ỨNG DỤNG PHÂN TÍCH MÔ PHỎNG SỐ PFC2D XÁC ĐỊNH GÓC DỐC HỢP LÝ CỦA LÒ CHỢ XIÊN CHÉO CHỐNG BẰNG GIÀN MỀM

Ngô Văn Ngọc*, Wang Dong

Đại học Kỹ thuật Liêu Ninh, 88 Yulong, Fuxin, Liaoning, Trung Quốc

THÔNG TIN BÀI BÁO
CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 31/12/2024
Ngày nhận bài sửa: 28/01/2025
Ngày chấp nhận đăng: 05/02/2025
* Tác giả liên hệ:
Email: ngovanngoc18101991@gmail.com

TÓM TẮT

Đối với công nghệ khai thác lò chợ xiên chéo sử dụng giàn chống mềm để khai thác các vỉa than dày trung bình dốc, dốc đứng thì góc dốc hợp lý của lò chợ xiên chéo là mấu chốt quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến vấn đề an toàn và hiệu quả khai thác. Để lựa chọn được góc dốc hợp lý của lò chợ, có thể sử dụng phần mềm mô phỏng số PFC2D. Trong bài viết này, sẽ lấy các thông số lò chợ xiên chéo của vỉa than số 6A Công ty than Nam Mẫu- TKV làm đối tượng nghiên cứu, sử dụng phần mềm PFC2D mô phỏng các gương lò chợ xiên chéo với các góc dốc khác nhau để đánh giá hiệu quả khai thác than và ảnh hưởng của góc dốc lò chợ đối với sự ổn định của gương lò chợ cũng như khối đá xung quanh.

Từ khóa: *góc dốc, tốc độ, sự ổn định, mô phỏng động lực học hạt.*

---

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khai thác hiệu quả và hạn chế tối đa tổn thất tài nguyên than là một vấn đề nhận được rất nhiều sự quan tâm. Đối với các vỉa than dốc nghiêng và dốc đứng tại vùng Quảng Ninh, hiện nay chủ yếu áp dụng công nghệ khai thác lò chợ xiên chéo, chống giữ bằng giàn chống mềm. Việc xác định góc dốc hợp lý của lò chợ xiên chéo là mấu chốt quan trọng để đảm bảo an toàn và hiệu quả khai thác, đồng thời cũng là cơ sở cho tính toán các tham số khác của lò chợ [1]. Hiện nay, việc xác định góc dốc của lò chợ xiên chéo chủ yếu dựa vào kinh nghiệm, để đảm bảo cho công nhân đi lại làm việc và các thiết bị không bị trôi trượt trong lò chợ. Thông thường góc dốc lò chợ xiên chéo được lựa chọn trong khoảng từ 25°-30°. Hiệu quả khai thác lò chợ được quyết định bởi các yếu tố như tốc độ khai thác, tỷ lệ thu hồi than, sự ổn định gương lò chợ và khối đá xung quanh.

Hiện nay, áp dụng mô phỏng số để giải quyết các bài toán kỹ thuật là giải pháp được quan tâm. Chính vì vậy, việc áp dụng mô phỏng số để xác định góc dốc hợp lý của lò chợ xiên chéo là cần thiết.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nghiên cứu phân tích và đánh giá ảnh hưởng của góc dốc lò chợ xiên chéo đối với tốc độ khai thác, tỷ lệ thu hồi than, sự ổn định của gương lò chợ và khối đá xung quanh

2.1.1. Giới thiệu phần mềm mô phỏng số PFC2D

PFC2D (Particle Flow Code in 2-Dimensions) là phần mềm mô phỏng số dựa trên phương pháp phần tử rời rạc (Discrete Element Method - DEM) cho phép phân tích chi tiết các hiện tượng động lực học của hệ hạt trong không gian hai chiều. Trong mô hình do phần mềm tạo ra, các hạt rời rạc được xem như những đơn vị độc lập, tương tác với nhau thông qua các lực tiếp xúc, bao gồm lực pháp

