



Research on the stability of reused roadways at Khe Cham I coal mine



Phuc Quang Le ^{1,*}, Duy Van Than ²

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Institute of Mining Science and Technology - Vinacomin, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24th June 2021

Revised 26th Sep. 2021

Accepted 27th Oct. 2021

Keywords:

Coal pillar,
Deformation roadways,
Mining pressure,
Roadway,
Support "SVP".

ABSTRACT

The deformation and supporting methods, maintaining roadways stability are always important issues in coal mining and safe production, especially for roadways in complex geological conditions. To identify the cause and direction to overcome the disadvantages of supporting and maintaining the stability of reused roads, a case study at seam 11, Khe Cham coal mine I, is presented in this paper. Here, coal seams are exploited with a longwall system, and the roadway is reused with the function of transport and ventilation when mining adjacent panels. In the reuse phase, between the roadway and the goaf is a 20m wide coal pillar, and the main roof of the seam is a hard roof stratum. Based on the results of the detailed field survey, the deformation characteristics of the road and the damaged types of the supporting structure were investigated. The study results show that there is serious deformation and because SVP steel resistance cannot control the movement of the surrounding rock mass and ensure roadway stability. The deformation and narrowing of the roadway section have negatively affected the transportation and ventilation and labor safety. In addition, roadway repair and reinforcement must be carried out regularly, leading to an increase in workload and production costs by 1.5-2 times. To limit the deformation of re-used roadways, the development directions of the supporting structure have been recommended. The research results of the paper can provide reference for the stress-strain study direction of the roadways under similar geological conditions.

Copyright © 2021 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: lequangphuc68@gmail.com

DOI: 10.46326/JMES.2021.62(5a).12



Nghiên cứu sự ổn định của lò dọc vỉa tái sử dụng tại mỏ than Khe Chàm I

Le Quang Phục^{1,*}, Thân Văn Duy²

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

² Viện Khoa học Công nghệ mỏ - Vinacomin, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 24/6/2021

Sửa xong 26/9/2021

Chấp nhận đăng 27/10/2021

Từ khóa:

Áp lực mỏ,

Biến dạng đường lò,

Lò chuẩn bị,

Trụ than,

Vì chống "SVP".

TÓM TẮT

Các sự cố biến dạng và phương pháp chống giữ, duy trì ổn định lò chuẩn bị luôn là những vấn đề quan trọng trong quá trình khai thác than và sản xuất an toàn, đặc biệt đối với các đường lò nằm trong điều kiện địa chất phức tạp. Để xác định nguyên nhân và hướng khắc phục các nhược điểm trong công tác chống giữ và duy trì ổn định lò chuẩn bị tái sử dụng, một nghiên cứu điển hình tại vỉa 11, mỏ than Khe Chàm I, đã được trình bày trong bài báo này. Ở đây, các vỉa than được khai thác với hệ thống cột dài và đường lò dọc vỉa tái sử dụng với chức năng vận tải và thông gió khi khai thác các dải liền kề. Trong giai đoạn tái sử dụng, giữa lò và không gian khai thác là trụ than rộng 20 m và đá vách cơ bản của vỉa thuộc loại khó sập đổ. Trên cơ sở kết quả khảo sát chi tiết tại hiện trường, các đặc điểm biến dạng của đường lò chuẩn bị và các dạng hư hỏng của vì chống đã được điều tra, kết quả nghiên cứu cho thấy có sự biến dạng nghiêm trọng và vì chống thép SVP không thể kiểm soát sự dịch chuyển của khối đá xung quanh và đảm bảo ổn định lò. Sự biến dạng và thu hẹp tiết diện của lò đã ảnh hưởng tiêu cực đến công tác vận tải và thông gió và an toàn lao động. Ngoài ra, công tác sửa chữa và gia cố lò được diễn ra thường xuyên, dẫn đến khối lượng công việc và chi phí sản xuất tăng 1,5-2 lần. Để hạn chế sự biến dạng lò chuẩn bị tái sử dụng, các hướng phát triển kết cấu chống giữ đã được khuyến nghị. Kết quả nghiên cứu của bài báo có thể cung cấp tài liệu tham khảo về hướng nghiên cứu ứng suất-biến dạng của các đường lò trong điều kiện địa chất tương tự.

