đối lớn khoảng 213 mm, tiết diện hình vòm tường thẳng cho biến dạng nhỏ nhất khoảng 160,97 mm.

3.3. Phân tích quy luật phân bố vùng biến dạng dẻo đến ổn định đường lò

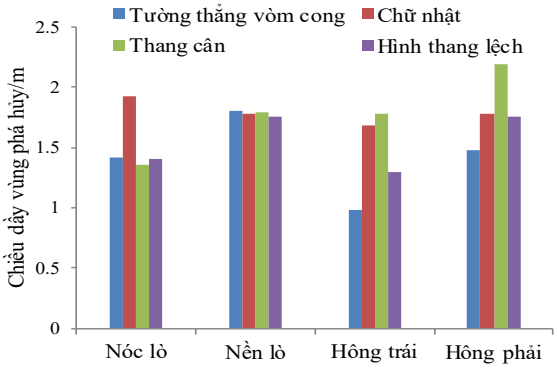
Quy luật phân bố vùng biến dạng dẻo khối đá xung quanh đường lò khi khai đào trong than thể hiện như Hình 7. Từ Hình 7 có thể nhận thấy:

(1) Đường lò sau khi đào, ứng suất trong khối đá xung quanh sẽ bị phân bố lại, phần khối đá lân cận biên lò từ trạng thái ứng suất ba trục chuyển sang trạng thái ứng suất hai trục, khả năng mang tải giảm xuống phát sinh biến dạng dẻo. Đối với loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong, phạm vi vùng phá hủy chủ yếu phân bố tại những vị trí như nóc lò phần (vai vòm bên phải), hông phải khu vực giữa nền lò (hướng về góc trái nền lò). Tại phần đá gần biên của nóc và nền lò, dạng phá hủy chủ yếu là phá hủy kéo (Tension-P), Còn lại là dạng phá hủy do cắt (shear - p). Ngoài ra tại các góc lò phát sinh phá hủy với chiều sâu tương đối lớn, trong đó bề sâu phá hủy tại góc nền lò trái là 2,35 m, bề sâu phá hủy góc nền lò bên phải là 1,98 m.

(2) Với loại tiết diện hình chữ nhật, hình dạng vùng phá hủy dẻo trong khối đá xung quanh đường lò so với khi áp dụng loại hình tiết diện



Hình 7. Phân bố biến dạng dẻo khối đá xung quanh đường lò, (a) hình tường thẳng vòm bán nguyệt; (b) hình vuông; (c) hình thang cân; (d) hình thang lệch.



Hình 8. Chiều dày vùng phá hủy lớn nhất.

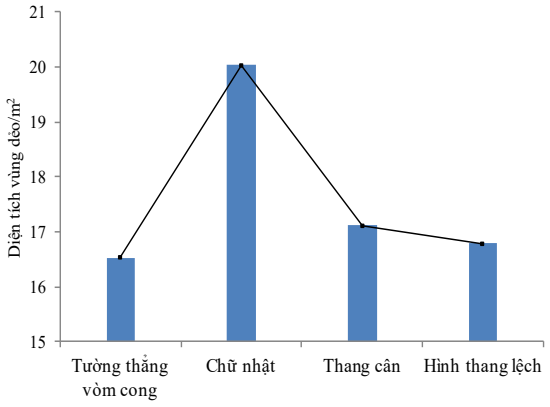
tường thẳng vòm cong cơ bản là đồng nhất, tuy nhiên diện tích vùng phá hủy hai bên hông lò tăng lên rõ rệt, bề dày vùng phá hủy ở nóc phía góc bên trái đường lò là 1,95 m, chủ yếu là phá hủy cắt-kéo (Shear - P Tension-p). Độ sâu phá hủy của góc nền bên phải lò là 2,0 m, diện tích phá hủy góc nền lò bên trái giảm rõ rệt so với khi sử dụng loại hình tiết diện vòm cong tường thẳng

(3) Khi sử dụng loại hình tiết diện hình thang cân so với loại hình tiết diện chữ nhật cho thấy, tại các góc đỉnh lò không xuất hiện phá hoại rõ ràng, tuy nhiên tại các góc nền lò lại bị phá hoại nghiêm trọng, trong đó độ sâu phá hoại góc nền lò bên trái đạt đến 2,16 m, độ sâu phá hoại tại góc nền lò bên phải đạt đến 1,94 m. Với loại hình tiết diện hình thang lệch, sau khi khai đào đường lò tại các góc nền lò về cơ bản là không hề phát sinh phá hoại, phạm vi phá hoại nhiều nhất ở các khu vực cao của phần hông phải với bề sâu phá hoại lớn nhất là 1,76 m.

