



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)

HÀ NỘI 14 - 11 - 2024

ERSD 2024



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Nghiên cứu tổng quan về vật liệu đá thải-xi măng lấp đầy khoảng trống sau khai thác tại mỏ than hầm lò

Nguyễn Tài Tiến^{1,*}

¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất

TÓM TẮT

Mục tiêu của bài báo là nghiên cứu tổng quan về vật liệu đá thải-xi măng (CRF), khả năng ứng dụng của chúng trong khai thác hầm lò sử dụng nghiên cứu tổng hợp. Vật liệu đá thải-xi măng (CRF), một loại vật liệu mới bao gồm xi măng Portland, nước và đá thải, đóng một vai trò quan trọng trong khai thác xanh. Chức năng chính của vật liệu đá thải-xi măng là dùng để kiểm soát chuyển dịch địa tầng và sụt lún bề mặt, ngăn chặn hiện tượng nổ đá trong quá trình khai thác. Hơn nữa, quãng đuôi và lượng đá thải trong lò chợ sẽ được giảm thiểu, dẫn đến tăng hiệu quả kinh tế và bảo vệ môi trường. Kết quả cho thấy, các nghiên cứu về vật liệu bê tông đá thải thường bao gồm hai hướng chính: 1- nghiên cứu thành phần vật liệu đá thải-xi măng (cấp phối cốt liệu, loại và lượng chất kết dính, phụ gia khoáng v.v.) và ảnh hưởng của các thành phần này đến tính chất của đá thải-xi măng, 2 -Nghiên cứu ứng dụng vật liệu đá thải-xi măng trong khai thác khoáng sản như đánh giá ảnh hưởng của chúng đến chuyển dịch địa tầng, độ lún bề mặt và độ hội tụ của nóc lò chợ, cũng như ứng suất - biến dạng của trụ bảo vệ lò chợ và trước mặt gương lò chợ. Nhiều nhà nghiên cứu đã chú ý đến các hướng nghiên cứu vật liệu đá thải-xi măng này bằng cách sử dụng các mô hình thực nghiệm, mô hình giải tích và mô hình số.

Từ khóa: vật liệu đá thải-xi măng; lò chợ; ổn định

1. Đặt vấn đề

Khai thác hầm lò liên quan đến việc tạo ra các khoảng trống ngầm (như lò chợ) có thể gây mất ổn định mặt đất khi kích thước lò chợ quá lớn. Điều này có thể ảnh hưởng đến tỷ lệ thu hồi và pha loãng quặng, gây sụt lún mặt đất và dẫn đến các vấn đề nghiêm trọng về an toàn. Mặt khác, hoạt động khai thác mỏ tạo ra một lượng lớn chất thải như đá thải và quặng thải, chúng thường được đưa lên mặt đất, và thường gây ra các vấn đề về môi trường như: chiếm dụng không gian trên bề mặt, thoát nước mỏ có tính axit v.v... Cho đến nay, một số phương pháp đã được phát triển để giải quyết vấn đề này, trong đó giải pháp lấp đầy lò chợ là một giải pháp tối ưu.

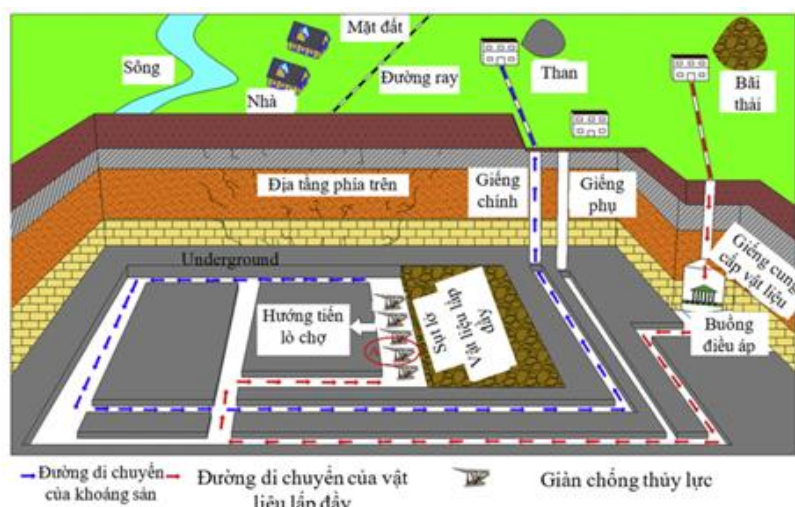
Vật liệu đá thải-xi măng (CRF - Cemented Rockfill Material), một loại vật liệu xanh bao gồm xi măng Portland, nước và đá thải, đóng một vai trò quan trọng trong khai thác xanh. Vật liệu đá thải - xi măng (CRF) được sử dụng để kiểm soát chuyển dịch địa tầng và sụt lún bề mặt (Fall, Célestin, Pokharel, & Touré, 2010; Li L., 2014), ngăn chặn nổ đá trong quá trình khai thác (Zhou, Li, Zhang, & R., 2016; Zhu, Xu, Xu, Chen, & Shi, 2017). Ngoài ra, sẽ giảm thiểu hiện tượng quãng đuôi và lượng đá thải trong lò chợ, giúp tăng hiệu quả kinh tế và bảo vệ môi trường (Kesimal, Yilmaz, Ercikdi, Alp, & Deveci, 2005).