© 2021 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Giới thiệu

Do tốc độ tăng trưởng kinh tế nhanh, nhu cầu về tài nguyên khoáng sản nói chung và than nói

riêng cho nền kinh tế quốc dân ngày càng tăng. Trong sản xuất và khai thác than bằng phương pháp hầm lò, kiểm soát và duy trì ổn định đường lò là một nhiệm vụ quan trọng và có ảnh hưởng tích cực đến sự an toàn và sản xuất hiệu quả cao. Kiểm soát sự biến dạng của đường lò bằng cách sử dụng các biện pháp chống giữ và duy trì thích hợp đã trở thành một lĩnh vực trọng tâm cực kỳ quan trọng trong nghiên cứu cơ học đá và

*Tác giả liên hệ

E - mail: lequangphuc68@gmail.com

DOI: 10.46326/JMES.2021.62(5a).12



Hình 2. Sơ đồ vị trí đường lò nghiên cứu tại vĩa 11, mỏ than Khe Chàm I.

nghiên cứu thuộc loại khó sập đổ. Trụ trực tiếp của vĩa – sét kết với chiều dày 1,61 m thuộc loại mềm yếu. Vĩa than 11 nằm trên và cách vĩa 10 khoảng 120 m và nằm dưới vĩa 12 khoảng 98 m. Có thể thấy rằng khu vực có lớp đá vách cơ bản khó sập đổ rất dày, vĩa than và lớp đá vách trực tiếp dày trung bình (Le Quang Phục và nnk. 2020).

3. Phương pháp nghiên cứu

Vĩa than 11, mỏ Khe Chàm I (Hình 2), Công ty than Hạ Long đã được chọn làm khu vực nghiên cứu trong công trình này và phương pháp nghiên cứu thực địa để đánh giá chi tiết về sự biến dạng và kết cấu chống giữ của những đường lò chuẩn bị trong điều kiện vĩa than với đá vách khó sập đổ đã được thực hiện. Chúng tôi đã tiến hành kiểm tra vùng đá xung quanh lò bị dịch chuyển trong khu vực nghiên cứu để đánh giá tác dụng duy trì ổn định lò của phương pháp chống giữ với vì thép SVP. Hơn nữa, để bù đắp những nhược điểm của giải pháp chống giữ hiện tại, một số khuyến nghị đã được đề xuất trong kết quả nghiên cứu.

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

4.1. Phương pháp thực hiện nghiên cứu

Tiến hành điều tra thực địa là một cách phù hợp để hiểu sự cố biến dạng đặc điểm của đường bộ trực quan và chi tiết. Trong nghiên cứu này, nó đã được thực hiện trên đường lò thông gió số №11.1.4 của lò chợ LC11.1.4 vĩa than 11 mỏ than Khe Chàm. Lò chợ LC11.1.4 nằm ở độ sâu 300 m

so với bề mặt địa hình. Để cung cấp dữ liệu hữu hình cho việc áp dụng các biện pháp hỗ trợ phù hợp, cuộc điều tra bao gồm: khảo sát cấu trúc khối đá, kết cấu vì chống lò, biến dạng lò, phương pháp xây dựng và các yếu tố khác ảnh hưởng đến sự ổn định của đường.

Kết cấu vì chống của đường lò là vì chống thép hình vòm (loại thép SVP). Nó bao gồm hai cột và một xà của vì chống, chúng được liên kết với nhau bằng gông linh hoạt. Khoảng cách giữa các vì chống lò 0,7 m. Gỗ tròn $\Phi 90$ mm đã được sử dụng để làm chèn hông và nóc lò.

