HỘI KỸ THUẬT NỔ MÌN VIỆT NAM

TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC KỸ THUẬT NỔ MÌN VIỆT NAM LẦN THỨ I

KỸ THUẬT NỔ MÌN TIÊN TIẾN AN TOÀN VÀ THÂN THIỆN VỚI MÔI TRƯỜNG



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Scanned with CamScanner

MỤC LỤC

TT	Tên bài báo và tác giả	Trang
1	Kỹ thuật nổ mìn tiên tiến trong khai thác lộ thiên: Xu hướng công nghệ, kiểm soát rủi ro và định hướng phát triển thân thiện với môi trường *Bùi Xuân Nam, Lê Ngọc Ninh, Trần Quang Hiếu*	11
2	Phi carbon hóa khai thác than lộ thiên tại Việt Nam: Nghiên cứu điển hình về vòng đời phát thải và các lộ trình giảm thiểu *Bùi Xuân Nam, Nguyễn Thị Tâm, Lê Ngọc Ninh, Quách Đức Tín, Trần Quang Hiếu, Chang-Woo Lee, Đỗ Văn Triều, Nguyễn Văn Đức*	45
3	Nghiên cứu khả năng sử dụng hệ thống kíp nổ điện tử nhằm nâng cao hiệu quả nổ mìn tại các mỏ lộ thiên Việt Nam *Trần Quang Hiếu, Phạm Đại Hải, Trần Văn Dũng, Phan Mạnh Lộc*	68
4	Nghiên cứu kỹ thuật nổ mìn an toàn và thân thiện với môi trường *Lê Ngọc Ninh*	86
5	Nghiên cứu sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI) để tính toán lập hộ chiếu khoan - nổ mìn đào lò nhằm từng bước chuyển đổi số và tự động hóa công tác thiết kế khoan - nổ mìn tại các mỏ hầm lò thuộc TKV *Đặng Văn Kiên, Đoàn Đắc Thọ, Lê Quốc Khang, Trần Đăng Hải, Tạ Đăng Đại, Trần Công Thái, Nguyễn Văn Hải, Ngô Văn Giáp, Trần Quốc Đoàn*	103
6	Rủi ro trong công tác nổ mìn tại mỏ lộ thiên: phân tích, đánh giá và các giải pháp kiểm soát toàn diện *Trần Đình Bão, Nguyễn Đình An, Trần Quang Hiếu*	120

Scanned with CamScanner

7	Nghiên cứu phương án sàn công tác nổi lắp ghép phục vụ việc khoan lỗ mìn dưới nước khi thi công công trình giao thông quy mô nhỏ *Nguyễn Mạnh Thường, Đàm Trọng Thắng, Trần Quang Hiếu*	142
8	Xác định các thông số kỹ thuật của giải pháp phá vỡ đất đá bằng CO_2 lỏng cho các mỏ lộ thiên Việt Nam *Hoàng Mạnh Thắng, Đàm Công Khoa, Đoàn Văn Thanh*	153
9	Nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật công nghệ nhằm nâng cao hiệu quả khoan-nổ mìn tại các đường lò của Công ty cổ phần Than Núi Béo *Đặng Văn Kiên, Lê Quốc Khang, Nguyễn Văn Định*	166
10	Nghiên cứu khảo sát sự suy giảm cường độ sóng xung kích lan truyền trong không khí sau tường chắn do nổ lượng nổ tập trung bằng phương pháp số *Nguyễn Đức Khởi, Đàm Trọng Thắng, Nguyễn Văn Hiếu*	177
11	Nghiên cứu ảnh hưởng của góc nghiêng của lỗ mìn đơn trong môi trường đất đá đến trường phân bố tốc độ xung quanh lượng nổ *Kiều Xuân Bách, Đàm Trọng Thắng, Vũ Trọng Hiếu*	192
12	Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá giải pháp gia cường kết cấu tường gạch khi chịu tải trọng nổ *Nguyễn Hữu Thế, Đàm Trong Thắng, Nguyễn Mạnh Thường, Nguyễn Công Nghị*	210
13	Nghiên cứu đổi mới phương pháp tính toán chỉ tiêu thuốc nổ và các thông số khoan - nổ mìn hợp lý cho các mỏ lộ thiên của TKV *Lê Đức Phương, Lê Việt Phương, Phí Trung Kiên, Phạm Xuân Tráng, Nguyễn Ngọc Dũng*	220
14	Đề xuất ứng dụng ống tập trung năng lượng khi đào lò đá ở các mỏ hầm lò thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than khoáng sản Việt Nam *Đào Văn Chi, Phạm Đức Hưng, Nguyễn Minh Đức*	235

Scanned with CamScanner

15	Kíp điện tử - nền tảng chuyển đổi số cho nổ mìn thông minh *Nguyễn Đình An, Hoàng Trung Thành, Trần Đình Bão, Lê Quí Thảo, Trần Văn Dũng*	243
16	**Mô hình hóa quỹ đạo đá văng theo điều kiện nổ mìn: Áp dụng cho mỏ đá Diều Phon, Cao Bằng** *Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Việt, Phạm Văn Hòa, Đỗ Ngọc Hoàn, Nguyễn Anh Kiên, Phùng Văn Thắng, Ngọc Thúy Oanh, Phùng Bảo Ngọc, Phùng Tuấn Kiệt*	254
17	**Nghiên cứu khả năng tận dụng dầu ăn đã qua sử dụng để chế tạo thuốc nổ nhũ tương** *Đàm Quang Sang, Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Vũ Hùng*	274
18	An toàn, sức khỏe nghề nghiệp cho thợ nổ mìn trong cung ứng dịch vụ nổ mìn trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh - Thực tiễn triển khai tại Tổng công ty Công nghiệp Hóa chất Mỏ (MICCO) *Ngô Kim Tú, Lâm Kiều Anh, Trần Văn Dũng*	285
19	Đánh giá nguy cơ rủi ro và phòng ngừa ô nhiễm bụi, khí độc trong công tác nổ mìn cho các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp *Lâm Kiều Anh*	300
20	Tác động môi trường của vật liệu nổ trong xung đột vũ trang và hàm ý đối với quản lý nổ mìn thân thiện môi trường *Lê Ngọc Ninh*	315

Scanned with CamScanner

ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ RỦI RO VÀ PHÒNG NGỪA Ô NHIỄM BỤI, KHÍ ĐỘC TRONG CÔNG TÁC NỔ MÌN CHO CÁC MỎ SỬ DỤNG VẬT LIỆU NỔ CÔNG NGHIỆP

Lâm Kiều Anh[1,*]