Các nghiên cứu về vật liệu đá thải-xi măng thường bao gồm hai hướng chính: 1- nghiên cứu thành phần vật liệu đá thải-xi măng (cấp phối cốt liệu, loại và lượng chất kết dính, phụ gia khoáng v.v.) và ảnh hưởng của các thành phần này đến tính chất của CRF (Wu, et al., 2019; Sainsbury & Sainsbury, 2014; Saw., Prentice, & Villaescusa, 2011), 2 - Nghiên cứu ứng dụng vật liệu CRF trong khai thác khoáng sản, đánh giá ảnh hưởng của vật liệu CRF đến chuyển dịch địa tầng, độ lún bề mặt và sự hội tụ vách trong lò chợ, cũng như ứng suất-biến dạng của trụ bảo vệ và trước gương (Meng, Jixiong, Zhan, Xu, & Peng, 2016; S., et al., 2018; Jixiong, et al., 2011). Nhiều nhà nghiên cứu đã chú ý đến các hướng nghiên cứu vật liệu CRF này bằng cách sử dụng các mô hình thực nghiệm (Lingga & Apel, 2018; Jiang, Fall, Li, & Han, 2019), mô hình giải tích (Meng, Jixiong, Zhan, Xu, & Peng, 2016) và mô hình số (S., et al., 2018; Jixiong, et al., 2011).

Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày tổng quan về vật liệu đá thải - xi măng và các kết quả nghiên cứu của các tác giả ở trong và ngoài nước.

* Tác giả liên hệ

Email: nguyentaitien@humg.edu.vn



Hình 1. Sơ đồ công nghệ sử dụng vật liệu lấp đầy lò chợ (Li, et al., 2018)

2. Nghiên cứu về vật liệu đá thải - xi măng trong các mỏ hầm lò

2.1. Nghiên cứu tính chất và thành phần vật liệu đá thải-xi măng

Hiện nay có hai cách tiếp cận để cải thiện vật liệu CRF. Cách tiếp cận đầu tiên là cải thiện độ bền của hỗn hợp bằng cách cải thiện đặc tính liên kết của vữa xi măng và bề mặt tiếp xúc. Cách tiếp cận thứ hai là tăng mật độ của hỗn hợp bằng cách giảm lỗ rỗng, cải thiện phân bố kích thước lỗ rỗng và tối ưu hóa phân bố thành phần hạt. Cách tiếp cận này dựa trên thừa nhận rằng bề mặt tiếp xúc và lỗ rỗng cấu trúc là điểm yếu của vật liệu này và độ bền của độ bền của cốt liệu lớn hơn nhiều so với cường độ của hỗn hợp CRF. Vật liệu sử dụng đá thải trong khai thác có xu hướng bị nứt và có độ bền khác so với vật liệu vữa xi măng. Sự khác biệt giữa vật liệu CRF và bê tông là thành phần cốt liệu có nguồn gốc là đá thải.

Vật liệu đá thải-xi măng bao gồm các cốt liệu đã qua sàng, nghiền hoặc không qua sàng (Hình 2), được phủ bằng một lớp vữa dính kết với hàm lượng xi măng tổng thể từ 4-6%, tạo ra vật liệu có độ bền nén từ 1 MPa đến 6 MPa. Hàm lượng chất dính kết nhỏ hơn 4% không phù hợp để chất dính kết phủ lên cốt liệu. Khi hàm lượng lớn hơn 6% tính kinh tế sẽ thấp hơn, nhất là đối với phương pháp khai thác lộ thiên. Hàm lượng chất dính kết cao hơn có thể được sử dụng cho phương pháp khai thác hầm lò, lấp đầy các lò chợ với mục đích tăng độ ổn định của mỏ. Sự tương thích giữa xi măng và đá thải mỏ chưa có nhiều nghiên cứu chi tiết.

