

NGHIÊN CỨU NỔ Mìn VẮNG XA ĐỊNH HƯỚNG CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ THỰC TIỄN THI CÔNG

Nguyễn Văn Đức^{1,*}, Vũ Đình Trọng¹

¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

*Email: nguyenvanducmct@qui.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày cơ sở lý luận và thực tiễn ứng dụng của phương pháp nổ mìn vắng xa định hướng trong thi công công trình thủy lợi và giao thông tại các khu vực có địa hình phức tạp. Dựa trên lý thuyết thủy động lực học vụ nổ và các công thức thực nghiệm của Pochovski, bài báo phân tích các thông số kỹ thuật quan trọng như chỉ số tác động nổ (n), đường cản ngắn nhất (W) và tính toán lượng thuốc nổ cho buồng mìn. Đặc biệt, nghiên cứu đi sâu vào kỹ thuật nổ mìn vi sai phi điện nhằm kiểm soát chấn động (PPV) và định hướng đá văng. Kết quả áp dụng thực tế tại công trình hồ chứa nước Cửa Đạt (Thanh Hóa) cho thấy phương pháp này không chỉ đảm bảo an toàn tuyệt đối cho các công trình lân cận mà còn tối ưu hóa chi phí, rút ngắn tiến độ thi công trên nền đá gốc có độ kiên cố cao ($f=10-14$).

Từ khóa: Nổ mìn vắng xa định hướng; nổ mìn vi sai; hồ chứa nước Cửa Đạt; kiểm soát chấn động; công thức Pochovski.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thời đại hiện nay, sức lao động của con người ngày càng được thay thế bởi máy móc và thiết bị hiện đại. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp, các thiết bị này vẫn gặp phải những hạn chế nhất định, đặc biệt là khi cần di chuyển khối lượng lớn đất đá hoặc thay đổi địa hình tự nhiên. Để khắc phục các hạn chế khi thi công trong điều kiện địa hình phức tạp, việc tận dụng năng lượng từ chất nổ - đặc biệt là phương pháp nổ mìn vắng xa định hướng - đã chứng minh được hiệu quả rõ rệt trong thực tiễn.

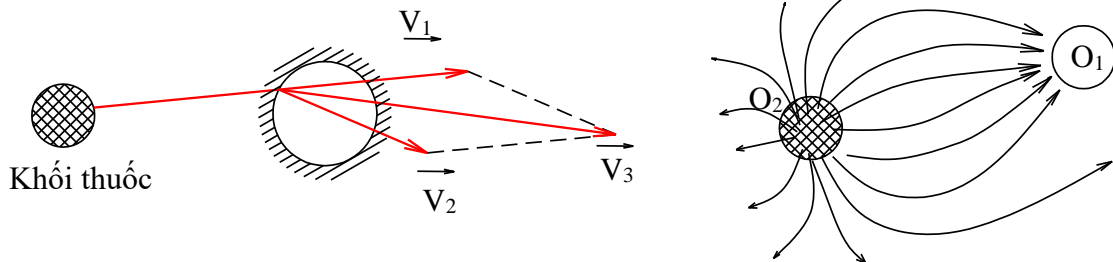
Phương pháp này không chỉ được ứng dụng rộng rãi trong ngành khai thác khoáng sản mà

còn được sử dụng hiệu quả trong lĩnh vực thủy lợi, giao thông... giúp thi công nhanh chóng và tiết kiệm chi phí đáng kể.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA NỔ Mìn VẮNG XA ĐỊNH HƯỚNG

2.1. Cơ sở lý luận của nổ mìn vắng xa định hướng

Giả sử trong một môi trường nào đó có một lỗ rỗng hình cầu có tâm O_1 người ta đặt 1 bao thuốc hình cầu O_2 cách O_1 một khoảng nào đó (Hình 1). Khi bao thuốc nổ phá các phân tử xung quanh bao thuốc sẽ chuyển dịch ra xa bao thuốc có phương trùng với đường kính bao thuốc [1].



Hình 1. Sơ đồ xác định tốc độ của đất đá khi nổ vắng định hướng [1]

Xét 1 phần tử ở biên lỗ rỗng, phần tử này sẽ chuyển động với $V_3 = V_1 + V_2$.