TÓM TẮT

Hoạt động nổ mìn sử dụng vật liệu nổ công nghiệp là khâu công nghệ đầu tiên không thể thiếu trong quy trình khai thác mỏ và xây dựng công trình, là phương pháp phá vỡ đất đá chủ đạo nhờ hiệu quả kinh tế cao. Tuy nhiên công tác nổ mìn cũng là nguồn phát tán bụi mịn và các hợp chất khí độc hại như carbon monoxyde (CO), nitrogen oxydes (NOx), và sulfur dioxyde (SO_2), gây áp lực lớn lên môi trường và sức khỏe người lao động. Bài báo này tập trung tiến hành phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến nồng độ chất ô nhiễm sau nổ mìn dựa trên đặc tính của thuốc nổ và điều kiện địa chất thực tế. Kết quả nghiên cứu cho thấy, dựa vào sự thiếu hụt oxy trong cân bằng thành phần thuốc nổ và độ ẩm đất đá chính là các tác nhân chính làm gia tăng rủi ro. Trên cơ sở đó, tác giả đề xuất hệ thống giải pháp kỹ thuật tích hợp nhằm giảm thiểu ô nhiễm, đảm bảo tuân thủ các quy chuẩn an toàn, vệ sinh lao động hiện hành tại Việt Nam.

Từ khóa: nổ mìn, vật liệu nổ công nghiệp, ô nhiễm bụi mịn, khí độc, an toàn môi trường mỏ.

1. Đặt vấn đề

Trong các ngành công nghiệp khai thác mỏ và xây dựng công trình, nổ mìn sử dụng vật liệu nổ công nghiệp vẫn là giải pháp kỹ thuật chủ đạo nhằm phá vỡ đất đá, tạo mặt bằng và giải phóng trữ lượng khoáng sản [6-9]. Mặc dù mang lại hiệu quả cao về mặt kỹ thuật và kinh tế, tuy nhiên hoạt động nổ mìn cũng đồng thời là một trong những nguồn phát sinh ô nhiễm môi trường nghiêm trọng, đặc biệt là ô nhiễm bụi và khí độc. Các sản phẩm phụ sinh ra trong quá trình nổ mìn

[1] *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

**Email:lamkieuanh@humg.edu.vn*

Scanned with CamScanner

không chỉ tác động tức thời đến môi trường không khí xung quanh khu vực mỏ mà còn gây ảnh hưởng lâu dài đến sức khỏe người lao động và cộng đồng lân cận nếu không được kiểm soát hiệu quả. Tại Việt Nam, với đặc thù khai thác mỏ ngày càng xuống sâu và quy mô sản xuất lớn, lượng vật liệu nổ công nghiệp tiêu thụ hằng năm không ngừng gia tăng. Bên cạnh hiệu quả giải phóng đất đá, các tác động tiêu cực về môi trường như sóng đập không khí, đá văng và đặc biệt là ô nhiễm không khí đã trở thành thách thức lớn trong quản trị an toàn mỏ.

Về bản chất, phản ứng nổ là quá trình chuyển hóa năng lượng hóa học của thuốc nổ thành năng lượng cơ học, nhiệt năng và các sản phẩm khí trong thời gian rất ngắn. Dưới tác động của sóng xung kích và áp suất cao, đất đá bị phá vỡ thành các hạt có kích thước khác nhau, trong đó các hạt mịn dễ dàng phát tán vào không khí dưới dạng bụi. Đồng thời, phản ứng nổ - đặc biệt trong điều kiện nổ không hoàn toàn hoặc thiếu oxy - sẽ sinh ra các khí độc như carbon monoxyde (CO), nitrogen oxydes (NO, NO_2), sulfur dioxyde (SO_2) và một số hợp chất khí khác. Chúng đều là những tác nhân đã được khoa học chứng minh có ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người.

Theo các thống kê của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), ô nhiễm không khí là một trong những nguyên nhân hàng đầu gây ra các bệnh về đường hô hấp và tim mạch, với hàng triệu ca tử vong sớm mỗi năm trên toàn cầu [14]. Chính vì vậy, trong môi trường lao động đặc thù như khai thác mỏ, nơi người lao động thường xuyên tiếp xúc với bụi khoáng và khí độc, nguy cơ mắc các bệnh nghề nghiệp như bụi phổi silic, viêm phế quản mạn tính, suy giảm chức năng phổi hoặc ngộ độc khí cấp tính là rất cao. Dựa trên các nghiên cứu quốc tế cho thấy, nồng độ CO và NOx sau nổ mìn có thể vượt ngưỡng cho phép trong khoảng thời gian ngắn, đặc biệt tại các khu vực thông gió kém, làm gia tăng rủi ro cho người lao động nếu quay lại hiện trường sớm.

Tại Việt Nam hiện nay, với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp khai khoáng và xây dựng cơ sở hạ tầng, quy mô và tần suất sử dụng vật liệu nổ công nghiệp ngày càng gia tăng, đặt ra yêu cầu cấp thiết đối với công tác quản lý an toàn, bảo vệ môi trường và phòng ngừa rủi ro trong hoạt động nổ mìn. Thực tế cho thấy, các nghiên cứu trong nước thời gian qua chủ yếu tập trung vào các vấn đề như: rung chấn, sóng đập không khí, đá văng và an toàn nổ mìn, trong khi khía cạnh ô nhiễm bụi và khí độc - mặc dù có tác động trực tiếp đến sức khỏe người lao động - vẫn chưa được nghiên cứu một cách hệ thống và đầy đủ.

Scanned with CamScanner

Ngoài ra, các hệ thống quy chuẩn và tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam liên quan đến môi trường không khí và an toàn lao động đa số mang tính chất chung, chưa có nhiều quy định riêng biệt cho các nguồn phát sinh ô nhiễm đặc thù từ công tác nổ mìn. Song song với việc thiếu các hướng dẫn kỹ thuật chi tiết và các mô hình đánh giá rủi ro cụ thể đã khiến cho công tác phòng ngừa ô nhiễm bụi, khí độc tại nhiều mỏ còn mang tính bị động, chủ yếu dựa vào kinh nghiệm thực tế hơn là cơ sở khoa học.