CRF có khả năng chịu áp lực chủ động, không chỉ chống giữ mà còn cải thiện độ ổn định của đá xung quanh. Tuy nhiên, việc kiểm soát chất lượng của vật liệu CRF và sự phân tầng của chúng tương đối khó khăn. Các thông số quan trọng đối với độ ổn định của vật liệu CRF bao gồm hướng dăng lấp đầy lò chợ, hàm lượng chất kết dính, phân bố kích thước hạt, tỷ lệ nước trên chất kết dính, sự phân tách, phương pháp đổ.



(a)

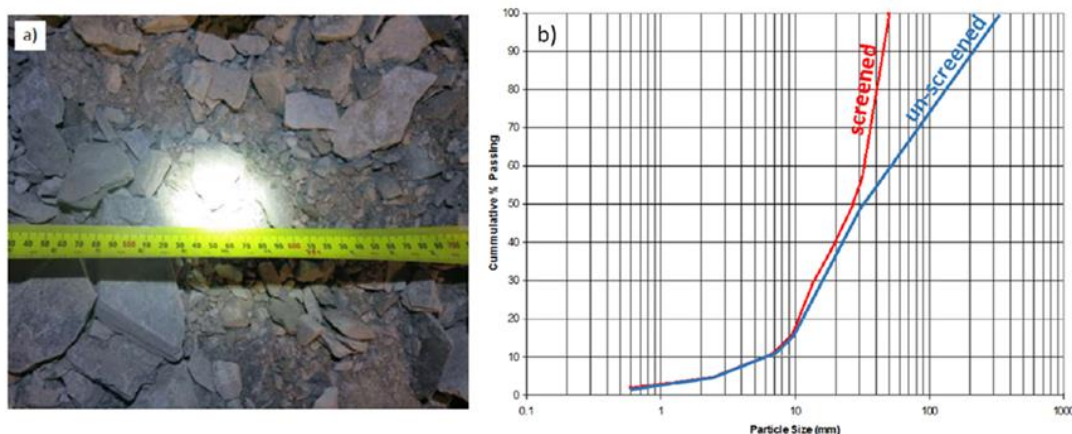


(b)

Hình 2. Đá thải tự nhiên và đá thải đã nghiền sàng

Đá thải dùng cho mục đích lấp đầy khoảng trống là đá thải chưa trải qua quá trình thay đổi cấp hạt. Do kích thước hạt tối đa của đá thải của các mỏ điển hình tương đối lớn (200-400mm), việc thí nghiệm vật liệu đá thải-xi măng trong phòng thí nghiệm gặp nhiều khó khăn. Nếu không thực hiện các thí nghiệm với mẫu có kích thước lớn (xấp xỉ 500mm), rất khó có thể thu được các kết quả chính xác về độ bền và biểu hiện biến dạng của vật liệu CRF. Tuy nhiên, vẫn có thể thu được các kết quả quan trọng bằng các thí nghiệm thông thường trên các mẫu có kích thước nhỏ (150mm) với biểu đồ cỡ hạt đã được hiệu chỉnh để giảm thiểu hiệu ứng tỷ lệ mẫu.

Sainsbury, 2014 đã thực hiện nghiên cứu về ảnh hưởng của thời gian đông rắn và hàm lượng chất dính kết đến độ bền nén đơn trục của vật liệu CRF tại mỏ Ballarat, Úc. Đá thải điển hình được lấy và sàng để loại bỏ các hạt có đường kính lớn hơn 50mm, đảm bảo kích thước hạt tối đa với kích thước mẫu với tỷ lệ 1:3, (hình 3). Kết quả cho thấy rằng độ bền nén đơn trục tăng khi hàm lượng xi măng từ 3% lên 5%, cường độ của mẫu tăng khi thời gian đông kết từ 7 đến 28 ngày, cường độ mẫu với tỷ lệ đường chiều cao/đường kính (H/D) mẫu là 2:1 bằng 70% so với mẫu có tỷ lệ H/D là 1:1.



Hình 3. Đá thải tại hiện trường và đường cong phân bố cỡ hạt trước và sau khi sàng (Sainsbury, 2014)

Saw và nnk, 2011 đã nghiên cứu đặc tính của vật liệu CRF tại mỏ Niken Cosmos ở Úc. Tính chất vật lý của đá thải, chất dính kết, lượng nước và ảnh hưởng của chúng đến tính chất cơ học của vật liệu CRF tại các nhiệt độ, độ ẩm và thời gian đông kết khác nhau đã được thực hiện. Trong nghiên cứu này, đá thải đã được nghiền và sàng từ khu mỏ được phân tích về trọng lượng riêng, mật độ, hàm lượng nước, mức độ hấp thụ nước và phân tích thành phần phân bố cỡ hạt (Hình 4).