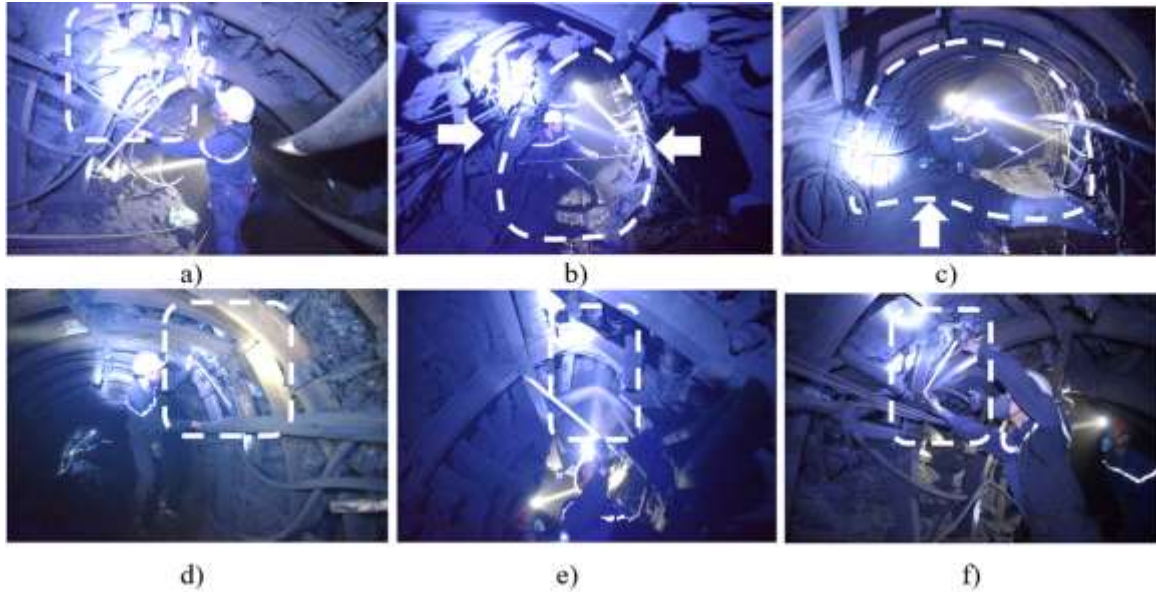
4.2. Đặc điểm biến dạng của đường lò

Hình 3 cho thấy các kiểu biến dạng của đường lò trong khu vực này có thể được sắp xếp thành sáu nhóm bao gồm: áp lực không đối xứng xung quanh lò, đẩy hông, bùng nèn, đứt gông, gãy xà vì chống và rách đầu cột chống.

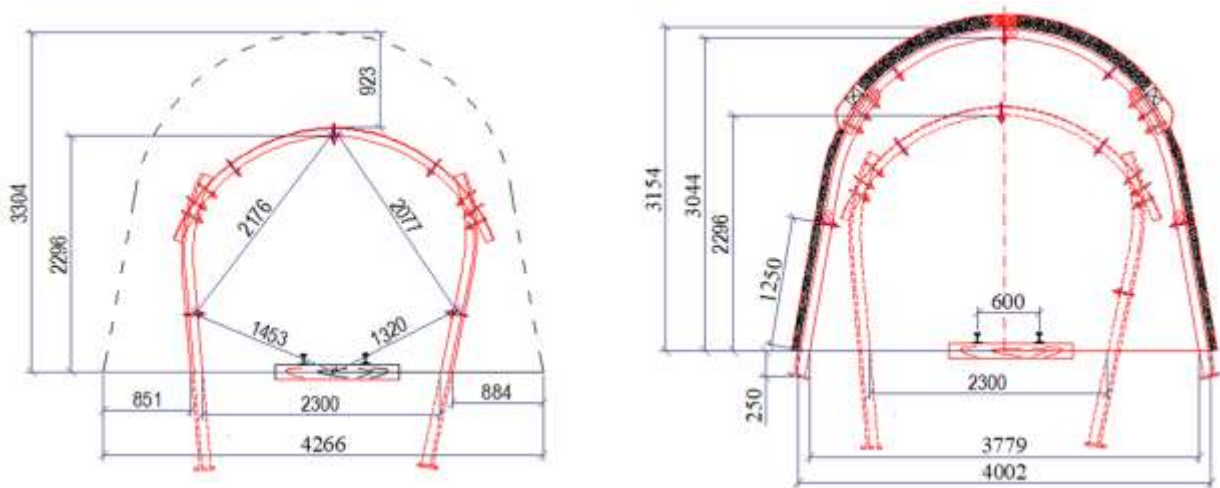
Dựa trên các số liệu trên, chúng tôi đã tiến hành phân tích toàn diện về kết quả khảo sát thực địa, và có thể kết luận về sự biến dạng của đường lò chuẩn bị với các nét đặc trưng sau:

4.2.1. Ứng suất chính đóng vai trò chi phối biến dạng lò

Trong khu vực nghiên cứu, ứng suất thẳng đứng từ mái chính rất cao dẫn đến sự tăng trưởng ứng suất ngang lớn ở hông và nóc lò. Hình 3 đã cho thấy sự nén hông, bùng nèn và gãy vì chống, tất cả đều liên quan đến ứng suất ngang, chiếm khoảng 70% tổng số các vị trí biến dạng của lò. Khi đường



Hình 3. Các kiểu biến dạng và phá hủy vì chống: (a) Áp lực không đối xứng, (b) Đẩy hông, (c) Bùng nển, (d) Đứt gông, (e) Gãy xà vì chống, (f) Rách đầu cột chống.