tuyến và lực tiếp tuyến, được biểu diễn dưới dạng các lò xo và bộ ma sát vi mô nhằm mô phỏng chính xác hành vi cơ học thực tế của các hạt. PFC2D cung cấp khả năng mô phỏng vi mô về chuyển động, ứng suất, và biến dạng của hạt, đặc biệt hữu ích trong nghiên cứu các hiện tượng phức tạp trong lĩnh vực kỹ thuật khai thác mỏ, địa kỹ thuật, và cơ học đất. Phần mềm có thể được ứng dụng để mô phỏng quá trình khai thác than và khoáng sản, đánh giá tác động của nổ mìn và hoạt động cơ học của máy khấu đến sự phá vỡ than cũng như sự ổn định của gương lò chợ trong điều kiện tải trọng biến thiên, giúp dự đoán chính xác mức độ ổn định của hệ thống mỏ và hỗ trợ quản lý an toàn khai thác. Ngoài ra, PFC2D còn được sử dụng để nghiên cứu sự phá hủy liên kết trong vật liệu, đánh giá độ bền kéo, mô đun đàn hồi, và khả năng chịu tải của các kết cấu. Tại Trung Quốc, phần mềm đã được ứng dụng rộng rãi tại các mỏ than để phân tích sự lan truyền sóng nổ, xác định khu vực tập trung ứng suất lớn trong đá, và tối ưu hóa thiết kế khai thác, từ đó nâng cao hiệu quả sản xuất và giảm thiểu nguy cơ tai nạn. Với khả năng tái hiện chính xác các hiện tượng vi mô và linh hoạt trong mô phỏng, PFC2D là công cụ không thể thiếu trong nghiên cứu khoa học và thực tiễn kỹ thuật, đặc biệt trong các lĩnh vực yêu cầu phân tích chi tiết và chính xác hành vi cơ học của hệ hạt. Một số kết quả ứng dụng phần mềm mô phỏng số PFC2D đã được thực hiện tại các mỏ than Trung Quốc.

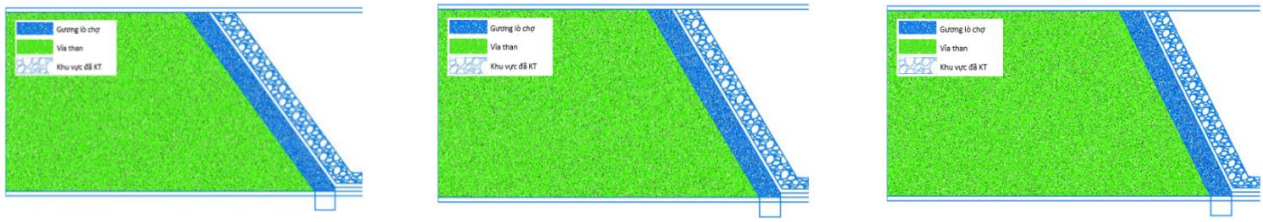
Hồ Ngọc và cộng sự [3], đã tiến hành nghiên cứu ứng dụng phần mềm mô phỏng số PFC2D dựa trên lý thuyết mô hình tương đương nhằm xác định các thông số kỹ thuật khấu than hợp lý, bao gồm tiến độ khấu và chiều cao khấu. Bằng cách sử dụng mô phỏng số, nghiên cứu tập trung phân tích ảnh hưởng của tiến độ khấu đến quy luật dịch chuyển của gương lò chợ và khối đá xung quanh, qua đó làm sáng tỏ mối quan hệ giữa tiến độ khấu và sự ổn định của cấu trúc mỏ. Kết quả nghiên cứu đã xác định tiến độ khấu tối ưu cho lò chợ cơ giới hóa tại mỏ than Thành Trang là 1,6 m, góp phần nâng cao hiệu quả khai thác và đảm bảo an toàn trong vận hành. Nghiên cứu không chỉ khẳng định tính ứng dụng của PFC2D trong mô phỏng các quá trình khai thác phức tạp mà còn cung cấp cơ sở khoa học để tối ưu hóa quy trình khai thác tại các mỏ than có điều kiện địa chất tương tự.

Để nghiên cứu quy luật phát triển trường vết nứt trong lò chợ khai thác cơ giới hóa toàn diện tại điều kiện độ sâu với ứng suất lớn, Jiang Chenghao và cộng sự [4], đã áp dụng phần mềm mô phỏng số PFC2D nhằm mô phỏng sự biến đổi độ lở rời trong khu vực đã khai thác cũng như đặc trưng phát triển của các vết nứt tại gương lò chợ. Nghiên cứu đã làm sáng tỏ tác động của hoạt động khai thác lò chợ đến sự thay đổi về độ lở rời của gương than và khối đá xung quanh. Kết quả chỉ ra rằng, khi gương lò chợ tiến được 15 m, tỷ lệ lở rời cục bộ của khối đá và vỉa than đã tăng đáng kể, cho thấy sự mất ổn định ban đầu tại khu vực này. Khi gương lò chợ tiếp tục tiến đến 90 m, tỷ lệ lở rời của vỉa than trước gương lò chợ có thể đạt đến 0,98, đồng thời, vết nứt trong tầng đá phủ trên phát triển liên tục cho đến khi đạt giá trị lớn nhất. Nghiên cứu không chỉ cung cấp hiểu biết sâu sắc về động lực học phá hủy trong điều kiện khai thác cơ giới hóa tại độ sâu lớn mà còn minh chứng khả năng của PFC2D trong việc phân tích các hiện tượng cơ học phức tạp, tạo cơ sở khoa học để đưa ra các giải pháp kỹ thuật đảm bảo an toàn và hiệu quả khai thác.