Thông thường, với vật liệu CRF, các hạt có kích thước nhỏ hơn 10mm được coi là cốt liệu mịn, đối với mỏ Cosmos tỷ lệ thành phần chứa 30-35% cốt liệu mịn và 65-70% cốt liệu thô. Đường cong phân bố kích thước hạt của đá thải ở mỏ Niken Cosmos phù hợp với lý thuyết phân loại Talbot với chỉ số mũ thay đổi, “n” - chỉ số Talbot bằng 0,45. (một phân loại phù hợp với vật liệu CRF).

$$\frac{M}{M_t} = \left(\frac{d}{d_{\max}} \right)^n \quad (1)$$

Với $d_{\max}$ - Kích thước hạt lớn nhất; d - Kích thước hạt đang xét; M - Khối lượng của hạt có kích thước nhỏ hơn hoặc bằng d ; M_t - Tổng khối lượng của các hạt.

Mẫu thí nghiệm được đổ vào các khuôn hình trụ có kích thước 400x800mm và 500-1000mm (đường kính x chiều cao mẫu). Từ kết quả thí nghiệm, tác giả chỉ ra rằng với hàm lượng xi măng 3% theo thể tích, thì vật liệu CRF đã đạt được cường độ tối thiểu cần thiết (2,3 MPa với hệ số an toàn 2). Hàm lượng vữa xi măng càng lớn thì cường độ nén đơn trục của vật liệu CRF càng lớn. Sự phát triển cường độ của vật liệu CRF phụ thuộc nhiều vào tính chất vật lý, cơ học của đá thải, thời gian đông kết, độ ẩm, nước, tỷ lệ nước/xi.

Vennes Issac, 2014 nghiên cứu độ bền của của vật liệu CRF bằng thí nghiệm nén đơn trục với tỷ lệ lớn trong điều kiện hiện trường tại mỏ Nicken, Birchtree, Canada. Trong nghiên cứu, Vennes thực hiện chế tạo mẫu thử có đường kính 375mm và chiều cao 750mm. Các mẫu được xây dựng: 1) Mẫu với đường cong vật liệu Talbot 5’’; 2) Mẫu với đường cong vật liệu Talbot 3’’; 3) Mẫu với cốt liệu chưa qua sàng. Kết quả chỉ ra rằng độ bền nén đơn trục của mẫu với cốt liệu chưa qua sàng nhỏ hơn mẫu với vật liệu qua sàng.

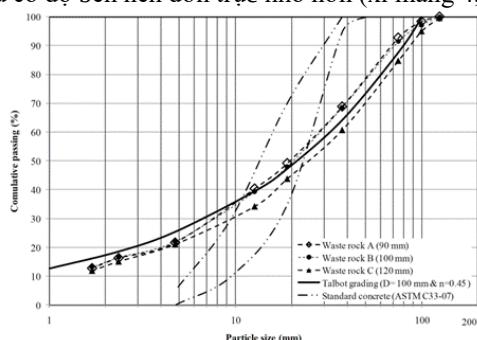
Theo nghiên cứu của Peterson và nnk, 1988, hàm lượng hạt mịn ảnh hưởng đến cường độ CRF, trong khi mẫu hạt cốt liệu chưa qua sàng hàm lượng hạt mịn chiếm 19%, với mẫu với cốt liệu được qua sàng lần

lượt là 35% và 27%. Độ mịn cao làm giảm cường độ theo hai cách: các hạt thô hơn bị bão hòa trong hỗn hợp xi măng - cát; và đòi hỏi tỷ lệ W:C trong vữa để trộn đều hỗn hợp.

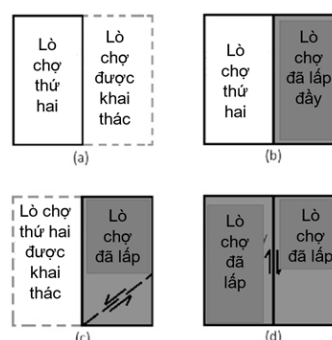
Vennes, 2014 chỉ ra rằng cường độ tăng 90% khi hàm lượng chất dính kết tăng từ 4% lên 5%. Hai phương pháp trộn được sử dụng trong mỏ Birchtree, phương pháp 1 chất kết dính được phun lên thùng chứa cốt liệu, sau đó hỗn hợp cốt liệu và chất kết dính được đổ vào lò chợ, nhờ độ rung khi di chuyển của thùng chứa cốt liệu và hỗn hợp này được xáo trộn khi đổ vào lò chợ. Phương pháp 2: cốt liệu được đổ vào hố, chất kết dính được phun lên cốt liệu trong hố và máy xúc sẽ trộn cốt liệu và vữa trong hố để tạo ra vật liệu CRF, sau đó được đổ vào lò chợ. Kết quả thí nghiệm cho thấy, với phương pháp 2 cho kết quả độ bền nén của mẫu cao hơn so với phương pháp 1. Vật liệu CRF cần thời gian bảo dưỡng dài để đạt được cường độ tối đa. Cường độ của vật liệu CRF tại thời điểm 4 tuần tăng 60% so với cường độ vật liệu ở 2 tuần tuổi.