Hình 4. Thực trạng lò bị biến dạng trước và sau khi chống xén.

lò nằm dưới một lực ép ngang, các bề mặt kết cấu yếu trong trụ và khối than di chuyển về phía mặt tự do và các vết phá hủy kết cấu vì chống xảy ra nếu lực này vượt qua lực cản giới hạn của nó. Đặc biệt, vì hướng đường lò song song với dải trụ than và không gian khai thác, sự biến dạng của đường lò trở nên nghiêm trọng hơn. Hơn nữa, có thể nhìn thấy từ Hình 3b, hướng của áp suất không đối xứng gần như phù hợp với hướng tác dụng của ứng suất chính (σ_1) phát triển mạnh từ phía trụ than (gần như nằm ngang).

4.2.2. Ảnh hưởng của yếu tố thời gian

Các tác động đến sự biến dạng của đường lò từ yếu tố thời gian bao gồm hai khía cạnh: tốc độ biến dạng và thời gian biến dạng. Trong hệ thống khai thác cột dài với việc để lại trụ than bảo vệ, sau khi lò chợ thứ nhất đi qua (lò chợ LC1.11.2), việc dỡ tải và sập đổ của khối đá xung quanh rất khốc liệt vì sự thay đổi ứng suất trong lớp đá mái tiếp giáp với không gian khai thác. Biến dạng xảy ra trong giai đoạn này có thể chiếm hơn 40% toàn bộ biến dạng của đá xung quanh. Sau khi trạng thái

ứng suất được xác lập lại ở trạng thái cân bằng mới, tốc độ biến dạng chậm lại và có hướng tuyến tính với thời gian cho tới khi nó nằm trong vùng áp lực tựa của lò chợ thứ hai (lò chợ LC1.11.4). Khi đường lò nằm trong vùng áp lực tựa của lò chợ thứ hai, tại đây sự biến dạng là tăng tốc mạnh với tốc độ trung bình hạ nóc là 1,3 mm/ngày, đẩy hông trái 4,7 mm/ngày, đẩy hông phải 0,6 mm/ngày và bùng nền 4,1 mm/ngày. Theo kết quả quan trắc, đường lò không đạt được sự ổn định khi nằm trong vùng ảnh hưởng từ áp lực tựa của lò chợ thứ hai, toàn bộ kết cấu vì chống gần như bị phá hủy nên phải thực hiện chống xen lại để đảm bảo an toàn sản xuất.