Xuất phát từ những vấn đề nêu trên, bài báo này được thực hiện với mục tiêu đánh giá nguy cơ rủi ro ô nhiễm bụi và khí độc trong công tác nổ mìn tại các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp trên phạm vi chung, không gắn với một mỏ hay khu vực cụ thể. Dựa vào cơ sở tổng hợp các nghiên cứu khoa học, phân tích cơ sở lý thuyết và xem xét bối cảnh thực tiễn tại Việt Nam, bài báo hướng tới việc làm rõ các nguồn phát sinh, mức độ nguy hại cũng như đề xuất các giải pháp phòng ngừa mang tính khả thi. Nội dung nghiên cứu kỳ vọng góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho công tác quản lý môi trường và an toàn lao động, đồng thời hỗ trợ các đơn vị khai thác mỏ trong việc xây dựng và áp dụng các biện pháp kiểm soát ô nhiễm bụi, khí độc một cách hiệu quả và bền vững.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý thuyết và tổng quan nghiên cứu

2.1.1. Bản chất phát sinh bụi trong công tác nổ mìn

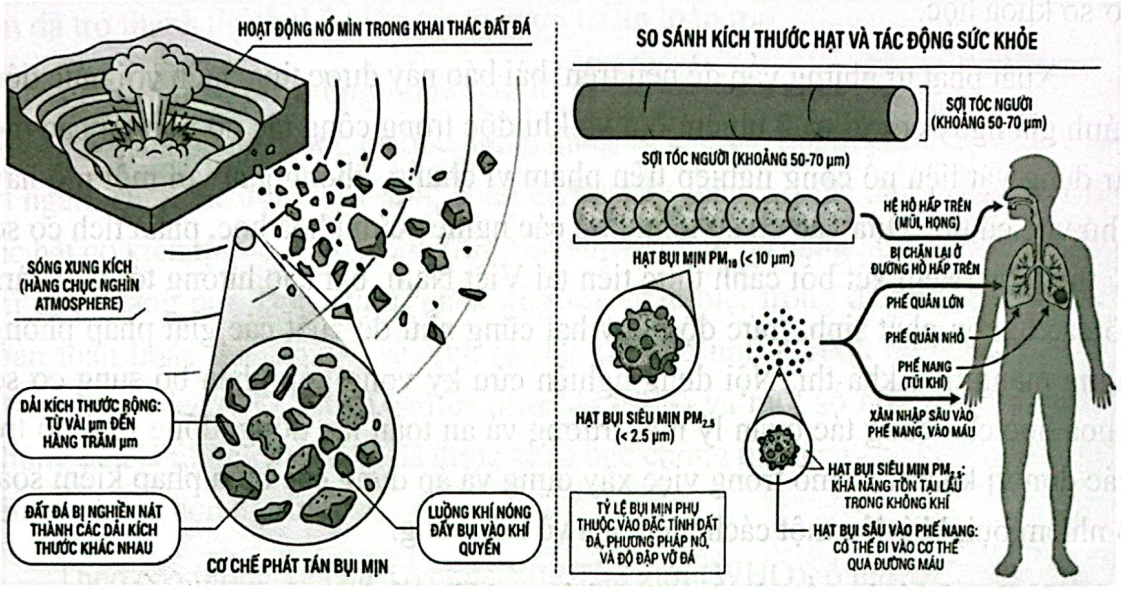
Trong quá trình nổ mìn sử dụng vật liệu nổ công nghiệp, bụi phát sinh là kết quả tổng hợp của nhiều cơ chế vật lý và hóa học diễn ra gần như đồng thời. Khi thuốc nổ phát nổ, năng lượng hóa học được giải phóng tức thời tạo ra sóng xung kích có biên độ áp suất rất lớn, tác động trực tiếp lên khối đất đá xung quanh lỗ mìn. Dưới tác động này, đất đá bị phá vỡ thành các mảnh có kích thước khác nhau, từ các khối đá lớn đến các hạt rất nhỏ có kích thước micromet.

Bụi nổ mìn có thể được phân thành hai nhóm chính. Nhóm thứ nhất là bụi khoáng phát sinh từ quá trình phá vỡ cơ học đất đá, bao gồm các hạt khoáng như thạch anh (SiO_2), feldspar, oxit kim loại và các khoáng vật đi kèm khác. Nhóm thứ hai là bụi thứ cấp hình thành do sự ngưng tụ của các sản phẩm khí nóng sau nổ, khi chúng tiếp xúc với không khí lạnh hơn và kết hợp với các hạt rắn lơ lửng.

Xét về kích thước hạt, bụi nổ mìn thường bao gồm dải rộng từ vài micromet đến hàng trăm micromet. Trong đó, các hạt bụi mịn có kích thước PM_{10} và đặc biệt là $PM_{2.5}$ có khả năng tồn tại lâu trong không khí và xâm nhập sâu vào hệ hô hấp

Scanned with CamScanner

của con người. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, tỷ lệ bụi mịn trong tổng lượng bụi phát sinh phụ thuộc mạnh vào đặc tính cơ lý của đất đá, phương pháp nổ mìn và mức độ đập vỡ của khối đá. Dưới tác động của sóng xung kích có áp suất lên tới hàng chục nghìn atmosphere, đất đá trong đới nổ bị nghiền nát thành các dải kích thước khác nhau. Các hạt bụi có kích thước PM_{10} và đặc biệt là $PM_{2.5}$ dễ dàng phát tán vào khí quyển nhờ luồng khí nóng đẩy từ buồng mìn.



Hình 1. Cơ chế phát tán bụi mịn có kích thước nhỏ hơn 10 μm (PM_{10})

Một yếu tố quan trọng khác ảnh hưởng đến lượng bụi phát sinh là thiết kế bãi mìn. Các thông số như đường kính lỗ khoan, khoảng cách lỗ, chiều cao tầng, khối lượng thuốc nổ trên một đơn vị thể tích đất đá và sơ đồ vi sai nổ đều tác động trực tiếp đến mức độ phá vỡ và phát tán bụi. Thiết kế nổ mìn không hợp lý có thể dẫn đến hiện tượng quá nổ (overblasting), làm gia tăng tỷ lệ hạt mịn và lượng bụi phát tán ra môi trường không khí.

2.1.2. Cơ chế hình thành khí độc trong quá trình nổ mìn

Ngoài vấn đề về bụi phát sinh, khí độc cũng là một trong những sản phẩm phụ nguy hiểm nhất phát sinh trong công tác nổ mìn. Về mặt hóa học, thuốc nổ công nghiệp là các hợp chất chứa các nguyên tố như carbon, hydrogen, nitrogen và oxygen. Trong điều kiện lý tưởng, phản ứng nổ hoàn toàn sẽ tạo ra các sản phẩm chính là CO_2, H_2O và N_2. Tuy nhiên, trên thực tế, điều kiện nổ hoàn toàn rất khó đạt được, đặc biệt trong môi trường mỏ với các yếu tố bất lợi như độ ẩm cao, sự phân bố không đồng đều của thuốc nổ và sự thiếu hụt oxy cục bộ [15-18].

Scanned with CamScanner

Khi phản ứng nổ không hoàn toàn xảy ra, một lượng đáng kể các khí độc sẽ được sinh ra. CO là sản phẩm phổ biến nhất, được hình thành khi carbon không được oxy hóa hoàn toàn thành CO_2. CO là khí không màu, không mùi, có ái lực rất cao với hemoglobin trong máu, làm giảm khả năng vận chuyển oxy và gây ra hiện tượng ngộ độc cấp tính.