Trong đó: V_1 —Vận tốc nổ phá hướng đường kính (do sóng nén gây ra) m/s; V_2 —Vận tốc

hướng vào tâm lỗ rỗng (do sóng kéo gây ra) m/s; V_3 - Tổng hợp vận tốc; m/s.

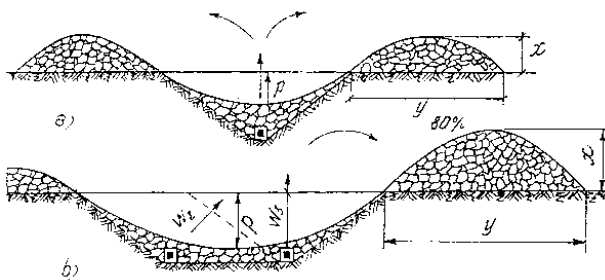
Ta thấy tồn tại một quỹ đạo của chuyển động môi trường xung quanh thông qua tác dụng của sóng phản xạ gây nên một trường vận tốc. Như vậy giữa bao thuốc và lỗ rỗng hình thành rõ rệt một luồng có định hướng. Vậy có thể kết luận như sau:

- Các hố lõm trên địa hình, dù hình thành tự nhiên hay do con người tạo ra, thường đóng vai trò là vùng dẫn hướng cho khối đất đá di chuyển tập trung với vận tốc cao khi xảy ra nổ mìn.

- Đất đá được văng đi mạnh và tập trung nhất là theo phương đường cản ngắn nhất.

- Các mặt lõm là trung tâm thu hút đất đá, là phương chủ yếu để đất đá bay đi.

Tùy theo mục đích sử dụng mà ta có thể điều khiển đất đá bay về một phía như Hình 2: (1.2b) hoặc hai phía như hình vẽ (1.2a) [1][2]:



Hình 2. Nổ mìn buồng văng xa định hướng

Khi đó khối lượng thuốc nổ được xác định như sau:

- Theo công thức thực nghiệm được phát triển bởi Boreckov, khi chiều dài đường cản nhỏ hơn 25 m, lượng thuốc nổ cần thiết cho mỗi buồng có thể được tính toán bằng hàm phụ thuộc vào chỉ số tác động và chỉ tiêu thuốc nổ. Khi $W > 25$ m, công thức tính chuyển sang dạng mở rộng theo Pocropvski nhằm phản ánh ảnh hưởng của địa hình [3]:

$$Q = (0,4 + 0,6n^3)q_t \cdot W^3, \text{ kg} \tag{1-1}$$

- Khi đường cản nhỏ nhất $W > 25$ m thì Khối lượng thuốc nổ của một buồng mìn xác định theo công thức của Pocropvski[4]:

$$Q = (0,4 + 0,6n^3)q_t \cdot W^3 \cdot \sqrt{\frac{W}{25}}, \text{ kg} \tag{1-2}$$

Trong đó : W - Là đường cản ngắn nhất, m

n - Chỉ số tác động nổ. Lựa chọn chỉ số tác động nổ là việc quan trọng nhất trong nổ mìn văng xa định hướng. Thông thường khi nổ mìn văng xa định hướng người ta có thể chọn $n = 1,25 \div 3$.

q_t - chỉ tiêu thuốc nổ; kg/m³

Chỉ tiêu thuốc nổ có thể tham khảo qua bảng sau:

Loại đất đá	Chỉ tiêu thuốc nổ q_t ; kg/m ³	
	Khi nổ toại	Khi nổ văng xa
Sét kết cứng	0,4 - 0,5	1,2 – 1,55
Cuội kết và dăm kết có xi măng vôi	0,5 – 0,6	1,5 – 1,8
Đá vôi	0,6 – 0,7	1,8 – 2,1
Cát kết xi măng	0,45 – 0,55	1,35 - 1,65
Đôlômit, cát kết có xi măng vôi	0,5 – 0,65	1,5 – 1,95
Granit, granodiorit	0,6 – 0,85	1,8 – 2,55

2.2. Xác định bán kính văng xa định hướng

Nổ mìn văng xa định hướng là nổ văng mạnh, đất đá được văng đi theo một hướng nhất định. Hướng văng của đất đá sẽ theo phương đường cản ngắn nhất do mặt lõm của địa hình tự nhiên hoặc do con người tạo ra.