Lingga và Apel, 2018 đã nghiên cứu đặc tính chống cắt của vật liệu CRF thông qua các thí nghiệm cắt trực tiếp và thí nghiệm nén ba trục với các mẫu với đường kính x chiều cao 152,4 mm x 304,8 mm (6 in x 12 in). Các mẫu được chế tạo từ cốt liệu đá thải với kích thước hạt lớn nhất là 50,8mm (2in), cỡ hạt đã được cấp phối và tỷ lệ theo khối lượng giữa cốt liệu thô và cốt liệu mịn (<10mm) là 40:60%. Cấp phối cốt liệu phù hợp theo phương pháp của Talbot với hệ số mũ "n"=0,35. Tám mẫu với hai thành phần cấp phối khác nhau được xây dựng với tỷ lệ xi măng trên cốt liệu lần lượt là 4,5% và 10,5%. Mô hình mô phỏng vật liệu lấp đầy chịu cắt trong lò chợ được thể hiện trên hình 5.

Tương tác trong khai thác hầm lò có thể chia thành 2 dạng: 1) Tiếp xúc giữa CRF và CRF, có thể đánh giá bằng thí nghiệm cắt trực tiếp, sử dụng tiêu chí về độ bền cắt của Barton. 2) Liên kết giữa các hạt trong vật liệu CRF có thể đánh giá bằng thí nghiệm nén 3 trục. Từ thí nghiệm cho thấy, mẫu có cường độ nén đơn trục cao hơn (xi măng 10,5%) thường có lực dính cao hơn, nhưng có góc ma sát trong thấp hơn so với mẫu có độ bền nén đơn trục nhỏ hơn (xi măng 4,5%).



Hình 4. Biểu đồ phân bố cỡ hạt của đá thải (Saw., Prentice, và Villaescusa, 2011)



Hình 5. Trình tự khai thác (Lingga & Apel, 2018)

Các nghiên cứu được thực hiện bởi Wang và nnk, (2001), Benzaazoua và nnk, (2004), chỉ ra rằng các tạp chất trong nước để trộn hỗn hợp vữa xi măng có thể làm giảm cường độ vật liệu CRF. Mức độ giảm cường độ có thể thay đổi theo loại đá thải và liều lượng chất kết dính được sử dụng. Trong một số trường hợp nhất định, nước thải mỏ có thể được sử dụng cho mục đích chế tạo vật liệu CRF bằng cách hòa trộn nó với nước sạch. Tuy nhiên, cần phải xác định việc sử dụng các loại nước thải mỏ có dẫn đến giảm cường độ hay không và đánh giá mức độ giảm cường độ với tính hiệu quả về mặt kinh tế.

2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng vật liệu lấp đầy đến ổn định lò chợ và địa tầng

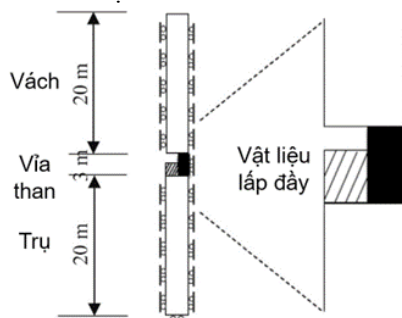
Các nghiên cứu trên thế giới khi nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu lấp đầy đến độ ổn định của lò chợ và địa tầng thường sử dụng phương pháp giải tích và phương pháp số kết hợp với kiểm chứng mô hình thực tế. Với các phương pháp số, các tính chất vật liệu lấp đầy, vật liệu CRF, tỷ lệ lấp đầy lò chợ ...cùng với các tính chất của đất đá xung quanh được mô phỏng trong phần mềm số, từ đó thu được kết quả. Một vài các kết quả nghiên cứu được trình bày sau đây liên quan đến vấn đề ổn định lò chợ cũng như địa tầng phía trên lò chợ.