Ngoài CO, các oxit nitrogen (NO và NO_2), thường được gọi chung là NOx, cũng được hình thành do phản ứng ở nhiệt độ cao giữa nitrogen trong không khí và nitrogen có trong thành phần thuốc nổ. NO_2 là khí có màu nâu đỏ đặc trưng, gây kích ứng mạnh đường hô hấp và có thể dẫn đến phù phổi nếu tiếp xúc ở nồng độ cao. Trong một số trường hợp, đặc biệt khi sử dụng các loại thuốc nổ chứa lưu huỳnh hoặc trong môi trường có tạp chất lưu huỳnh, khí sulfur dioxyde (SO_2) cũng có thể được phát sinh.

Về khía cạnh của lượng và thành phần khí độc phát sinh phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm loại thuốc nổ (ANFO, nhũ tương, thuốc nổ nhũ tương rời), điều kiện nổ (nổ kín hay nổ hở), mức độ lèn bua và điều kiện thông gió tự nhiên của khu vực nổ. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy, thuốc nổ nhũ tương hiện đại thường có xu hướng phát sinh lượng khí độc thấp hơn so với ANFO truyền thống, do hiệu suất phản ứng cao và ít xảy ra phản ứng không hoàn toàn.

Bảng 1. Bảng so sánh thuốc nổ ANFO và thuốc nổ nhũ tương

Tiêu chí so sánh	**Thuốc nổ ANFO (Truyền thống)**	**Thuốc nổ nhũ tương (Hiện đại)**
Cấu tạo và tính chất	Hỗn hợp amoni nitrat và dầu diesel. Dễ hút ẩm, không chịu nước.	Các giọt dung dịch oxy hóa siêu nhỏ bao bọc bởi màng nhiên liệu. Chịu nước tuyệt đối.
Hiệu suất phản ứng	Thấp hơn. Dễ xảy ra phản ứng không hoàn toàn do mất cân bằng oxy hoặc bị ẩm.	Rất cao. Diện tích tiếp xúc giữa chất oxy hóa và nhiên liệu ở mức nano, giúp phản ứng xảy ra tức thời.
Khí độc (CO, NOx)	Cao. Dễ phát sinh "khói màu da cam" (NOx cực độc) khi thuốc nổ bị ẩm hoặc nhồi không chặt.	Thấp. Nhờ phản ứng hoàn toàn, lượng khí độc phát thải được giảm thiểu tối đa.

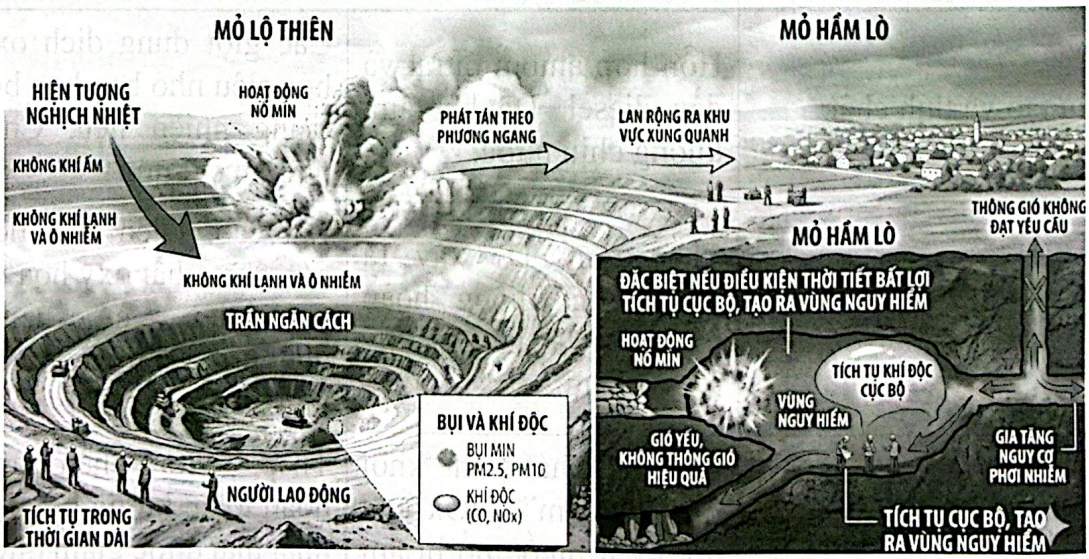
Scanned with CamScanner

Tiêu chí so sánh	Thuốc nổ ANFO (Truyền thống)	Thuốc nổ nhũ tương (Hiện đại)
Bụi mịn và môi trường	Phát sinh nhiều bụi và khí thải khó kiểm soát do năng lượng nổ phân tán không đều.	Kiểm soát tốt hơn kích thước đất đá vỡ, giảm thiểu luồng khí nóng đẩy bụi mịn vào khí quyển.
Độ an toàn	Dễ cháy, nhạy cảm với lửa nhưng ít nhạy cảm với va đập.	Rất an toàn, chỉ nổ khi có kíp nổ mạnh hoặc thuốc mồi chuyên dụng.

2.1.3. Đặc điểm phát tán bụi và khí độc trong môi trường mỏ

Sau khi phát sinh, bụi và khí độc sẽ phát tán vào môi trường không khí xung quanh khu vực nổ mìn thì quá trình phát tán này cũng chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố môi trường như tốc độ và hướng gió, địa hình khu vực mỏ, chênh lệch nhiệt độ và điều kiện khí tượng tại thời điểm nổ.

Đặc biệt nếu điều kiện thời tiết bất lợi, chẳng hạn như gió yếu hoặc hiện tượng nghịch nhiệt, bụi và khí độc có thể tích tụ trong khu vực mỏ trong thời gian dài, làm gia tăng nguy cơ phơi nhiễm đối với người lao động. Đối với các mỏ lộ thiên, bụi và khí độc có xu hướng phát tán theo phương ngang và lan rộng ra khu vực xung quanh. Trong khi đó, tại các mỏ hầm lò hoặc khu vực khai thác có không gian hạn chế, khí độc có thể tích tụ cục bộ, tạo ra các vùng nguy hiểm nếu không được thông gió hiệu quả.



Hình 2. Hình ảnh minh họa tích tụ và phát tán bụi khí độc trong điều kiện thời tiết bất lợi

Scanned with CamScanner

Bên cạnh đó, đặc điểm đáng lưu ý là sự tồn tại của bụi và khí độc không chỉ giới hạn trong thời điểm ngay sau nổ mìn. Các hạt bụi mịn có thể lắng đọng chậm và bị tái phát tán dưới tác động của hoạt động xúc bốc, vận tải sau nổ. Do đó, nguy cơ ô nhiễm và phơi nhiễm có thể kéo dài trong suốt chuỗi hoạt động khai thác, chứ không chỉ dừng lại ở thời điểm nổ mìn.