Nói đến nổ mìn văng xa định hướng, người ta nghĩ ngay đến những lượng thuốc nổ lớn, khổng lồ nạp trong các buồng mìn lớn. Thế nhưng, trong thực tế người ta còn lợi dụng điều kiện địa hình, các nứt nẻ có sẵn và bằng phương pháp nổ mìn vi sai hàng loạt các lượng thuốc nhỏ nạp trong lỗ khoan mà vẫn hoàn thành được công việc mà tưởng chỉ có những phát nổ với khối lượng thuốc khổng lồ (hàng nghìn tấn) mới giải quyết được.

Khi đó bán kính định hướng $R_{đh}$ có thể được xác định theo biểu thức sau [5], xem Hình 3:

$$R_{đh} = C \cdot (5n \cdot W + \frac{W}{\sin \alpha} + \frac{Z}{\text{tg} \alpha}), \text{ m} \tag{1-3}$$

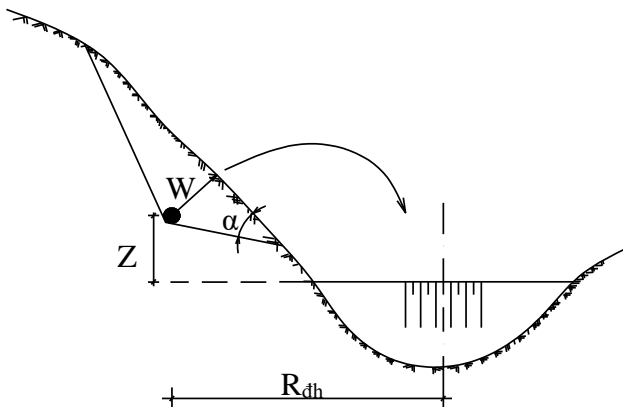
Trong đó:

$R_{đh}$ - Bán kính định hướng; m

C - Hệ số phụ thuộc địa hình và hình dạng khối đất ($C = 0,2-0,5$)

n - Chỉ số tác động nổ $n = 1,25 \div 3$.

W- Đường căn nhỏ nhất; m
 Z- Độ chênh cao giữa lượng thuốc nổ và đỉnh đập; m



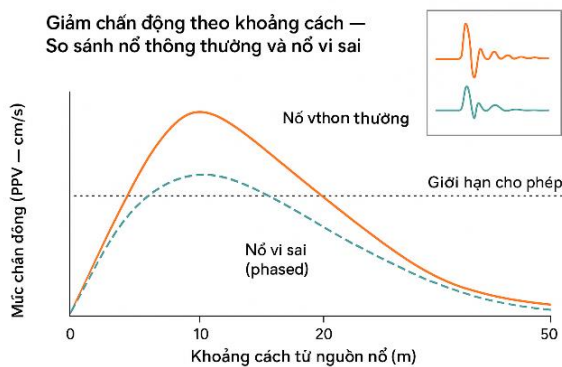
Hình 3. Sơ đồ xác định bán kính định hướng

3. MỘT VÀI ỨNG DỤNG TRONG THỰC TIỄN

3.1. Tính ưu việt khi nổ mìn vi sai

Kỹ thuật nổ mìn vi sai là phương pháp sử dụng nhiều điểm nổ liên tiếp theo một chuỗi thời gian đã được định trước, thường thông qua kíp nổ điện tử hoặc kíp nổ có thời gian trễ cơ học. Mỗi lỗ khoan sẽ chứa một lượng thuốc nổ nhỏ, được kích nổ theo trình tự định sẵn, tạo ra hiệu ứng cộng hưởng sóng nổ nhằm tăng hiệu quả phá vỡ đất đá theo hướng mong muốn.

Trong nghiên cứu về nổ mìn vi sai [6], sơ đồ mô phỏng sự giảm chấn, xem Hình 4, cho thấy:



Hình 4. Giảm chấn động theo khoảng cách— So sánh nổ thông thường và nổ vi sai [7]

- Khi nổ thông thường (đường liền): Giá trị PPV đạt giá trị đỉnh cao, sóng chấn động chồng lấn mạnh, năng lượng cộng hưởng. Nguy cơ dẫn đến vượt giới hạn cho phép, gây nứt công trình, rung lắc nhà dân, đặc biệt nguy hiểm ở khoảng cách trung bình ($\approx 8-20$ m)

- Khi nổ vi sai (đường nét đứt): Giá PPV thấp hơn rõ rệt, sóng được phân tán theo thời gian dẫn đến hiệu quả Giảm chấn động nền, đường cong nằm dưới giới hạn cho phép. Từ đó là cơ sở khoa học cho nổ mìn định hướng và nổ mìn kiểm soát rung động.