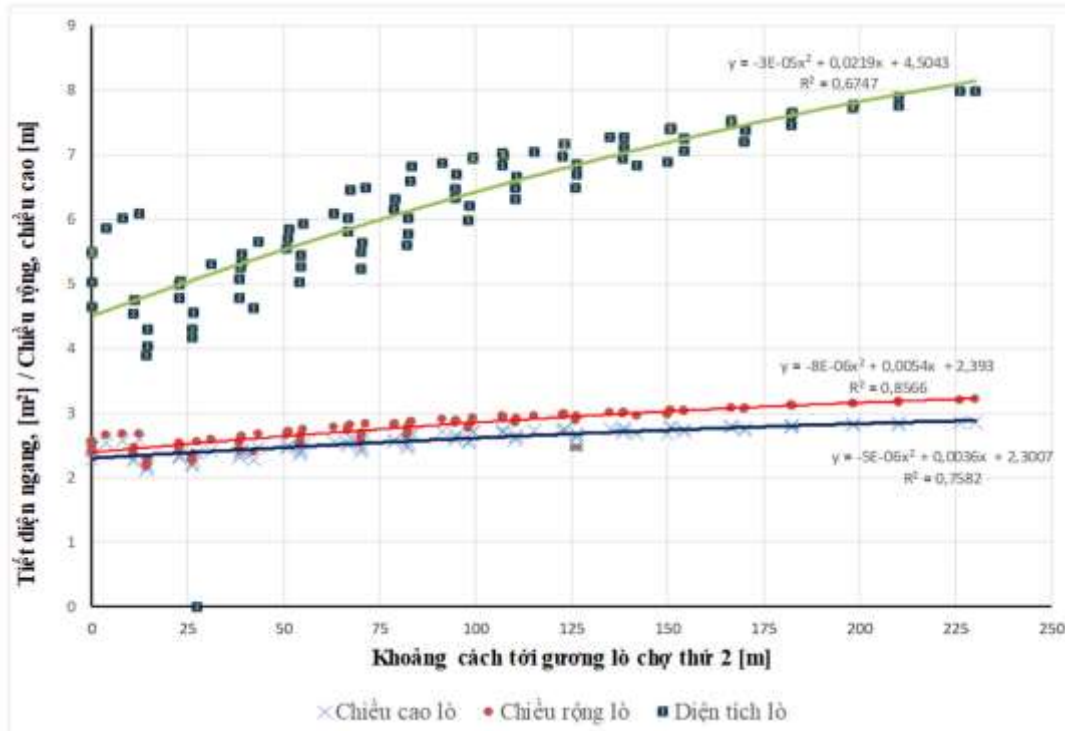
4.2.3. Ảnh hưởng của yếu tố không gian

Tương tự như yếu tố thời gian, sự biến dạng lò chịu sự tác động lớn từ sự phân bố chúng trong mỗi tương ứng với các công trình xung quanh. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng, trong hệ thống khai thác cột dài theo phương, quá trình biến dạng của đường lò tái sử dụng được diễn ra trong ba giai đoạn chính: trong giai đoạn đầu khi mà các lò chợ LC1.11.2 & LC1.11.4 chưa thực hiện khai thác thì sự biến dạng là rất nhỏ, đường lò ổn định; trong giai đoạn thứ hai khi mà đường lò nằm

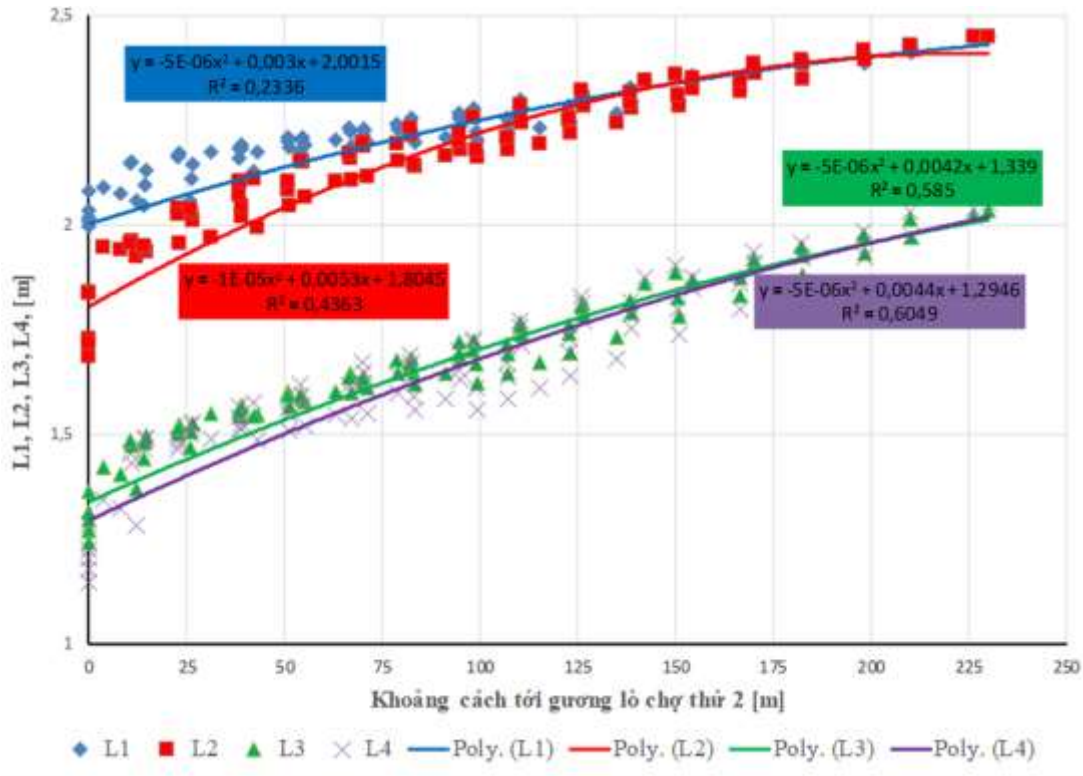
trong vùng áp lực tựa của lò chợ thứ nhất (lò chợ LC1.11.2) và trong vùng xáo trộn áp lực từ không gian khai thác phía cạnh trụ than, đường lò bị biến dạng mạnh và diễn ra nhanh; trong giai đoạn thứ ba, sự biến dạng lò là chậm và tuyến tính (Hình 5 và 6) do các lớp đá vách và trụ than đã nằm trong trạng thái cân bằng mới và tới khi đường lò nằm trong vùng áp lực tựa của lò chợ thứ hai (lò chợ LC1.11.4) thì sự biến dạng của nó là tăng nhanh và mạnh. Như vậy, ở cuối giai đoạn 3, khi mà điểm đo nằm cách gương lò chợ LC1.11.4 khoảng 40 m thì sự biến dạng lò bắt đầu diễn ra rất mạnh, nếu kết cấu chống giữ không tốt sẽ dẫn đến sự phá hủy lò. Trong kết quả nghiên cứu hiện trường, ở cuối giai đoạn 3 đường lò đã bị phá hủy và phải thực hiện chống xen lại.