2.1.4. Độc tính của bụi và khí độc đối với sức khỏe người lao động

Tác động của bụi và khí độc phát sinh trong công tác nổ mìn đối với sức khỏe người lao động còn phụ thuộc vào nồng độ, thời gian tiếp xúc và đặc tính độc hại của từng tác nhân. Trong môi trường mỏ, người lao động thường xuyên phải đối mặt với sự phơi nhiễm đồng thời của nhiều yếu tố nguy hiểm, làm gia tăng nguy cơ ảnh hưởng cộng gộp đến sức khỏe.

Đầu tiên, bụi khoáng chứa silic tự do (SiO_2) được coi là tác nhân nguy hiểm hàng đầu. Khi các hạt bụi mịn xâm nhập sâu vào phế nang, cơ thể không thể đào thải hoàn toàn, dẫn đến phản ứng viêm và xơ hóa mô phổi. Tiếp xúc kéo dài với bụi silic có thể gây bệnh bụi phổi silic, làm suy giảm nghiêm trọng chức năng hô hấp và khả năng lao động của người lao động. Ngoài ra, bụi mịn còn được ghi nhận là yếu tố làm tăng nguy cơ mắc các bệnh tim mạch và ung thư phổi.

Thứ hai là đối với khí CO, mức độ nguy hiểm thể hiện rõ ở khả năng gây ngộ độc cấp tính. CO có ái lực với hemoglobin cao gấp hàng trăm lần so với oxy, làm giảm khả năng vận chuyển oxy trong máu. Ở nồng độ thấp, CO gây đau đầu, mệt mỏi; ở nồng độ cao, có thể dẫn đến mất ý thức và tử vong trong thời gian ngắn. Trong môi trường mỏ, nguy cơ này đặc biệt cao nếu không kiểm soát chặt chẽ thời gian quay lại hiện trường sau nổ mìn.

Các khí NO_2 và SO_2 có tác dụng kích thích mạnh đối với niêm mạc đường hô hấp. NO_2 có thể gây tổn thương biểu mô phổi và làm giảm chức năng hô hấp, trong khi SO_2 gây co thắt phế quản, đặc biệt nguy hiểm đối với những người có bệnh nền về hô hấp. Sự kết hợp của các khí này với bụi mịn càng làm gia tăng mức độ nguy hại do hiệu ứng hiệp đồng.

Scanned with CamScanner

Bảng 2. Đặc tính độc hại của một số tác nhân ô nhiễm chính trong công tác nổ mìn

Tác nhân	Nguồn phát sinh	Ảnh hưởng cấp tính	Ảnh hưởng mãn tính
Bụi silic	Quá trình phá vỡ cấu trúc đất đá bằng thuốc nổ.	Kích ứng đường hô hấp, gây ho, hắt hơi.	Bệnh bụi phổi silic (xơ hóa phổi không hồi phục).
CO (Carbon Monoxyde)	Do phản ứng nổ không hoàn toàn (thiếu oxy).	Ngộ độc máu, chiếm chỗ oxy của hồng cầu gây chóng mặt, ngất xỉu.	Tổn thương hệ thần kinh trung ương và hệ tim mạch.
NO_2 (Nitrogen Dioxyde)	Phản ứng hóa học ở nhiệt độ và áp suất cực cao.	Kích ứng mạnh niêm mạc, gây khó thở, co thắt phế quản.	Viêm phế quản mãn tính, suy giảm khả năng miễn dịch của phổi.
SO_2 (Sulfur Dioxyde)	Do tạp chất lưu huỳnh có trong thuốc nổ hoặc trong thành phần quặng.	Cay mắt, ho khạc, bỏng rát đường hô hấp.	Giảm chức năng phổi, viêm đường hô hấp thường xuyên.

2.1.5. Quy chuẩn, tiêu chuẩn liên quan đến ô nhiễm bụi và khí độc

Thực tế chỉ ra rằng, việc đánh giá và kiểm soát ô nhiễm bụi, khí độc trong công tác nổ mìn cần được đặt trong khuôn khổ các quy định pháp luật và tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành. Tại Việt Nam, mặc dù chưa có quy chuẩn chuyên biệt dành riêng cho ô nhiễm phát sinh từ nổ mìn, nhưng nhiều quy định chung về môi trường và an toàn lao động có thể được áp dụng.

Theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh (QCVN 05:2013/BTNMT) đã quy định các giá trị giới hạn cho các chất ô nhiễm như bụi PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2 và NO_2 trong môi trường không khí. Bên cạnh đó, QCVN 26:2016/BYT và các tiêu chuẩn về vệ sinh lao động quy định giới hạn tiếp xúc cho phép của người lao động đối với các yếu tố độc hại trong môi trường làm việc [1-5].

Tuy nhiên, nếu so với một số quốc gia có ngành khai thác mỏ phát triển, hệ thống tiêu chuẩn của Việt Nam vẫn còn mang tính tổng quát và chưa phân biệt rõ

Scanned with CamScanner

các nguồn phát sinh đặc thù như nổ mìn. Ở nhiều nước, các hướng dẫn kỹ thuật riêng cho nổ mìn đã được ban hành, trong đó quy định rõ thời gian cách ly sau nổ, phương pháp giám sát khí độc và các biện pháp kỹ thuật nhằm giảm phát thải bụi.

Bảng 3. Bảng so sánh các quy chuẩn kỹ thuật nổ mìn của Việt Nam và thế giới

Nội dung so sánh	Hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam (QCVN/TCVN)	Tiêu chuẩn quốc tế (Hoa Kỳ, Úc, EU, Canada)
Tính đặc thù	Còn mang tính tổng quát, dùng chung cho nhiều ngành công nghiệp.	Có hướng dẫn kỹ thuật riêng (Technical Guidelines) chuyên biệt cho nổ mìn.
Phân biệt nguồn thải	Chưa phân biệt rõ nồng độ bụi/khí phát sinh từ nổ mìn so với các nguồn khác.	Phân loại rõ nguồn phát sinh (nổ mìn, khí thải động cơ diesel, bụi do vận chuyển).
Thời gian cách ly sau nổ	Quy định dựa trên cảm quan hoặc thời gian cố định (thường là 15 - 30 phút).	Quy định nghiêm ngặt dựa trên kết quả đo thực tế nồng độ khí độc tại hiện trường.
Giám sát khí độc	Thường kiểm tra định kỳ hoặc khi có sự cố.	Giám sát thời gian thực (Real-time monitoring) với các thiết bị cảm biến gắn trên người hoặc trạm đo tự động.
Biện pháp giảm bụi	Chủ yếu là phun sương, tưới nước mặt đường sau khi nổ.	Áp dụng các kỹ thuật tiên tiến: phun sương áp suất cao ngay lúc nổ, sử dụng thuốc nổ nhũ tương giảm khói.
Giới hạn phơi nhiễm	Áp dụng giới hạn trung bình ca làm việc (8 giờ).	Quy định thêm STEL (giới hạn phơi nhiễm ngắn hạn 15 phút) đặc thù cho các đợt bùng phát khí sau nổ.