Do đó, Kỹ thuật nổ mìn vi sai đặc biệt phù hợp trong môi trường thi công gần khu dân cư hoặc công trình quan trọng. Thay vì dùng thuốc nổ lớn, kỹ thuật hiện đại áp dụng phương pháp phân phối lực nổ bằng nhiều điểm nổ nhỏ, phối hợp có kiểm soát, giúp giảm thiểu thiệt hại môi trường và tăng tính an toàn.

3.2. Một vài ứng dụng khi nổ mìn vi sai định hướng

3.2.1. Điều chỉnh dòng chảy của sông

Một minh chứng tiêu biểu cho hiệu quả của kỹ thuật là dự án thủy điện trên lưu vực sông Xulác(Sulak), nơi địa hình phức tạp khiến giải pháp cơ giới trở nên khó khả thi. Khi đó, phương án nổ mìn văng xa định hướng kết hợp nạp thuốc trong khe nứt và kích nổ vi sai đã giúp hoàn thành công trình an toàn và hiệu quả.

Một trong những ứng dụng nổ mìn văng xa định hướng trên thế giới là khi nổ mìn trên lưu vực sông Xulác có chiều sâu tới 250m và rộng phài trên lên tới hàng trăm mét được chọn làm địa điểm đặt công trình cơ bản của trạm thủy điện Chirkey(LB Nga). Công việc được tiến hành thật khó khăn, phải đưa người và thiết bị lên một độ dốc đứng và cao gây nguy hiểm cho người và thiết bị. Khi đó người ta đã đưa ra được một giải pháp tốt và hoàn thành được công trình là chất nổ được nạp trong các lỗ khoan nhỏ và các khe nứt, dùng phương pháp nổ mìn vi sai để văng xa định hướng.

Giải pháp: Bằng cách sử dụng các kíp vi sai với độ trễ khác nhau, năng lượng từ vụ nổ được giải phóng từng phần, làm cho đỉnh sóng chấn động tổng hợp giảm đi đáng kể. Điều này giúp đảm bảo an toàn cho các công trình đê đập và nhà ở gần đó.

3.2.2. Công trình hồ chứa nước Cửa Đạt (Thanh Hóa)

Dưới đây là một số phân tích và tính toán cụ thể khi áp dụng nổ mìn vi sai định hướng tại

công trình hồ chứa nước Cửa Đạt. Các thông số này là ví dụ minh họa dựa trên nguyên lý kỹ thuật, số liệu tham khảo.

a. Mục tiêu và điều kiện thi công

Việc áp dụng nổ mìn vi sai định hướng tại công trình hồ chứa nước Cửa Đạt (Thanh Hóa) nhằm đạt được các mục tiêu cụ thể sau:

Phá vỡ khối đá cứng tại tuyến đập chính và kênh dẫn. Tạo sự phá hủy có kiểm soát đối với đá gốc có cường độ cao, bảo đảm kích thước đá sau nổ phù hợp cho công tác xúc bốc và vận chuyển, hạn chế tối đa đá quá cỡ.

Tạo mặt bằng và nền móng đạt yêu cầu thiết kế công trình: Hình thành mặt đào bằng phẳng, biên đào rõ ràng, giảm hiện tượng phá hoại vượt biên, bảo đảm chất lượng nền móng phục vụ thi công thân đập và các hạng mục liên quan.

Kiểm soát hướng phát triển khe nứt và phạm vi phá hoại: Điều khiển hướng nổ về phía mặt thoáng, hạn chế lan truyền sóng nổ vào khối đá còn lại, qua đó duy trì tính ổn định lâu dài của nền móng công trình.

Giảm rung chấn, đá văng và tác động xấu đến công trình lân cận: Phân tán năng lượng nổ theo thời gian thông qua kíp vi sai, bảo đảm rung động nằm trong giới hạn cho phép, đáp ứng yêu cầu an toàn trong khu vực thi công.