2.2.2. Thiết lập mô hình

Căn cứ vào điều kiện địa chất thực tế vỉa than 6A của Công ty than Nam Mẫu - TKV, các thông số, tính chất cơ lý của đá vách đá trụ vỉa than và khối đá xung quanh, nhóm tác giả thiết lập ba mô hình tương đương mô phỏng với góc mở lò chợ từ lò vận tải chân trong mô hình là 54°, 59° và 65°, tương ứng với các góc dốc lò chợ xiên chéo là 25°, 30° và 35°. Tiến hành nghiên cứu phân tích và đánh giá trên hai khía cạnh là: (1) Tốc độ khai thác và tỉ lệ thu hồi than; (2) Đặc trưng và xu hướng phát triển các vết nứt của gương lò chợ và khối đá xung quanh. Trên cơ sở kết quả phân tích mô phỏng sẽ lựa chọn được góc dốc lò chợ xiên chéo tối ưu, đáp ứng các yêu cầu lò chợ 25°, 30°, 35° như: tốc độ khai thác; tỉ lệ thu hồi than cao; ảnh hưởng của nó đến sự ổn định của gương lò chợ và khối đá xung quanh là ít nhất.

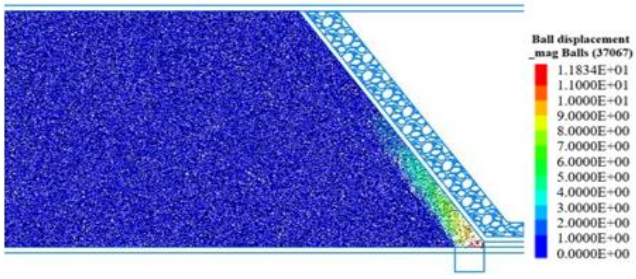
Trước khi thiết lập mô hình, đầu tiên cần gán các giá trị thực tế cho các tham số về tính chất cơ lý của than, đá thu được tại khu vực khai thác để mô hình đạt được trạng thái cân bằng ban đầu, các mô hình ở trạng thái cân bằng có cùng các tham số, chỉ khác nhau về góc dốc lò chợ [5]. Kết quả mô hình ở trạng thái cân bằng được thể hiện trong Hình 1.



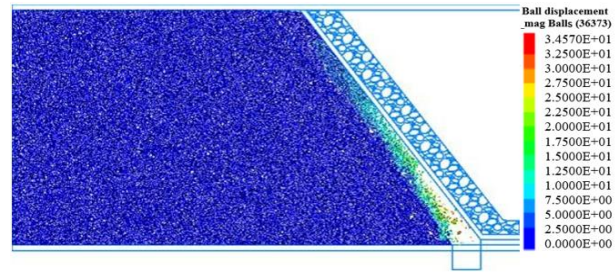
a) 54° b) 59° c) 65°

Hình 1. Mô hình tương đương với các góc mở lò chợ khác nhau ở trạng thái cân bằng ban đầu