Zhang và nnk, 2016 nghiên cứu ứng dụng vật liệu lấp đầy được chế tạo từ đá thải, cát và một số loại vật liệu khác, để làm giảm hiện tượng sập mái và giảm khả năng sập vỡ gương lò chợ. Trong nghiên cứu, Zhang đã nghiên cứu tỷ lệ chiều cao giữa vật lấp đầy chiều cao của gương lò chợ (φ_k) để kiểm soát tác động đến nóc lò chợ dựa trên ba điều kiện: 1) không có tiếp xúc giữa vật liệu lấp đầy và nóc lò chợ trước khi mái bị sập; 2) Có tiếp xúc giữa vật liệu lấp đầy và nóc lò chợ trước khi mái sập; 3) Nóc không bị sập.

Bằng cách đơn giản hóa vỉa than và vật liệu lấp đầy như một nền đàn hồi và nóc lò chợ như là một dầm, các mô hình cơ học của nóc lò trong các điều kiện khác nhau đã được phát triển để xác định khoảng thời gian sập, năng lượng biến dạng tích lũy trước khi sập và sự giải phóng năng lượng biến dạng, thể năng đổi

với tỷ lệ lấp đầy khác nhau. Dựa trên dữ liệu thử nghiệm, Zhang (2016) chỉ ra rằng với tỷ lệ lấp đầy $\varphi_k < 82,5\%$, chỉ có tác dụng làm giảm nguy cơ sập đổ nóc lò chợ, không ngăn được các hiện tượng nổ, sập gương lò chợ. Khi tỷ lệ lấp đầy $82,5\% \leq \varphi_k < 93\%$, thì có tác dụng giảm rõ rệt các hiện tượng trên. Khi tỷ lệ lấp đầy $\varphi_k > 93\%$, nguy cơ nổ, sập nóc lò và gương chợ là tối thiểu. Kết quả nghiên cứu được áp dụng tại mỏ than Jisan, Trung Quốc với tỷ lệ lấp đầy $\varphi_k \leq 96,4\%$, cho thấy hệ số tập trung ứng suất giảm 1,44 lần (Zhang, 2016).

Mo và nnk, 2018 đã thực hiện các mô phỏng số để nghiên cứu tác động của vật liệu lấp đầy đến cường độ của trụ bảo vệ trong các mỏ than với lò chợ dài (hình 6). Trong nghiên cứu, Mo và nnk (2018) mô phỏng 2 dạng vật liệu lấp đầy: có lực dính kết và không có lực dính kết; đồng thời mô phỏng thay đổi tỷ lệ giữa kích thước trụ bảo vệ và chiều cao của lò chợ.



Hình 6. Mô hình trụ than với vật liệu lấp đầy (Mo và nnk, 2018)

Kết quả nghiên cứu cho thấy biểu hiện của trụ bảo vệ rất đa dạng phụ thuộc vào loại và lượng vật liệu cũng như tỷ lệ giữa chiều rộng trụ bảo vệ với chiều cao của lò chợ ($W \times H$). Trong trường hợp vật liệu lấp đầy có tính dính kết, với tỷ lệ lấp đầy 75% độ bền nhất tăng đáng kể và tăng rõ rệt hơn đối với các trụ bảo vệ có tỷ lệ $W \times H$ nhỏ hơn. Độ bền dư của trụ bảo vệ tăng lên cùng với sự gia tăng cường độ của vật liệu lấp đầy (Mo và nnk, 2018).

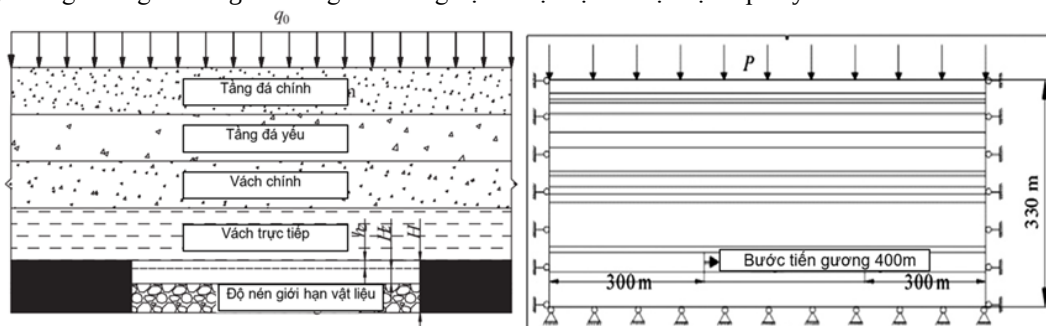
Trong trường hợp vật liệu lấp đầy không có tính dính kết, sự thay đổi về độ bền lớn nhất và độ bền dư không đáng kể khi tỷ lệ lấp đầy nhỏ hơn 92%, độ bền lớn nhất và độ bền dư tăng liên tục và đạt đến giá trị cực đại khi tỷ lệ lấp đầy đạt giá trị 100%.