Nâng cao hiệu quả kinh tế và tiến độ thi công: Giảm lượng thuốc nổ tiêu hao trên một đơn vị thể tích đá, giảm chi phí khoan – xúc – vận chuyển, đồng thời rút ngắn thời gian thi công so với phương pháp nổ mìn thông thường.

Yêu cầu an toàn: Vị trí thi công gần khu vực dân cư và các công trình phụ trợ, do đó yêu cầu khống chế chấn động ở mức rất thấp, đặc biệt là vận tốc dao động nền đất (PPV - Peak Particle Velocity). Giới hạn cho phép thường dưới 5 cm/s.

b. Tính toán các thông số nổ mìn cơ bản

Việc tính toán được thực hiện dựa trên các công thức kinh nghiệm và đặc điểm địa chất tại công trường.

Đường kính lỗ khoan (d): Lựa chọn lỗ khoan có đường kính trung bình, $d = 102 \text{ mm}$ [1].

Chỉ tiêu thuốc nổ (q): Dựa vào chỉ tiêu thuốc nổ quy định và hệ số kiên cố của đá.

$q = A \cdot f^B$ (Trong đó A, B là hệ số thực nghiệm). Với đá phiến, có thể lấy $A=0.3$, $B=0.35$.

$$q = 0,3 \cdot 12^{0,35} = 0,72 \text{ kg/m}^3.$$

Đường cản (W): Với khoan nổ tầng trong đá cứng, đường cản thường lấy theo:

$$W = (25 \div 35) \cdot d; \text{ m}$$

Chọn giá trị trung bình an toàn:

$$W = 30 \cdot d = 30 \times 0,102 = 3,0 \text{ m}$$

Khoảng cách lỗ mìn (a): Khoảng cách giữa các lỗ mìn trong cùng một hàng.

$a = K_a \cdot W; \text{ m}$ (Hệ số K_a thường từ 1.0 đến 1.5 chọn $K_a=1,2$);

$$a = 1,2 \cdot 3 = 3,6 \text{ m}$$

Chiều cao tầng công tác H(m): Đối với đá cứng, khoan lỗ đứng:

$$H = (0,7 \div 0,9)W = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ m}$$

Chiều sâu khoan thêm (khoan phụ):

$$L_p = (0,2 \div 0,3) \cdot W = 0,25 \cdot 3 = 0,75 \text{ m}$$

Chiều dài lỗ khoan:

$$L_k = H + L_p = 2,4 + 0,75 = 3,15 \text{ m}$$

Khối lượng thuốc nổ cho 1 lỗ khoan:

$$Q = q \cdot V = q \cdot a \cdot W \cdot H \\ = 0,72 \cdot 3,6 \cdot 3 \cdot 2,4 = 18,6 \text{ kg}$$

Bảng tổng hợp các thông số mạng nổ

Thông số	Giá trị
Đường kính lỗ khoan d	102 mm
Đường cản W	3,0 m
Khoảng cách lỗ a	3,6 m
Chiều cao tầng H	2,4 m
Khoan thêm L_p	0,75 m
Chiều dài lỗ L	3,15 m
Thể tích đá / lỗ	25,9 m ³
Thuốc nổ / lỗ	18,6 kg

Nhận xét: Các thông số trên phù hợp điều kiện địa chất – quy mô công trình Cửa Đạt

Bảo đảm: Phá đá hiệu quả, kiểm soát rung chấn, hạn chế phá hoại vượt biên nền móng.

Có thể điều chỉnh W và q tùy từng khu vực (đập chính, vai đập, kênh dẫn).

c. Thiết kế và tính toán mạng nổ vi sai

Đây là phần quan trọng nhất để đạt được mục tiêu an toàn.

Sử dụng kíp vi sai: Thay vì kíp tức thời, sử dụng kíp vi sai phi điện hoặc kíp vi sai điện tử có độ trễ thời gian cực ngắn (milligiây).

Thiết kế trình tự nổ:

- Lỗ đầu tiên (hàng 1) nổ.
- Sau một khoảng thời gian vi sai, lỗ thứ hai (hàng 2) nổ, tạo mặt tự do cho lỗ thứ ba.