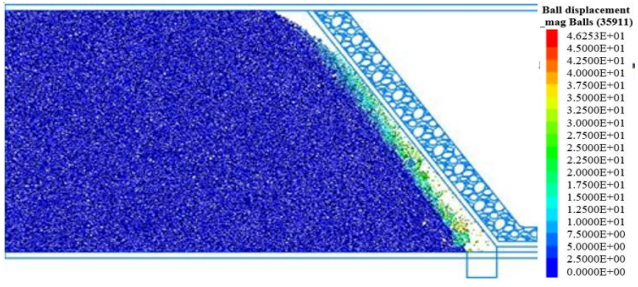
Để phân tích đặc trưng khai thác than của lò chợ xiên chéo với các góc dốc khác nhau, tiến hành nghiên cứu so sánh từ hai khía cạnh là hiệu suất khai thác tương đối và tốc độ khai thác tương đối. Bởi ba mô hình có cùng các tham số, chỉ khác góc dốc, thông qua việc thay đổi lực liên kết giữa các hạt của khu vực khai thác trong mô hình để mô phỏng kết quả ảnh hưởng của quá trình nổ mìn phá vỡ than, tiếp theo bằng cách cho các hạt tự động trượt dưới tác dụng của trọng lực của nó, để mô phỏng quá trình vận chuyển than trong mặt làm việc bằng máng trượt, sử dụng phần mềm thống kê trong mỗi khoảng thời gian cố định số lượng hạt than được khai thác [4]. Do góc dốc các mô hình khác nhau cho nên dưới cùng một tiến độ chiều dài lò chợ, tổng số hạt than khai thác được trong phạm vi khai thác có sự khác biệt, do đó việc so sánh tốc độ khai thác dựa trên tốc độ trung bình theo bước thời gian tính toán. Cài đặt các khoảng thời gian tính toán trên ba mô hình là giống nhau, từ đó có thể phân tích đánh giá được đặc trưng tốc độ khai thác và tỷ lệ thu hồi than của từng lò chợ tương ứng với mỗi góc dốc khác nhau. Kết quả sự thay đổi gương lò chợ trong các bước thời gian khác nhau của ba mô hình với góc mở lò chợ là 54°, 59°, 65° được thể hiện trong Hình 2, Hình 3 và Hình 4.