Đặc biệt, vấn đề thiếu các quy chuẩn chuyên biệt đặt ra yêu cầu cần có các nghiên cứu khoa học làm cơ sở cho việc hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn trong tương lai. Trong bối cảnh đó, việc xây dựng các mô hình đánh giá rủi ro và đề xuất giải pháp phòng ngừa dựa trên điều kiện thực tế tại Việt Nam có ý nghĩa rất quan trọng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Bài báo này được thực hiện theo hướng tiếp cận tổng hợp, kết hợp giữa phương pháp phân tích tài liệu, phương pháp đánh giá rủi ro và phương pháp so sánh - đối chiếu quy chuẩn, nhằm làm rõ các vấn đề liên quan đến ô nhiễm bụi và khí độc trong công tác nổ mìn.

Scanned with CamScanner

Trước hết, phương pháp phân tích và tổng hợp tài liệu được sử dụng để hệ thống hóa cơ sở lý thuyết và các kết quả nghiên cứu đã công bố trong và ngoài nước liên quan đến phát sinh bụi, khí độc từ hoạt động nổ mìn. Tài liệu này bao gồm: sách chuyên ngành khai thác mỏ, môi trường lao động, bài báo khoa học, báo cáo kỹ thuật và văn bản quy phạm pháp luật. Việc tổng hợp tài liệu giúp xác định các yếu tố ảnh hưởng chính, xu hướng nghiên cứu và khoảng trống khoa học cần tiếp tục làm rõ.

Tiếp theo, phương pháp đánh giá rủi ro được áp dụng nhằm xác định mức độ nguy hiểm của các tác nhân ô nhiễm chính. Trong nghiên cứu này, rủi ro được xem xét trên cơ sở kết hợp giữa xác suất xảy ra và mức độ hậu quả. Các tác nhân được phân tích bao gồm bụi khoáng (đặc biệt là bụi mịn chứa silic) và các khí độc phổ biến như CO, NO_2, SO_2. Việc đánh giá rủi ro mang tính định tính kết hợp bán định lượng, phù hợp với mục tiêu nghiên cứu tổng quan và điều kiện thiếu số liệu đo đạc cụ thể tại hiện trường.

Bên cạnh đó, phương pháp so sánh - đối chiếu được sử dụng để đánh giá sự phù hợp và hạn chế của hệ thống quy chuẩn, tiêu chuẩn hiện hành liên quan đến môi trường không khí và an toàn lao động. Các quy định trong nước được so sánh với một số hướng dẫn và tiêu chuẩn quốc tế nhằm rút ra các nhận xét về mức độ đầy đủ, tính khả thi và khả năng áp dụng trong điều kiện khai thác mỏ tại Việt Nam.

Cuối cùng, trên cơ sở các kết quả phân tích, phương pháp suy luận logic được sử dụng để đề xuất các giải pháp phòng ngừa ô nhiễm bụi và khí độc mang tính hệ thống. Các giải pháp này được xây dựng theo hướng phù hợp với điều kiện kỹ thuật, kinh tế và tổ chức sản xuất tại các mỏ, đồng thời đảm bảo tuân thủ các yêu cầu về an toàn lao động và bảo vệ môi trường.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Diễn giải và phân tích các kết quả đạt được

Trên cơ sở tổng hợp cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu đã trình bày, kết quả nghiên cứu cho thấy ô nhiễm bụi và khí độc trong công tác nổ mìn tại các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp là vấn đề mang tính hệ thống, chịu tác động đồng thời của nhiều yếu tố kỹ thuật, môi trường và tổ chức sản xuất.

Đối với bụi, kết quả phân tích cho thấy lượng bụi phát sinh tỷ lệ thuận với mức độ phá vỡ đất đá trong quá trình nổ mìn. Khi thiết kế nổ mìn chưa hợp lý, đặc biệt trong các trường hợp quá nổ, tỷ lệ các hạt bụi mịn (PM_{10} và $PM_{2.5}$) tăng lên

Scanned with CamScanner

đáng kể. Đây là nhóm bụi có khả năng tồn tại lâu trong không khí, dễ xâm nhập sâu vào hệ hô hấp và gây ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe người lao động. Ngoài ra, bụi nổ mìn không chỉ phát sinh tức thời mà còn tiếp tục phát tán thứ cấp trong các công đoạn xúc bốc và vận tải sau nổ, làm kéo dài thời gian phơi nhiễm.

Đối với khí độc, kết quả cho thấy carbon monoxyde (CO) và các oxit nitrogen (NOx) là hai nhóm khí có mức độ nguy hiểm cao nhất. Trong điều kiện nổ không hoàn toàn, nồng độ CO có thể tăng nhanh trong thời gian ngắn sau nổ, tiềm ẩn nguy cơ ngộ độc cấp tính nếu người lao động quay lại hiện trường sớm. NO_2 và SO_2 tuy thường xuất hiện với nồng độ thấp hơn nhưng có tác dụng kích thích mạnh đường hô hấp, đặc biệt nguy hiểm khi kết hợp với bụi mịn.

Kết quả phân tích cũng chỉ ra mối liên hệ chặt chẽ giữa điều kiện khí tượng và mức độ ô nhiễm. Trong điều kiện gió yếu, độ ẩm cao hoặc xảy ra hiện tượng nghịch nhiệt, bụi và khí độc có xu hướng tích tụ trong khu vực mỏ, làm gia tăng đáng kể nguy cơ phơi nhiễm. Điều này cho thấy công tác phòng ngừa không thể chỉ tập trung vào kỹ thuật nổ mìn mà cần xem xét đồng bộ các yếu tố môi trường tại thời điểm nổ.

3.2. Mối liên hệ giữa kết quả nghiên cứu và các nghiên cứu trước đó

Kết quả của nghiên cứu này có nhiều điểm tương đồng với các nghiên cứu trong và ngoài nước đã công bố liên quan đến ô nhiễm phát sinh từ hoạt động nổ mìn. Các kết quả đã chỉ ra rằng CO và NOx là các sản phẩm khí độc chủ yếu, đặc biệt trong điều kiện nổ không hoàn toàn. Kết quả nghiên cứu hiện tại tiếp tục khẳng định vai trò chi phối của loại thuốc nổ và điều kiện nổ đối với lượng khí độc phát sinh.