Công thức tính thời gian vi sai (Δ_t)[8]:

$$\Delta_t = \frac{a}{v_p} \cdot k; \quad (k - \text{hệ số an toàn})$$

Với đá phiến cứng, tốc độ lan truyền sóng (vp) có thể lên tới 5000 m/s.

$$\Delta_t = \frac{0,254}{5000} \cdot 1,5 = 0,0000762 \text{ giây}$$

(tương đương 0,0762ms)

Do thời gian này quá nhỏ so với độ trễ của kíp vi sai thương mại (thường từ 25ms, 42ms), nên thực tế sẽ chọn độ trễ lớn hơn, thường là từ 25 ms trở lên để đảm bảo các lỗ mìn nổ tách biệt hoàn toàn.

d. Khống chế chấn động và đá văng

PPV (Peak Particle Velocity): Vận tốc dao động nền đất là chỉ số quan trọng để đánh giá mức độ chấn động.

Để kiểm soát PPV, cần tính toán khối lượng thuốc nổ đồng thời (Q_{dt}) cho phép.

$Q_{dt} = \frac{Q_m}{\sqrt{n}}$; kg (Trong đó Q_m là tổng khối lượng thuốc nổ, n là số kíp vi sai).

Nổ vi sai giúp giảm Q_{dt} xuống rất nhiều, từ đó giảm PPV.

* Khống chế đá văng:

Nguyên nhân gây đá văng: Đường căn nhỏ hoặc không đồng đều; nạp thuốc không hợp lý; bua lỗ mìn không đạt yêu cầu; hướng nổ không được kiểm soát.

Biện pháp kỹ thuật hạn chế đá văng: Bảo đảm đường căn hợp lý; Đường căn được thiết kế đồng đều, không nhỏ hơn giá trị tính toán, tránh thoát khí nổ đột ngột; Bua lỗ mìn đúng kỹ thuật Sử dụng vật liệu bua (phoi khoan, cát ẩm) với chiều dài bua hợp lý; Bố trí lỗ mìn và thứ tự vi sai sao cho khối đá chuyển động về phía mặt thoáng, không hướng về phía công trình cần bảo vệ; Che chắn bãi nổ tại các vị trí nhạy cảm, sử dụng lưới thép, bao cát hoặc tấm cao su che phủ bãi nổ để giảm nguy cơ đá văng xa.

Tại công trình hồ chứa nước Cửa Đạt, việc áp dụng nổ mìn vi sai định hướng đã góp phần quan trọng vào việc đảm bảo tiến độ thi công mà vẫn tuân thủ nghiêm ngặt các yêu cầu về an toàn. Kỹ thuật này không chỉ giúp tối ưu hóa hiệu quả phá vỡ đá cứng, mà còn là giải pháp kỹ thuật bắt buộc để kiểm soát chấn động và bảo vệ môi trường, mang lại hiệu quả kinh tế và xã hội cao.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu lý thuyết và thực tiễn thi công tại công trình hồ chứa nước Cửa Đạt đã khẳng định tính ưu việt của phương pháp nổ mìn văng xa định hướng kết hợp với kỹ thuật vi sai. Các kết quả chính đạt được bao gồm:

Về mặt kỹ thuật: Việc áp dụng linh hoạt công thức Pocropvski kết hợp với điều chỉnh thời gian vi sai hợp lý (trên 25ms) cho phép định hướng chính xác khối lượng đất đá văng vào vị trí thiết kế, đồng thời giảm thiểu đáng kể chấn động nền (PPV), đảm bảo an toàn cho các công trình dân sinh và dê đập lân cận.

Về mặt kinh tế: Phương pháp này giúp giảm thiểu khối lượng công tác xúc bốc và vận tải cơ giới, đặc biệt hiệu quả ở các địa hình dốc đứng, hiểm trở nơi máy móc khó tiếp cận.