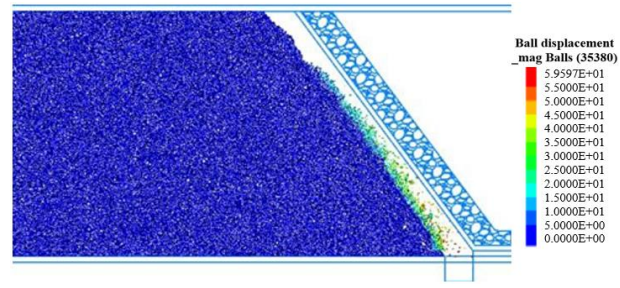
(a) Time1



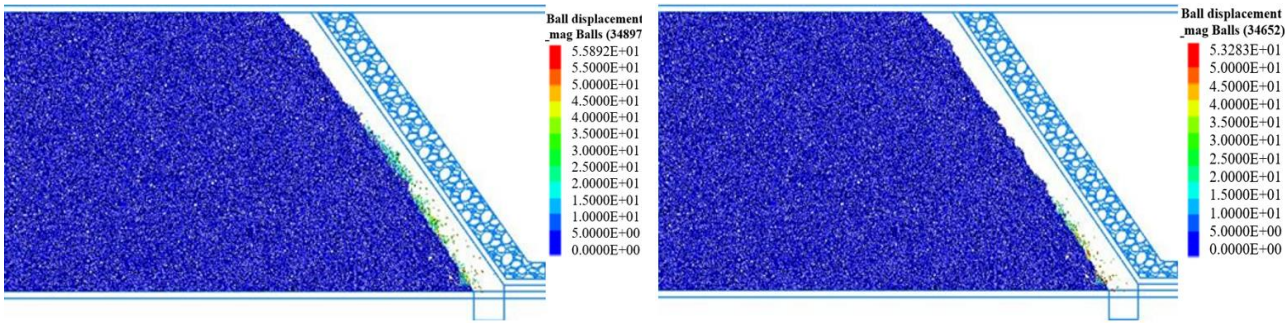
(b) Time10



(c) Time20

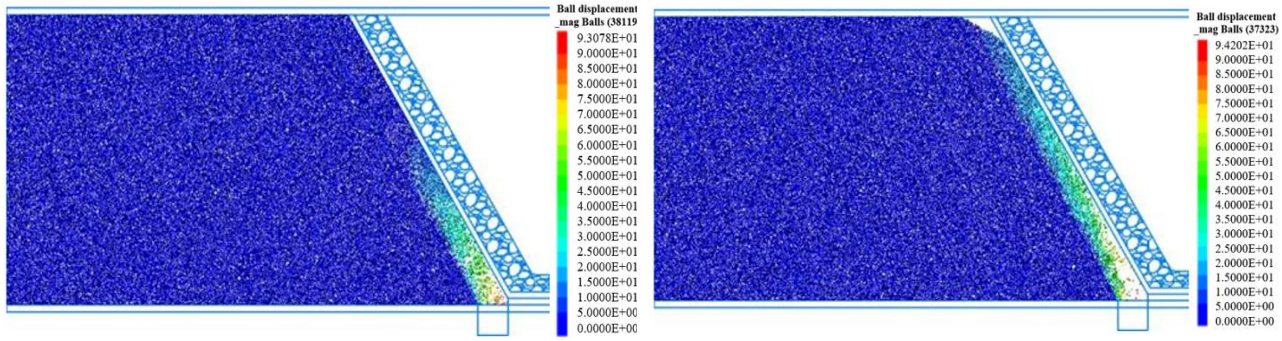


(d) Time30

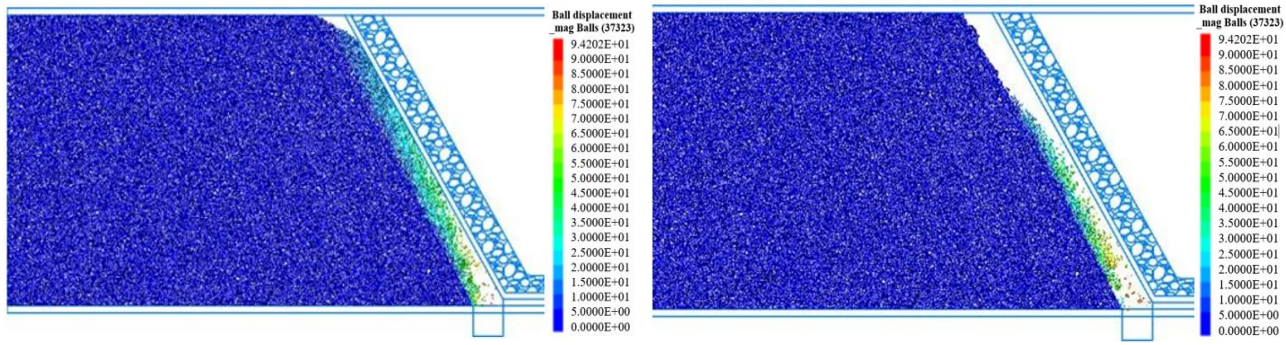


(e) Time40 (f) Time50

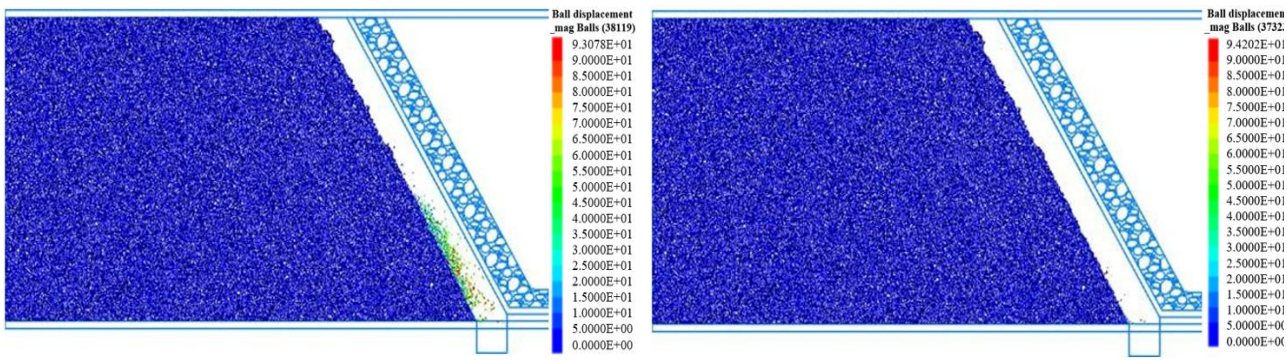
Hình 2. Mô hình tương đương với góc mở lò chợ 54º, tương ứng góc dốc lò chợ xiên chéo 25º