Từ Hình 8 nhận thấy, tại phần nóc lò ở loại hình tiết diện chữ nhật cho chiều sâu vùng phá hoại lớn nhất là 1,92 m, với hoại hình tiết diện tường thẳng vòm cong và hình thang lệch chiều dày vùng phá hoại khá gần nhau, loại hình tiết diện thang cân cho giá trị chiều dày vùng phá hủy nhỏ nhất khoảng 0,06 m. Có thể thấy ngoài loại hình tiết diện hình chữ nhật, chiều sâu vùng phá hủy nóc lò trong 3 loại hình tiết diện còn lại là khá đồng nhất. Tuy nhiên, với khu vực chính giữa nền lò thì chiều sâu vùng phá hủy của cả 4 loại hình tiết diện là khá tương đồng nằm trong khoảng 1,76÷1,80 m.

(5) Đối với hai bên hông lò, loại hình tiết diện hình thang cân cho giá trị chiều sâu vùng phá hủy lớn nhất, đứng thứ 2 là loại hình tiết diện hình chữ nhật, hình thang lệch đứng thứ ba, nhỏ nhất là loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong. Ngoài ra việc chịu ảnh hưởng của cấu tạo địa chất phân lớp với góc nghiêng trung bình nên tại khu vực hông phải của các loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong, hình chữ nhật, hình thang cân, hình thang lệch cho giá trị chiều dày vùng phá hủy lớn hơn hông trái. Cụ thể chiều dày vùng phá hủy lớn nhất ở bên hông trái với 4 loại hình tiết diện trên lần lượt là: 0,98; 1,68; 1,78 và 1,3 m bên hông phải lần lượt là 1,48; 1,78; 2,19 và 1,76 m, biên độ chênh lệch là 0,5; 0,1; 0,41 và 0,46 m.

(6) Sử dụng hàm fish trong FLAC^{3D} tiến hành trích xuất dữ liệu diện tích vùng phá hủy khối đá xung quanh đường lò khi khai đào với các loại hình tiết diện khác nhau, tiến hành tổng hợp thu được biểu đồ như Hình 9. Đồng thời nhận thấy, sau khi khai đào đường lò diện tích vùng phá hủy khối đá xung quanh biên lò lớn nhất khi sử dụng loại hình tiết diện hình chữ nhật đạt đến 20,03 m^2, hình thang cân là 17,12 m^2, loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong và hình thang lệch cho diện tích vùng phá hủy gần tương đương nhau, lượng chênh lệch không nhiều khoảng 0,2626 m^2.



Hình 9. Diện tích vùng biến dạng dẻo.

3.4. Lựa chọn hình dạng mặt cắt ngang đường lò tối ưu nhất

Qua khảo sát trường ứng suất, chuyển vị và hình thái phá hủy khối đá xung quanh đường lò sau khi khai đào tương ứng với các loại hình dạng tiết diện đường lò khác nhau có thể nhận thấy: mỗi loại tiết diện ngang đường lò khác nhau có những quy luật biến đổi với những qui luật khác nhau. Đường lò có sự tập trung ứng suất nhỏ nhất không có nghĩa là phạm vi phá hủy cũng nhỏ nhất. Đường lò có lượng biến dạng nóc lò lớn nhất không có nghĩa là biến dạng hông nhỏ nhất. Vì vậy chỉ thông qua một tham số cơ học độc lập để đánh giá lựa chọn hình dạng tối ưu nhất cho đường lò là chưa hợp lý. Để tăng thêm tham số khi khảo sát, lợi dụng phương pháp so sánh không đơn vị đo để đưa các tham số về cùng một hệ quy chiếu để tiến hành so sánh phân tích như: mức độ phù hợp giữa hình dạng tiết diện mặt cắt ngang đường lò và phân bố địa chất, mức độ khó khăn khi thi công, hệ số sử dụng tiết diện ngang đường lò,... Trong đó, nguyên tắc cộng điểm đánh giá như sau:

(1) Các tham số sử dụng để đánh giá: giá trị ứng suất thẳng đứng, ứng suất ngang cực đại, lượng lún nóc-bùng nền cực đại, lượng biến dạng hông trái, hông phải cực đại, chiều dày vùng phá hủy nóc, nền và hai bên hông lò, diện tích vùng phá hủy dẻo khối đá xung quanh đường lò,... tổng cộng 11 tham số khảo sát.