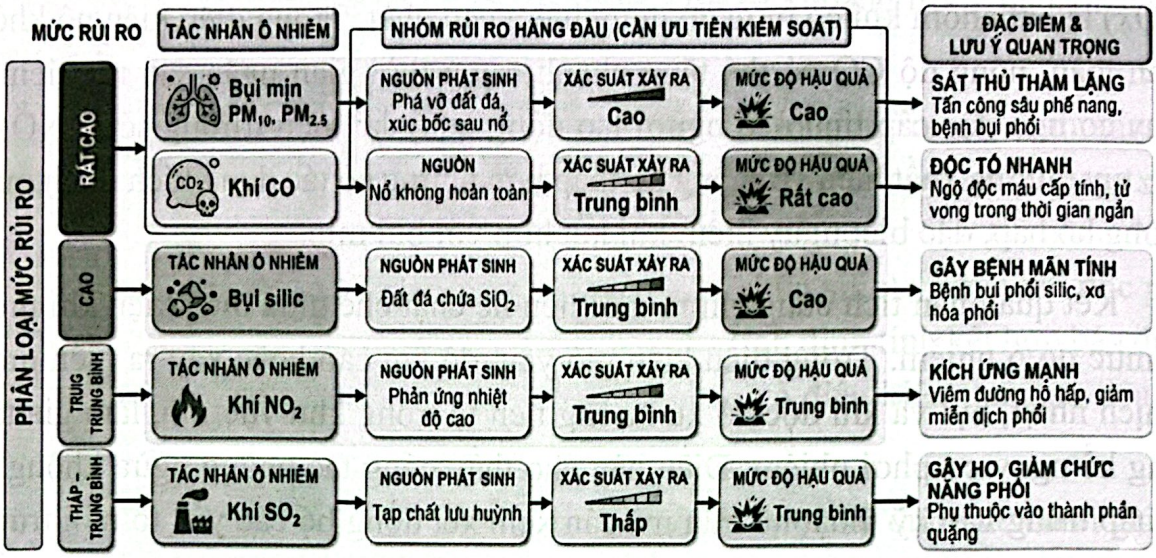
Bên cạnh đó, các nghiên cứu trước thường nhấn mạnh vai trò của thông gió và thời gian cách ly sau nổ trong việc giảm thiểu rủi ro phơi nhiễm. Nghiên cứu này bổ sung thêm góc nhìn thực tiễn khi chỉ ra rằng yếu tố tổ chức lao động và tuân thủ quy trình an toàn tại mỏ cũng đóng vai trò quan trọng, đặc biệt trong điều kiện các mỏ có mức độ cơ giới hóa và quản lý khác nhau.

So với các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào đo đạc nồng độ ô nhiễm, nghiên cứu này tiếp cận theo hướng đánh giá rủi ro tổng hợp, kết hợp giữa xác suất xảy ra và mức độ hậu quả. Cách tiếp cận này cho phép nhận diện rõ hơn các khâu có nguy cơ cao trong toàn bộ chuỗi hoạt động nổ mìn, từ thiết kế bãi mìn, thi công nổ đến tổ chức sản xuất sau nổ.

Scanned with CamScanner

3.3. Đánh giá rủi ro ô nhiễm bụi và khí độc trong công tác nổ mìn

Kết quả đánh giá cho thấy bụi mịn và khí CO là hai tác nhân có mức rủi ro cao nhất, cần được ưu tiên kiểm soát trong công tác phòng ngừa. NO_2 và SO_2 có mức rủi ro thấp hơn nhưng vẫn cần được giám sát, đặc biệt trong các điều kiện bất lợi về thông gió và khí tượng.



Hình 3. Sơ đồ phân cấp đánh giá rủi ro ô nhiễm bụi, khí độc trong công tác nổ mìn

Theo sơ đồ, bụi mịn PM_{10}, $PM_{2.5}$ và khí CO được xếp vào nhóm rủi ro "Rất cao", đòi hỏi phải được ưu tiên kiểm soát hàng đầu. Đánh giá này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu khoa học uy tín thế giới (như NIOSH, OSHA), công nhận $PM_{2.5}$ có khả năng thâm nhập sâu vào phế nang gây bệnh mãn tính, trong khi CO là "sát thủ thầm lặng" gây ngộ độc cấp tính dẫn đến tử vong nhanh chóng trong không gian hạn chế. Bụi silic được cảnh báo ở mức rủi ro "Cao" là hợp lý, vì bệnh bụi phổi silic là bệnh nghề nghiệp nan y, tuy nhiên xác suất xảy ra phụ thuộc lớn vào thành phần địa chất của từng loại mỏ. Các loại khí độc khác như NO_2 và SO_2 được xếp ở mức rủi ro "Trung bình" và "Thấp - Trung bình", khi hậu quả cấp tính thường thấp hơn CO và sự phát sinh của chúng chủ yếu liên quan đến nhiệt độ nổ hoặc tạp chất lưu huỳnh cụ thể trong quặng.

3.4. Thảo luận và so sánh kết quả

So sánh kết quả đánh giá rủi ro với các nghiên cứu trước cho thấy sự tương đồng trong việc xác định các tác nhân nguy hiểm chính. Tuy nhiên, nghiên cứu này nhấn mạnh thêm vai trò của yếu tố quản lý và tổ chức sản xuất, vốn chưa được đề cập đầy đủ trong nhiều nghiên cứu kỹ thuật thuần túy.

Scanned with CamScanner

Chính vì vậy, nếu chỉ tập trung vào cải tiến kỹ thuật nổ mìn mà bỏ qua các biện pháp quản lý như kiểm soát thời gian cách ly, giám sát khí độc và huấn luyện người lao động, hiệu quả phòng ngừa ô nhiễm sẽ bị hạn chế. Do đó, các giải pháp phòng ngừa cần được triển khai theo hướng đồng bộ, kết hợp giữa biện pháp kỹ thuật, tổ chức và quản lý nhằm giảm thiểu rủi ro ô nhiễm bụi và khí độc trong công tác nổ mìn tại các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp.

4. Kết luận

Bài báo đã làm rõ bản chất phát sinh và mức độ nguy hại của ô nhiễm bụi và khí độc trong công tác nổ mìn tại các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp. Từ đó cho thấy được, bụi mịn và các khí độc như CO, NO_2 và SO_2 là những tác nhân ô nhiễm chính, có khả năng gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường không khí và sức khỏe người lao động nếu không được kiểm soát hiệu quả.