Time1 *Time8*

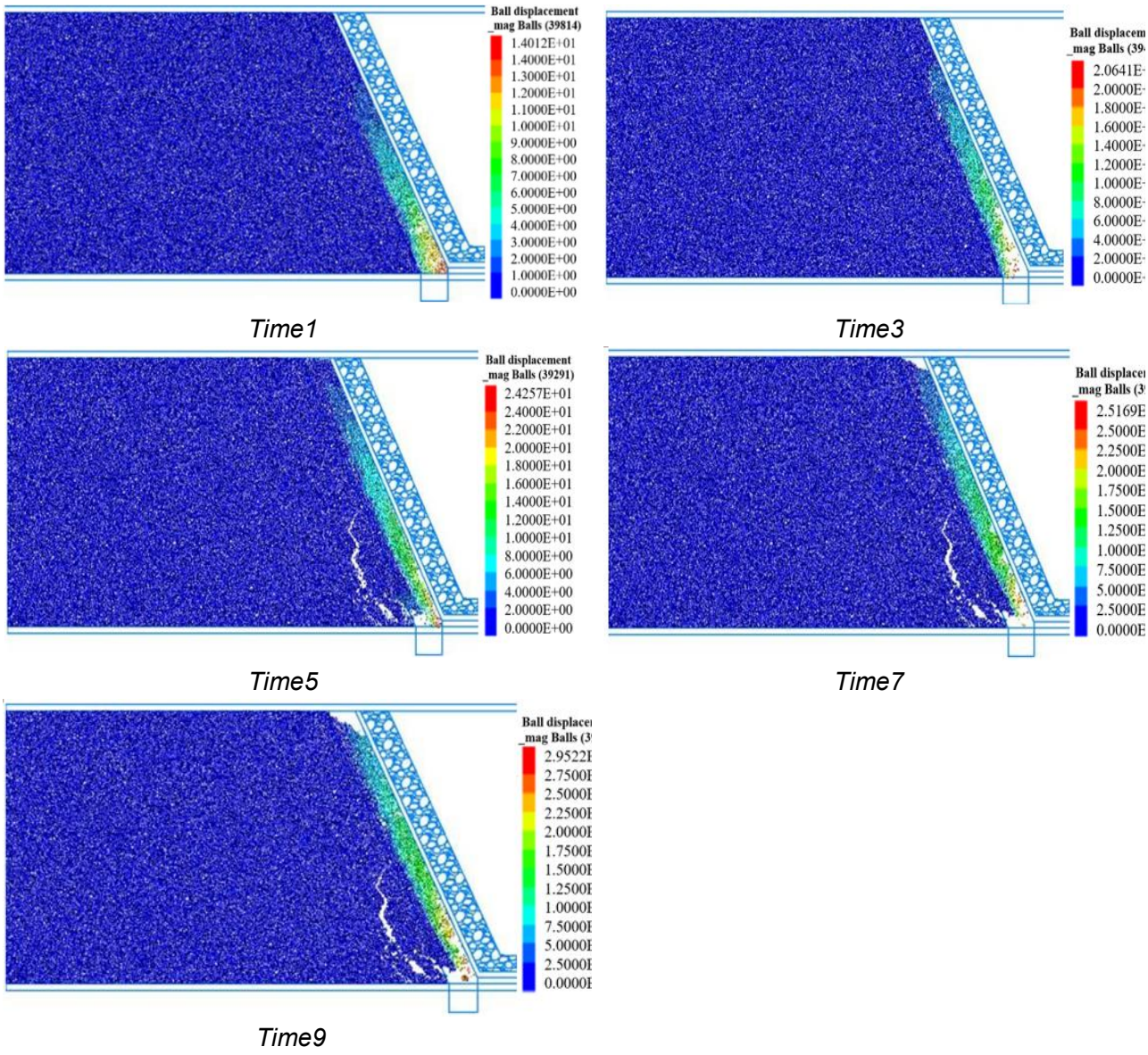


Time16 *Time24*



Time32 *Time40*

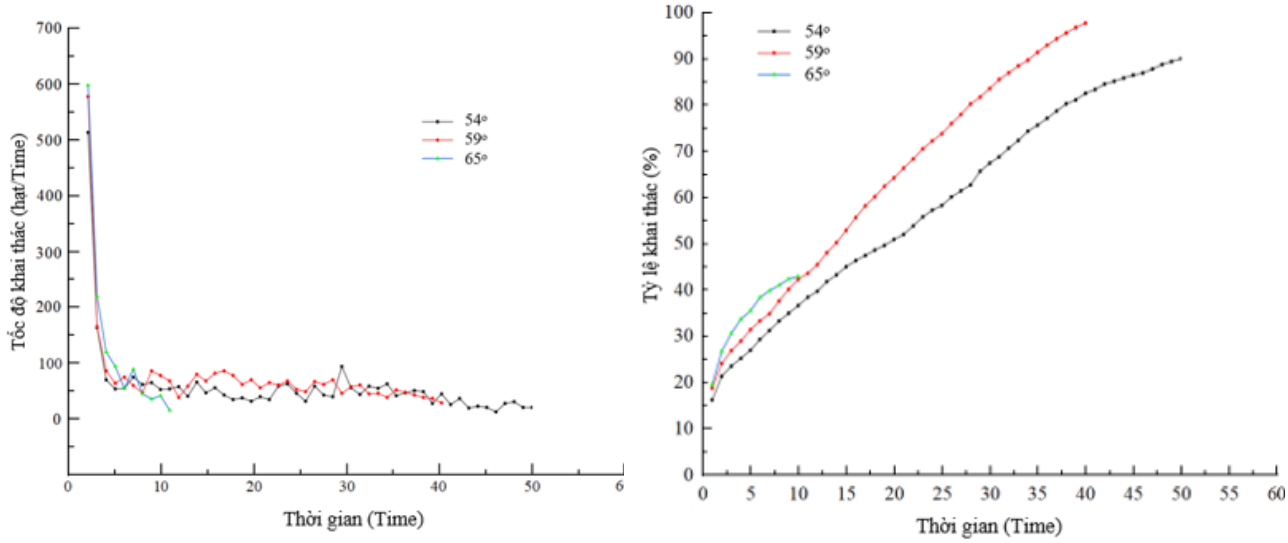
Hình 3. Mô hình tương đương với góc mở lò chợ 59º, tương ứng góc dốc lò chợ xiên chéo 30º