Zhang và nnk, 2011 đã trình bày một phân tích số (UDEC2D) để nghiên cứu chuyển dịch của địa tầng với các mô đun đàn hồi khác nhau (1 GPa đến 20 GPa) của vật liệu lấp đầy từ vật liệu thải và tro bay (hình 7). Để mô phỏng chiều cao của lò chợ trong phần mềm số, Zhang và nnk, đã trình bày một phương pháp xác định chiều cao lò chợ tương đương (H_z), như sau:

$$H_z = h_d + h_w + k(H - h_d - h_w) \quad (2)$$

Với: h_d - Độ lún của nóc lò chợ trước khi lò chợ được lấp đầy (m); h_w - Chiều cao phần lò chợ không được lấp đầy (m); H - Chiều cao lò chợ (m); k - Hệ số nén vật liệu lấp đầy từ 6,6% đến 12,1%.

Kết quả cho thấy rằng sự gia tăng mô đun đàn hồi của vật liệu lấp đầy (E) sẽ kéo theo sự giảm ứng suất theo phương thẳng đứng ở phía trước gương lò chợ và làm giảm độ lún tối đa (độ hội tụ) của nóc lò chợ. Hệ số nén vật liệu lấp đầy ảnh hưởng lớn đến chiều dày tương đương của lò chợ trong mô phỏng. Chiều dày tương đương có thể giảm bằng cách tăng hệ số mật độ của vật liệu lấp đầy.



Hình 7. Mô hình hóa lò chợ với vật liệu lấp đầy trong phân tích số (Jixiong và nnk, 2011)

3. Kết luận

Vật liệu đá thải - xi măng (CRF) là một loại vật liệu lấp đầy sử dụng trong khai thác, dùng để lấp đầy khoảng trống sau khai thác của lò chợ. Việc ứng dụng vật liệu CRF có tác dụng nâng cao độ ổn định của

địa tầng, lò chợ và giảm độ lún bề mặt, đồng thời giảm lượng đá thải đưa lên trên mặt đất gây ô nhiễm môi trường và chiếm dụng không gian bề mặt. Một số nghiên cứu trên thế giới đưa ra một số kết luận sau:

- Hàm lượng xi măng trong vật liệu tăng sẽ làm tăng cường độ của vật liệu CRF, tuy nhiên hàm lượng này chỉ nên lấy trong khoảng từ 4-6%;
- Phương pháp và hướng lấp đầy, kích thước lò chợ ảnh hưởng đến sự phân tầng trong vật liệu CRF trong lò chợ, dẫn đến cường độ của vật liệu đá CRF trong lò chợ không đồng đều;
- Tỷ lệ lấp đầy và tính chất vật liệu CRF càng cao (mô đun đàn hồi, cường độ nén đơn trục) thì áp lực lên lò chợ càng nhỏ, ổn định địa tầng càng lớn.

Tuy có nhiều ưu điểm nhưng vật liệu CRF cũng có một số nhược điểm như: Chi phí vận hành cao, khó khăn trong việc lấp đầy hoàn toàn lò chợ, sự phân tầng trong vật liệu, việc thi công không tốt sẽ làm giảm độ bền, có thể gây nguy hại đến lò chợ liền kề. Do đó, cần có nghiên cứu sâu hơn để có thể làm giảm chi phí vận hành, tối ưu hóa quá trình thi công, tối ưu hóa thành phần vật liệu v.v... đối với từng mỏ cụ thể.