Ngoài ra, thông qua đánh giá rủi ro tổng hợp, nghiên cứu chỉ ra rằng bụi PM_{10}, $PM_{2.5}$ và khí CO là các tác nhân có mức rủi ro cao nhất trong quá trình nổ mìn. Mức độ rủi ro này không chỉ phụ thuộc vào loại vật liệu nổ công nghiệp và điều kiện nổ, mà còn chịu ảnh hưởng đáng kể bởi các yếu tố môi trường và công tác tổ chức sản xuất sau nổ. Điều này cho thấy ô nhiễm bụi và khí độc là vấn đề mang tính hệ thống, đòi hỏi cách tiếp cận tổng hợp trong công tác phòng ngừa.

Kết quả nghiên cứu cũng khẳng định rằng các biện pháp phòng ngừa chỉ thực sự phát huy hiệu quả khi được triển khai đồng bộ trên cả ba phương diện: kỹ thuật nổ mìn, tổ chức - quản lý và quản lý môi trường, sức khỏe nghề nghiệp. Việc chỉ tập trung vào một nhóm giải pháp riêng lẻ sẽ không đủ để giảm thiểu rủi ro một cách bền vững.

Lời cảm ơn

Tác giả xin trân trọng cảm ơn các cơ quan quản lý chuyên ngành, các tổ chức khoa học và các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực khai thác mỏ, môi trường và an toàn lao động đã công bố nhiều công trình nghiên cứu có giá trị, làm cơ sở khoa học cho việc thực hiện bài báo này.

Đồng thời, tác giả xin cảm ơn các tài liệu chuyên ngành, tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật và các nghiên cứu thực tiễn đã góp phần hỗ trợ quá trình tổng hợp, phân tích và đánh giá nguy cơ ô nhiễm bụi, khí độc trong công tác nổ mìn tại các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp. Những tài liệu này là nguồn tham khảo quan trọng giúp hoàn thiện nội dung nghiên cứu và nâng cao tính khoa học của bài viết.

Scanned with CamScanner

Tài liệu tham khảo

[1] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2013). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh - QCVN 05:2013/BTNMT*. Hà Nội.

[2] Bộ Y tế (2016). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về vệ sinh lao động - Giới hạn tiếp xúc cho phép các yếu tố độc hại trong môi trường lao động*. Hà Nội.

[3] Bộ Công Thương (2009). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác mỏ lộ thiên*. Hà Nội.

[4] Bộ Công Thương (2018). *Quy định về quản lý, sử dụng vật liệu nổ công nghiệp trong khai thác mỏ*. Hà Nội.

[5] Bộ Y tế (2019), *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia giá trị giới hạn tiếp xúc cho phép của 50 yếu tố hóa học tại nơi làm việc*. Hà Nội.

[6] Trần Quang Hiếu và Lê Ngọc Ninh (2010). *Giải pháp nổ mìn giảm chấn động, bụi và khí độc hại tại mỏ nằm gần khu vực dân cư*. Tạp chí Công nghệ Mỏ, tr. 10 - 18.

[7] Trần Quang Hiếu (2017). *Công tác khoan - nổ mìn và kỹ thuật an toàn sử dụng vật liệu nổ công nghiệp trong ngành mỏ - công trình*. Khoa học tự nhiên và công nghệ, tr. 54 - 60.

[8] Đỗ Ngọc Hoàn (2025). *Đánh giá các rủi ro trong khai thác mỏ lộ thiên*, tr. 45 - 64.

[9] Nguyễn Anh Thơ (2020). *Nghiên cứu giải pháp giảm thiểu nguy cơ mất an toàn vệ sinh lao động tại các mỏ đá khu vực Bắc Trung Bộ*. tr. 16 - 32.

[10] Đỗ Thị Thanh Bình (2025). *Đánh giá sự phân bổ ô nhiễm bụi PM_{10} và $PM_{2.5}$ tại khu vực nội đô thành phố Hà Nội*. tr. 20 - 35.

[11] Phạm Quang Minh (2019). *Đánh giá rủi ro ô nhiễm bụi trong khai thác mỏ lộ thiên*". Tạp chí Môi trường, số 6, tr. 33 - 40.

[12] Hoàng Văn Nam (2020). *An toàn lao động và vệ sinh công nghiệp trong khai thác mỏ*. Nhà xuất bản Lao động - Xã hội. Hà Nội.

[13] Nguyễn Như Hùng (2019). *Nghiên cứu đề xuất phương pháp xác định nồng độ bụi (PM_{10}) trong không khí khu vực đô thị Việt Nam từ dữ liệu ảnh vệ tinh*, tr. 67 - 73.

Scanned with CamScanner

[14] World Health Organization (WHO) (2018). *Ambient Air Pollution: Health Impacts*. Geneva.

[15] United States Mine Safety and Health Administration (MSHA) (2016). *Blasting Safety and Air Quality in Surface Mines*. USA.

[16] European Commission (2017). *Guidance on Dust and Gaseous Emissions in Mining Activities*. Brussels.

[17] Hartman, H.L., Mutmansky, J.M. (2002). *Introductory Mining Engineering*. John Wiley & Sons. New York.

[18] Kumar, R., Singh, T.N. (2014). *Evaluation of toxyc fumes generated during blasting*. International Journal of Mining Science and Technology, 24, pp. 253 - 259.

Scanned with CamScanner

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI
Số 8 phố Tăng Bạt Hổ, P. Cửa Nam, TP. Hà Nội
Điện thoại: 024.39423346, 024.39424620 * Fax: 024.38224784
Website: www.nxbgtvt.vn

CHỊU TRÁCH NHIỆM XUẤT BẢN - NỘI DUNG:

GIÁM ĐỐC - TỔNG BIÊN TẬP: **Nguyễn Minh Nhật**

BIÊN TẬP: **Ngô Thị Bích Diệp**

TRÌNH BÀY: **Vương Thị Mai**

Scanned with CamScanner

ĐỐI TÁC LIÊN KẾT

Công ty cổ phần In Bản Việt

Thôn Hậu Ái, Xã Sơn Đồng, Thành phố Hà Nội

In 300 cuốn, khổ 19x27 cm, tại Công ty cổ phần In Bản Việt.
Địa chỉ: Thôn Hậu Ái, Xã Sơn Đồng, Thành phố Hà Nội.
Số xác nhận đăng ký xuất bản: 5184-2025/CXBIPH/1-107/GTVT.
Mã số sách tiêu chuẩn quốc tế - ISBN: 978-604-76-3270-1
Quyết định xuất bản số: 41 LK/QĐ-XBGT ngày 19 tháng 3 năm 2026.
In xong và nộp lưu chiểu năm 2026.

Scanned with CamScanner



ISBN: 978-604-76-3270-1

SÁCH KHÔNG BÁN

Scanned with CamScanner