Hình 4. Mô hình tương đương với góc mở lò chợ 65°, tương ứng góc dốc lò chợ xiên chéo 35°

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Căn cứ kết quả các mô hình mô phỏng bên trên có thể thấy tốc độ khai thác, sự xuất hiện các vết nứt ở gương lò chợ và khối đá xung quanh với ba mô hình có góc dốc lò chợ khác nhau có sự khác biệt đáng kể. Theo từng khoảng thời gian, ở giai đoạn khai thác ban đầu tốc độ khai thác than của ba mô hình với ba góc dốc lò chợ gần như không có sự khác biệt, tuy nhiên ở giai đoạn khai thác thông thường thì góc dốc lò chợ xiên chéo càng lớn tốc độ khai thác càng nhanh. Tốc độ khai thác và tỷ lệ thu hồi than khai thác tương đối của ba mô hình được thể hiện trong Hình 5.



(a) mối quan hệ tốc độ-thời gian (b) mối quan hệ tỷ lệ khai thác và thời gian

Hình 5. Biểu đồ thể hiện tốc độ khai thác và tỷ lệ thu hồi than khai thác tương đối

Với mô hình góc mở lò chợ 54° tương ứng góc dốc lò chợ xiên chéo 25°, tốc độ khai thác chậm nhất và tỉ lệ thu hồi than khai thác cũng là thấp nhất. Sau 50 bước thời gian trong cùng điều kiện, tỉ lệ thu hồi than khai thác chỉ đạt tới xấp xỉ 89%. Trong mô hình này góc dốc là nhỏ nhất, nên chiều dài lò chợ xiên chéo là lớn nhất, trọng lực tác dụng dọc theo chiều nghiêng của lò chợ là nhỏ nhất, áp lực tác dụng lên gương than và khu vực đá xung quanh là nhỏ nhất, vì vậy gương than và đá xung quanh tương đối ổn định, sự phát triển khe nứt tương đối chậm. Tuy nhiên, do góc mở lò chợ nhỏ nhất, nên khối than tam giác ở phía trước gương lò chợ tiếp giáp lò song song chân khá mỏng đã xuất hiện các vết nứt và bị phá vỡ, điều này cũng sẽ ảnh hưởng đến tính an toàn và mức độ khai thác liên tục của mặt làm việc.

Với mô hình góc dốc là 59° tương ứng với góc dốc lò chợ 30°, tốc độ khai thác than tương đối ổn định, sau 40 bước thời gian trong cùng điều kiện thì gần như toàn bộ than đã được khai thác, tỉ lệ thu hồi than đạt tới xấp xỉ 98%, sự ảnh hưởng của góc dốc lò chợ đến độ ổn định của gương than và các lớp đá vây quanh tương đối ổn định. Trong quá trình khai thác tuy các vết nứt cũng xuất hiện và phát triển vào khu vực khai thác nhưng tổng thể kết cấu của gương than và kết cấu của khối đá xung quanh vẫn giữ được sự ổn định không bị phá vỡ. Đây cũng là điều kiện thuận lợi trong quá trình khai thác vỉa than dốc nó giúp quá trình phá vỡ than rẽ ràng hơn, tốc độ khai thác sẽ tăng lên, đồng thời gương than và các khối đá xung quanh không bị phá vỡ và không có hiện tượng trượt lở làm giảm áp lực tác dụng lên giàn chống, giúp giàn chống làm việc ổn định, mức độ an toàn lò chợ cao hơn, cũng là yếu tố giúp quá trình khai thác lò chợ được liên tục.