4.3. Cơ chế phá hủy của vì chống lò

Hiện nay, tại các mỏ than hầm lò Việt Nam, cấu trúc của các vì chống lò tại các đường lò chuẩn bị chủ yếu vẫn được thực hiện bằng khung chống thép SVP hình vòm. Trong nghiên cứu thực địa, bốn chế độ phá hủy của vì chống lò đã được phát hiện: (1) xà và cột bị đẩy trượt lên nhau, (2) sự phá



Hình 5. Sự thay đổi các thông số biến dạng lò theo khoảng cách đến lò chợ khai thác LC 11.1.4.



Hình 6. Diễn biến thay đổi thông số kích thước các bên hông của lò dọc vỉa N°11.1.4.

hủy gông, (3) gãy xà vì chống và (4) rách đầu cột chống.

Hầu hết sự phá hủy của các vì chống lò được tìm thấy trong cuộc điều tra đều xảy ra do sự phá hủy gông, sự đẩy trượt giữa xà và cột, rách đầu cột và chỉ một số nhỏ bị bể gãy xà. Điều đó cho thấy rằng các vì chống không đủ khả năng đảm bảo chống lại sự dịch chuyển và nén ép từ khối đá xung quanh. Nếu khả năng chịu lực của gông liên kết và vì chống đủ lớn, xà và cột của vì chống sẽ không bị đẩy trượt và xé rách. Dựa trên các đặc điểm biến dạng, nguyên lý cơ học là sự cố cắt hoặc sự cố kéo. Hiện tượng thép hình SVP bị ép và uốn cong thường xảy ra ở phía tường lò, đặc biệt là hiện tượng xoắn và rách xảy ra ở điểm liên kết giữa xà và cột của vì chống.

Công tác khảo sát và đo đạc hiện trường tại đường lò dọc vỉa thông gió N°11.1.4 của vỉa 11 mỏ than Khe Chàm I ở độ sâu 300 m đã được thực hiện. Khu vực được chuẩn bị và khai thác theo hệ thống cột dài theo phương. Đường lò dọc vỉa N°11.1.4 được chống giữ bằng vì chống SVP-22 có dạng hình vòm tường đứng, tiết diện sử dụng $S_{sd} = 8,4 \text{ m}^2$. Cột khai thác của lò chợ phía trên (LC11.1.2) đã được khai thác. Trụ than bảo vệ nằm

giữa không gian khai thác với đường lò dọc vỉa có kích thước $Z \approx 18 \text{ m}$. Kết quả đo đạc các thông số biến dạng của đường lò dọc vỉa thông gió N°11.1.4 trong thời gian phục vụ của nó được thể hiện trên đồ thị 3.

Theo đồ thị, sự biến dạng của đường lò và sự dịch chuyển của khối đá xung quanh có xu hướng tăng khi khoảng cách đến gương lò chợ giảm. Đặc biệt, sự biến dạng lò mạnh hơn xuất hiện ở các vùng lân cận giữa lò dọc vỉa và lò chợ đang khai thác (ở khoảng cách 40 m với từ lò chợ). Trong suốt chiều dài của đường lò này và cho đến khi nó giao cắt với lò chợ, diện tích của đường lò chuẩn bị giảm dần tương ứng theo quy luật của phương trình (1):

$$S_{CB} = -0,00003x^2 + 0,0219x + 4,5043 \quad (1)$$

Ở đây: x - khoảng cách từ điểm đo tới gương lò chợ LC 11.1.4, (m).