(2) Nguyên tắc cho điểm: khi ứng suất cực đại càng lớn thì số điểm càng thấp, ngược lại thì điểm càng cao. Biến dạng, phá hoại càng lớn chứng tỏ khả năng thích ứng với điều kiện vỉa than dốc thoải của hình thái mặt cắt ngang nhỏ, điểm tính được sẽ thấp, ngược lại thì điểm thu được sẽ cao.

(3) Phương pháp cho điểm: sử dụng 11 chỉ tiêu đánh giá từ lớn đến nhỏ theo thứ tự sau, loại hình tiết diện nào có lượng giá trị lớn nhất đánh số 1, sau đó lần lượt vị trí và số tương ứng là số 2, 3 và 4. Lấy chỉ tiêu ứng suất thẳng đứng làm ví dụ, giá trị ứng suất thẳng đứng tương ứng với 4 loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong, hình chữ nhật, hình thang cân và hình thang lệch là 7,2; 6,19; 6,21 và 6,2 MPa. Dựa vào chỉ số này xếp theo chiều từ lớn đến bé số điểm tương ứng là đường lò có hình dạng tiết diện mặt cắt ngang tường thẳng vòm cong -1 điểm, hình thang lệch -3 điểm, hình chữ nhật -4 điểm và hình thang cân -2 điểm. Với 10 chỉ tiêu còn lại, cách cho điểm tương tự.

(4) Phương pháp tổng hợp điểm cuối cùng: tổng hợp điểm từ 11 chỉ tiêu khảo sát của mỗi loại hình tiết diện đường lò như các Bảng 2 và 3.

Phân tích Bảng 3 cho thấy, trường hợp đào lò trong than với đặc điểm cấu tạo địa chất như Bảng 1 mô tả, điểm tích lũy của tiết diện ngang hình tường thẳng vòm cong là cao nhất đạt 36 điểm, sau đó là đến loại hình tiết hình thang lệch đạt 30 điểm, hình thang cân và hình chữ nhật nhỏ nhất lần lượt là 25 và 23 điểm. Như vậy với đặc điểm cấu trúc địa chất như nghiên cứu, loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong và hình thang lệch cho kết quả tối ưu nhất.

Bảng 2. Bảng giá trị các chỉ tiêu đánh giá lựa chọn hình dạng tiết diện ngang đường lò tối ưu.

Loại hình tiết diện	Ứng suất cực đại, MPa		Biến dạng cực đại/mm				Chiều dày vùng phá hoại lớn nhất, m				Diện tích vùng dẻo, m²
	Ứng suất thẳng đứng	Ứng suất ngang	Nóc lò	Nền lò	Hông lò trái	Hông lò phải	Nóc lò	Nền lò	Hông lò trái	Hông lò phải	
Tường thẳng hình vòm	7,2	2,59	427,1	421,59	174,12	160,97	1,42	1,8	0,98	1,48	16,53
Chữ nhật	6,19	3,39	501,75	421,43	202,45	199,08	1,92	1,78	1,68	1,78	20,03
Hình thang	6,21	3,43	429,3	410,29	173,59	212,19	1,36	1,79	1,78	2,19	17,12
Hình thang lệch	6,2	3,29	310,8	433,87	199,63	214,39	1,4	1,76	1,3	1,76	16,79

Bảng 3. Bảng giá trị các chỉ tiêu đánh giá lựa chọn hình dạng tiết diện ngang đường lò tối ưu.