Còn đối với mô hình góc mở lò chợ 65° tương ứng góc dốc lò chợ xiên chéo 35°, có thể thấy tốc độ khai thác và tỉ lệ thu hồi than khai thác tương đối tốt, tuy nhiên gương than của lò chợ không ổn định, bởi chiều dài lò chợ xiên chéo là nhỏ nhất, góc dốc dốc lò chợ tương đối lớn, trọng lực tác dụng dọc theo bề mặt làm việc tăng lên rất nhiều; các dàn chống trong lò chợ không ổn định dễ bị đổ dạt theo chiều dốc, có nguy cơ cao gây mất an toàn lao động.

Vì vậy qua các mô hình với các góc dốc khác nhau, xét về các khía cạnh tốc độ khai thác, tỉ lệ thu hồi than khai thác, độ ổn định của gương lò chợ và tính hiệu quả kinh tế, mức độ an toàn. Mô hình có góc dốc 59° tương ứng với góc dốc lò chợ xiên chéo 30° là tối ưu nhất.

4. KẾT LUẬN

➢ Góc dốc của lò chợ xiên chéo ảnh hưởng rất lớn đến tốc độ khai thác, tỷ lệ thu hồi than khai thác, sự ổn định của gương lò chợ và khối đá xung quanh;

➢ Sự ổn định của gương lò chợ và khối đá xung quanh giảm áp lực mỏ tác dụng lên giàn

chống, nó đảm bảo cho quá trình sản xuất được an toàn và hiệu quả, hạn chế các nguyên nhân gây ra mất an toàn trong quá trình khai thác;

➢ Dựa trên kết quả phân tích mô hình mô phỏng số với góc mở lò chợ 59° trong mô hình tương ứng với góc dốc lò chợ xiên chéo là 30°, xét trên các khía cạnh như tốc độ khai thác, tỉ lệ thu hồi than, sự ổn định của gương lò chợ và khối đá xung quanh là tối ưu nhất ❐

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. 宋小平 (2024). 煤矿急倾斜煤层柔性掩护支架采煤法开采参数分析[J]. 能源与节能，2024(05):175-177+180
[2]. 纪鹏伟 (2023). 灵泉煤矿 10594 工作面急倾斜煤层采煤工艺研究[J]. 煤矿现代化，2023, 32 (01): 58-61
[3]. 胡燏, (2017).基于 PFC2D 的综放工作面放煤步距研究 [J]. 中国煤炭，2017，43（03）：70-73
[4]. 江成浩, 刘 浩，周晓华，樊程 (2019). 基于 PFC2D 的综放工作面裂隙场演化规律 数值模拟 [J]. 煤矿安全，2019，50(01):205-209
[5]. 李建东 (2024). 急倾斜煤层大采高工作面回采工艺优化研究[J]. 矿业装备，2024(06): 42-44
[6]. 黎家良(2020).正高煤矿 82°急倾斜煤层采煤方法设计与应用[D].西 安：西安科技大学，2020

APPLICATION OF PFC2D NUMERICAL SIMULATION ANALYSIS TO DETERMINE REASONABLE SLOPE ANGLE OF DIAGONAL LONGWALL SUPPORTED BY SOFT SUPPORTS

Ngoc Van Ngo*, Dong Wang

Liaoning Technical University, 88 Yulong, Fuxin, Liaoning, China

ARTICLE INFOR
TYPE: Research Article
Received: 31/12/2024
Revised: 28/01/2025
Accepted: 05/3/2025
*Corresponding author:
Email: ngovanngoc18101991@gmail.com

ABSTRACT

For diagonal longwall mining technology, soft scaffolding is used to exploit steep, medium-thick coal seams. Determining the appropriate pseudo-tilt angle of the diagonal longwall is an important key to calculating other parameters of the longwall. The steep slope angle of the longwall slant directly affects mining efficiency and safety during the mining process. Therefore, the article takes the diagonal longwall parameters of coal seam No. 6A of Vinacomin - Nam Mau Coal Company as the research object, using PFC2D numerical simulation software to simulate diagonal longwall mirrors with different slope angles. to evaluate the efficiency of coal mining and the influence of the longwall slope angle on the stability of the longwall mirror and the stability of the surrounding rock mass.

Keywords: *slope angle, speed, stability, particle dynamics simulation.*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association