Tài liệu tham khảo

- Benzaazoua, M., Fall, M., & Belem, T., 2004. A contribution to understanding the hardening process of cemented pastefill. *Minerals Engineering*, 17(2), 141-152. doi: 10.1016/j.mineng.2003.10.022
- Fall, M., Célestin, J., Pokharel, M., & Touré, M., 2010. A contribution to understanding the effects of curing temperature on the mechanical properties of mine cemented tailings backfill. *Engineering Geology*, 114(3), 397-413.
- Jiang, H., Fall, M., Li, Y., & Han, J., 2019. An experimental study on compressive behaviour of cemented rockfill. *Construction and Building Materials*, 213(20), 10-19. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.061
- Jixiong, Z., Qiang, Z., Yanli, H., Jinwei, L., Nan, Z., & Dongfeng, Z., 2011. Strata movement controlling effect of waste and fly ash backfillings in fully mechanized coal mining with backfilling face. *Mining Science and Technology (China)*, 21(5), 721-726. doi: 10.1016/j.mstc.2011.03.003
- Kesimal, A., Yilmaz, E., Ercikdi, B., Alp, I., & Deveci, H., 2005. Effect of properties of tailings and binder on the short-and long-term strength and stability of cemented paste backfill. *Materials Letters*, 59(28), 3703-3709.
- Li, J., Huang, Y., Qiao, M., Chen, Z., Song, T., Kong, G., Guo, L., 2018. Effects of Water-Soaked Height on the Deformation and Crushing Characteristics of Loose Gangue Backfill Material in Solid Backfill Coal Mining. *Processes*, 6(64). doi:10.3390/pr6060064
- Li, L., 2014. Generalized Solution for Mining Backfill Design. *International Journal of Geomechanics*, 14(3). doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000329
- Lingga, B. A., & Apel, D. B., 2018. Shear properties of cemented rockfills. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(4), 635-644. doi: 10.1016/j.jrmge.2018.03.005
- Meng, L., Jixiong, Z., Zhan, L., Xu, Z., & Peng, H., 2016. Mechanical analysis of roof stability under nonlinear compaction of solid. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(5), 863-868. doi: 10.1016/j.ijmst.2016.05.029
- Peterson, S., Szymanski, J., & Planeta, S., 1998. A Statistical Model for Strength Estimation of Cemented Rockfill in Vertical Block Mining. *MINEFILL '98 - The Sixth International Symposium on Mining with Backfill*. Brisbane, Queensland.
- Mo S., Canbulat I., Zhang C., Oh J., Shen B., Hagan P., 2018. Numerical investigation into the effect of backfilling on coal pillar strength in highwall mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(2), 281-286. doi: 10.1016/j.ijmst.2017.07.003
- Sainsbury, D., & Sainsbury, B., 2014. Design and implementation of cemented rockfill at the Ballarat Gold Project. In Y. Potvin, & T. Grice (Ed.), *Mine Fill 2014: Proceedings of the Eleventh International Symposium on Mining with Backfill*, (pp. 205-216). Perth. doi:10.36487/ACG_rep/1404_15_Sainsbury
- Saw., H. A., Prentice, S., & Villaescusa, E., 2011. Characterisation of cemented rock fill materials for the Cosmos nickel mine, Western Australia. *International Conference on Advances in Construction Materials through Science and Engineering*. Hong Kong.
- Vennes, I., 2014. Determination of Cemented Rockfill Strength with Large Scale UCS Tests under In-Situ Conditions. Quebec, Canada: Master's Thesis.
- Wang, C., & Villaescusa, E., 2001. Influence of water salinity on the properties of cemented tailings backfill. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*, 110(1), 62-65. doi:10.1179/mnt.2001.110.1.62
- Wu, J., Feng, M., Ni, X., Mao, X., Chen, Z., & Han, G., 2019. Aggregate gradation effects on dilatancy behavior and acoustic characteristic of cemented rockfill. *Ultrasonics*, 92, 79-92. doi:

10.1016/j.ultras.2018.09.008

Zhang, J., Li, B., Zhou, N., & Zhang, Q., 2016. Application of solid backfilling to reduce hard-roof caving and longwall coal face burst potential. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 88, 197-205. doi: 10.1016/j.ijrmms.2016.07.025

Zhou, N., Li, M., Zhang, J., & R., & G., 2016. Roadway backfill method to prevent geohazards induced by room and pillar mining: a case study in Changxing coal mine. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(12), 2473–2484.

Zhu, W., Xu, J., Xu, J., Chen, D., & Shi, J., 2017. Pier-column backfill mining technology for controlling surface subsidence. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 96, 58–65.

ABSTRACT

An overview of cemented rockfill material for filling underground voids in coal mines

Nguyen Tai Tien¹

¹Hanoi University of Mining and Geology

The aim of this paper is to provide an overview of waste rock-cement materials and their applicability in underground mining, focusing on upstream studies. Cemented rockfill material (CRF), a new green material composed of Portland cement, water and waste rocks, plays a crucial role in green mining. The main functions of cemented rockfill material are used to control the strata movement and surface subsidence, to prevent the rock burst in the mining process. Moreover, the tailing in stope and the amount of waste rock in stope will be minimized, leading to increased economy efficiency and environmental protection. The results show that studies on cemented rockfill material usually include two main directions: 1- study of components of cemented rockfill material (aggregate gradation, the type and amount of binder, mineral admixtures etc.) and influence of these components on CRF's properties, 2 -Research on the application CRF material in mining, assessing the effect of CRF material on strata movement, surface settlement and roof convergence in stope, as well as the stress-strain of stope pillars and in front of the working face. Many researchers paid attention to these research directions CRF material by using experimental models, analytical models and numerical models.

Keywords: cemented rockfill material; stability; stope