Hướng phát triển: Trong tương lai, để nâng cao hiệu quả, cần kết hợp các phần mềm mô phỏng vụ nổ hiện đại để dự báo chính xác hơn bán kính văng xa và vùng ảnh hưởng, từ đó tối ưu hóa hộ chiếu nổ mìn ngay từ giai đoạn thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. Đ. Ấu và N. V. Bách, *Phá vỡ đất đá bằng phương pháp khoan nổ mìn*. Hà Nội: NXB Giáo dục, 1998.
- [2] H. T. Chung và N. V. Đức, *Khoan nổ mìn*. Quảng Ninh: Trường ĐH Công nghiệp Quảng Ninh, 2009.
- [3] H. S. Giao và nnk., *Nổ hóa học – Lý luận và thực tiễn*. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2010.
- [4] H. S. Giao, *Cơ sở công nghệ khai thác đá*. Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.
- [5] C. H. Dowding, *Giám sát và kiểm soát rung động nổ*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.
- [6] D. X. Nam và nnk., "Nghiên cứu giải pháp nổ mìn tạo biên định hướng thi công hầm thủy điện trong điều kiện địa chất phức tạp," *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 2, tr. 45-50, 2021.
- [7] T. N. Lan, "Đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật công nghệ nổ mìn văng xa tại các mỏ đá vôi Việt Nam," *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, tập 60, số 4, tr. 32-38, 2019.
- [8] V. V. C và N. V. An, "Tối ưu hóa thông số nổ mìn vi sai phi điện nhằm giảm thiểu chấn động tại mỏ lộ thiên gần khu dân cư," *Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học Toàn quốc về Cơ học đá*, Hà Nội, 2023, tr. 112-120.

Thông tin của tác giả:**ThS. Nguyễn Văn Đức**

Khoa Mỏ & Công trình, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).904.645.672 - Email: nguyenvanducmct@qui.edu.vn

TS. Vũ Đình Trọng

Khoa Mỏ & Công trình, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).869437970 - Email: vudinhtrong@qui.edu.vn

Research on Directional Cast Blasting: Theoretical Basis and Construction Practice**Information about authors:**

Nguyen Van Duc, MsEng., Department of Mining & Construction Engineering, Quang Ninh University of Industry, email: nguyenvanducmtc@qui.edu.vn

Vu Dinh Trong, Ph.D., Department of Mining & Construction Engineering, Quang Ninh University of Industry, email: vudinhtrong@qui.edu.vn

ABSTRACT:

This paper presents the theoretical basis and practical application of directional cast blasting in hydraulic and transport infrastructure construction within complex terrains. Based on the hydrodynamic theory of explosion and Pokrovsky's empirical formulas, the study analyzes key technical parameters such as the blasting action index (n), burden (W), and explosive charge calculations. Specifically, the research delves into non-electric differential blasting techniques to control peak particle velocity (PPV) and rock throw direction. Practical application results at the Cua Dat Reservoir (Thanh Hoa) demonstrate that this method ensures absolute safety for adjacent structures while optimizing costs and accelerating construction progress on high-hardness bedrock ($f=10-14$).

Keywords: *Directional cast blasting; differential blasting; Cua Dat reservoir; vibration control; Pokrovsky formula.*

REFERENCES

- [1] N. D. Au and N. V. Bach, *Rock Fragmentation by Drilling and Blasting Method*. Hanoi: Education Publishing House, 1998.
- [2] H. T. Chung and N. V. Duc, *Drilling and Blasting*. Quang Ninh: Quang Ninh University of Industry, 2009.
- [3] H. S. Giao et al., *Chemical Explosion – Theory and Practice*. Hanoi: Science and Technics Publishing House, 2010.
- [4] H. S. Giao, *Basis of Rock Mining Technology*. Hanoi: Science and Technics Publishing House, 2006.
- [5] C. H. Dowding, *Blast Vibration Monitoring and Control*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.
- [6] D. X. Nam et al., "Research on directional contour blasting solution for hydropower tunnel construction in complex geological conditions," *Mining Industry Journal*, no. 2, pp. 45-50, 2021.
- [7] T. N. Lan, "Evaluation of economic-technical efficiency of cast blasting technology at Vietnamese limestone mines," *Journal of Mining and Earth Sciences*, vol. 60, no. 4, pp. 32-38, 2019.
- [8] V. V. C and N. V. An, "Optimization of non-electric differential blasting parameters to minimize ground vibration at open-pit mines near residential areas," *Proceedings of the National Conference on Rock Mechanics*, Hanoi, 2023, pp. 112-120.

Ngày nhận bài: 19/12/2025;

Ngày nhận bài sửa: 12/01/2026;

Ngày chấp nhận đăng: 16/01/2026.