Loại hình tiết diện	Ứng suất cực đại, MPa		Biến dạng cực đại, mm				Chiều dày vùng phá hoại lớn nhất, m				Diện tích vùng dẻo, m^2
	Ứng suất thẳng đứng	Ứng suất ngang	Nóc lò	Nền lò	Hông lò trái	Hông lò phải	Nóc lò	Nền lò	Hông lò trái	Hông lò phải	
Tường thẳng hình vòm	1	4	3	2	3	4	2	1	4	4	4
Hình thang lệch	3	3	4	1	2	1	3	4	3	3	3
Hình thang cân	2	1	2	4	4	2	4	2	1	1	2
Hình chữ nhật	4	2	1	3	1	3	1	3	2	2	1

3.5. Kết luận

Thông qua khảo sát trường ứng suất, chuyển vị và hình thái phá hủy khối đá xung quanh đường lò sau khi khai đào tương ứng với các loại hình dạng tiết diện đường lò khác nhau, có thể nhận thấy:

Với mỗi loại tiết diện ngang đường lò khác nhau sẽ gây ra những quy luật biến đổi cơ học khác nhau trong khối đá xung quanh đường lò. Thông qua một tham số cơ học độc lập để đánh giá lựa chọn hình dạng tối ưu nhất cho đường lò là chưa đầy đủ.

Để sử dụng được nhiều yếu tố phục vụ việc đánh giá ổn định đường lò bài báo lợi dụng phương pháp so sánh không đơn vị đo, đưa các tham số đánh giá về cùng một hệ qui chiếu, sau đó tiến hành so sánh phân tích. Từ đó đưa ra lựa chọn loại hình tiết diện ngang tối ưu.

Qua kết quả tổng hợp cho thấy: Trong trường hợp đào lò than với đặc điểm cấu tạo địa chất như Bảng 1 mô tả, điểm tích lũy của loại hình tiết diện ngang tường thẳng vòm cong là cao nhất đạt 36 điểm, sau đó là đến loại hình tiết hình thang lệch đạt 30 điểm, hình thang cân và hình chữ nhật nhỏ nhất lần lượt là 25 và 23 điểm. Như vậy, trong điều kiện địa chất cụ thể của bài báo thì loại hình tiết diện tường thẳng vòm cong và hình thang lệch cho kết quả tối ưu nhất.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của nhóm nghiên cứu mạnh "Địa kỹ thuật, vật liệu, và phát triển bền vững"

Đóng góp của các tác giả

Phạm Thị Nhàn - lên ý tưởng nghiên cứu, chạy mô phỏng số, viết bài, xử lý số liệu, định hướng phương án mô phỏng số; Fuzhou Qi - phân tích số liệu mô phỏng số.

Tài liệu tham khảo

Dai, Y., Chen, W., Liu, Q. (2004). Optimization study on cross section of deep mine tunnel under high in situ stress. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering.* 23 (Supp), 960-496.

Đào, V. Đ. (2018). Nghiên cứu độ ổn định khối đá xung quanh công trình ngầm tiết diện tròn. *Tạp chí công nghiệp mỏ*, 2.

Đào, V. Đ., Phạm, N. H. (2014). Phân tích biến dạng và vùng phá hủy dẻo xung quanh đường lò hình chữ nhật tại các độ sâu khác nhau bằng phương pháp số. *Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học lần thứ 21*. tr. 38-45.

Jia, C. (2008). Study on selection of cross-sectional shape in roadway with large cross section and high strata stress . *Jiangxi Coal Science & Technology*, 3, 72-74.

Li, G. Zhang, N., Wang, C. (2010). Optimizing the section shape of roadways in high stress ground by numerical simulation . *Journal of China University of Mining & Technology*, 39(5), 652-658

Ngo, D. H. (2020). Reseach and recommendation of suitable shapes and supports of roadways excavated in the complex geological

conditions, in the loose and weak rocks. *Geotechnical Journal*, 4, 83-92.

Pham, T. N., & Nguyen, V. N. (2021). The effects of dynamic pressure on the stability of prepared drifts near the working surface areas. *Journal of Mining and Earth Sciences,* 62(1), 85-92. (in Vietnamese). doi:10.46326/JMES.2021.62(1).10.

Sun, G., Chen, G., & Yu, P. (2008). The optimized design and application research of roadway cross-section in deep mining. *Coal Engineering,* 9, 57-60.