Kết quả đo đạc tại hiện trường cũng cho thấy rằng, tiết diện sử dụng của đường lò đã giảm từ $8,4 \text{ m}^2$ xuống $4,5 \text{ m}^2$ khi nó tiếp giáp với gương lò chợ thứ hai. Nghĩa là, diện tích của đường lò dọc vỉa tại chỗ tiếp giáp với lò chợ thứ 2 chỉ còn lại 53,6% diện tích ban đầu. Ở phía ngoài, nơi đường lò cách

xa gương lò chợ thứ 2 (khoảng 600 m), diện tích của đường lò thực tế không giảm (chỉ giảm đi 0,65 m²). Tuy nhiên, phần còn lại của đường lò dọc vỉa sau khi lò chợ thứ nhất đi qua là có tiết diện không đảm bảo yêu cầu sản xuất.

Kết quả theo dõi và đo đạc sự thay đổi thông số kích thước các bên tường của đường lò được tóm tắt trong đồ thị Hình 4.

Từ đồ thị cho thấy sự phá hủy - biến dạng của vỉ chống và sự dịch chuyển của khối đá xung quanh đường lò dọc vỉa cũng xảy ra không đều. Phía bên hông trái lò (phía trụ than) bị biến dạng nhiều hơn phía đối diện. Nguyên nhân là do khi đầm đá vách nghiêng, áp lực từ các tầng đá vách xuất hiện và tác động không đều lên đường lò. Với cấu trúc của khung chống SVP làm việc theo nguyên lý “cản” (ngăn sự nén và đẩy theo dạng bị động) nên nó rất dễ bị phá hủy khi áp lực từ khối đá xung quanh vượt quá sự kháng tải của nó.

Khi xem xét đến sự trượt và chùng chéo giữa xà và cột của vỉ chống tại vị trí liên kết (tại vị trí gông liên kết giữa xà và cột), quá trình này là diễn ra phổ biến tại nhiều đoạn lò N^o11.1.4, đặc biệt trong khoảng 40 m trước gương lò chợ LC11.1.4.

5. Kết luận

Bài viết này đã thảo luận một nghiên cứu trường hợp về các đặc điểm biến dạng của đường lò chuẩn bị tái sử dụng và được bảo vệ bằng trụ than trong sơ đồ khai thác cột dài theo phương tại khu vực có điều kiện đá vách cơ bản khó sập đổ ở vỉa 11 mỏ than Khe Chàm. Trên cơ sở điều tra hiện trường chi tiết, các loại và đặc điểm phá hủy-biến dạng của đường lò dưới sự chống giữ của vỉ chống thép SVP đã được điều tra. Các kết luận chính của nghiên cứu như sau:

Các loại phá hủy - biến dạng của đường lò có thể được phân thành sáu loại, bao gồm: áp lực không đối xứng xung quanh lò, đẩy hông, bùng nền, đứt gông, gãy xà vỉ chống và rách đầu cột chống. Hơn nữa, các tính năng chính ảnh hưởng đến sự biến dạng của đường lò tái sử dụng bao gồm hiệu ứng thời gian tồn tại lò, hiệu ứng không gian và ứng suất chính tối đa đóng vai trò vai trò chi phối sự biến dạng.

Kết quả khảo sát và đo đạc đã cho thấy sự biến dạng lò diễn ra rất mãnh liệt khi nó nằm trong vùng áp lực tựa của lò chợ. Tất cả các vị trí đường lò nằm trong vùng áp lực tựa của lò chợ thứ hai đều phải thực hiện chống xén để đảm bảo thông

gió và an toàn. Các công việc này đã chứng minh rằng vỉ thép hình vòm SVP được sử dụng để chống giữ lò dọc vỉa trong điều kiện áp lực mỏ cao không phải là phương pháp chống giữ và duy trì khả thi. Ảnh hưởng của áp lực tựa do sự khai thác của lò chợ làm tăng tải trọng lên các khung chống thép SVP có khả năng chịu tải thấp dẫn đến mất khả năng chịu lực của nó, một số trường hợp có thể làm sập đá vách và tụt nóc lò.

Khuyến nghị phương hướng nâng cao sự ổn định của đường lò chuẩn bị:

- Việc tối ưu hóa các thông số và nâng cao chất lượng hoạt động khoan nổ mìn sẽ giúp giảm tiết diện thừa của đường lò, giảm sự hình thành vùng biến dạng dẻo trong khối đá xung quanh.

- Kịp thời cung cấp bổ sung gông, giằng, văng liên kết tại các vị trí vỉ chống bị hỏng và chèn đầy khoảng trống do sự tụt lở đá xung quanh lò để các vỉ chống luôn đạt được khả năng chịu lực cao, đồng thời ngăn ngừa sự tách lớp và hình thành vùng biến dạng dẻo không đàn hồi xung quanh đường lò.

- Điều kiện tiên quyết để duy trì sự ổn định của đường lò chuẩn bị là việc thiết lập một hệ thống chống giữ tăng cường phù hợp trước khi lò chợ đi qua.

- Việc nghiên cứu sử dụng vỉ neo trong điều kiện địa chất này sẽ làm tăng đáng kể khả năng chịu lực của khối đá xung quanh, giảm sự phân tầng của đá, nhưng phải tuân thủ tuyệt đối theo các bước của công nghệ chống neo.

Lời cảm ơn

Tác giả xin chân thành cảm ơn kỹ sư Trần Quang Tiền – phân xưởng khai thác 3 cùng tập thể cán bộ phòng kỹ thuật sản xuất, công ty than Hạ Long đã giúp đỡ trong quá trình thực hiện đo đạc và theo dõi quan trắc số liệu tại hiện trường.

Đóng góp của các tác giả

Lê Quang Phục: hình thành ý tưởng, cấu trúc bài báo, hoàn thiện các nội dung bài báo và bản thảo cuối cùng; Thân Văn Duy: tham gia nghiên cứu, đo đạc và chỉnh sửa số liệu.

Tài liệu tham khảo

Chang, Q.L., Zhou, H.Q., Xie, Z.H., Shen, S.P., (2013). Anchoring mechanism and application of hydraulic expansion bolts used in soft rock

- roadway floor heave control. *Int. J. Min. Sci. Technol*, 23, 323–328.
- Chen, X., Guo, H., Zhao, P., Peng, X., Wang, S., (2011). Numerical modeling of large deformation and nonlinear frictional contact of excavation boundary of deep soft rock tunnel. *J. Rock Mech. Geotech. Eng*, 3, 421–428.
- Coggan, J., Gao, F., Stead, D., Elmo, D., (2012). Numerical modelling of the effects of weak immediate roof lithology on coal mine roadway stability. *Int. J. Coal Geol*, 90, 100–109.
- Gao, F.Q., Stead, D., Kang, H.P., (2015). Numerical simulation of squeezing failure in a coal mine roadway due to mining-induced stresses. *Rock Mech. Rock Eng*, 48, 1635–1645.
- Guo, Z., Yang, X., Bai, Y., Zhou, F., Li, E., Guo, Z., Yang, X., Bai, Y., Zhou, F., Li, E., (2012). A study of support strategies in deep soft rock: The horsehead crossing roadway in Da qiang coal mine. *Int. J. Min. Sci. Technol*, 22, 665–667.
- Hong-sheng, T., Shi-hao, T., Chen, W., Ding-yi, H., De-fu, Z., (2018). Mechanical analysis of a vertical-wall, semicircular-arch roadway and a repair technique using double-shell support. *Environ. Earth Sci*, 77, 509.
- Huang, F., Zhu, H.H., Zhu, Q.W., Xu, Q.W., (2013). The effect of weak interlayer on the failure pattern of rock mass around tunnel-Scaled model tests and numerical analysis. *J. Tunn. Undergr. Space Technol*, 35, 207–218.
- Kang, Y.S., Liu, Q.S., Xi, H.L., (2014). Numerical analysis of THM coupling of a deeply buried roadway passing through composite strata and dense faults in a coal mine. *Bull. Eng. Geol. Environ*, 73, 77–86.
- Le Quang Phuc, V. P. Zubov, Phung Manh Dac, (2020). Improvement of the Loading Capacity of Narrow Coal Pillars and Control Roadway Deformation in the Longwall Mining System. A Case Study at Khe Cham Coal Mine (Vietnam). *Inżynieria Mineralna — Lipiec – Grudzień 2020 July – December — Journal of the Polish Mineral Engineering Society*. pp 115-122. <http://doi.org/10.29227/IM-2020-02-15>
- Yan, S., Bai, J.B., Li, W.F., Chen, J.G., Li, L., (2012). Deformation mechanism and stability control of roadway along a fault subjected to mining. *Int. J. Min. Sci. Technol*, 22, 559–565.
- Yang, S.Q., Chen, M., Jing, H.W., Chen, K.F., Meng, B., (2017). A case study on large deformation failure mechanism of deep soft rock roadway in Xin'An coal mine, China. *Eng. Geol*, 217, 89–101.
- Yu, Y., Bai, J., Wang, X., Zhang, L. (2020). Control of the Surrounding Rock of a Goaf-Side Entry Driving Heading Mining Face. *Sustainability*, 12, 2623.