



ASMES - 2025

www.khaithaclathien.edu.vn



Method for Determining Detonator Parameters for Blasting in Open-Pit Mines in Vietnam

Dam Quang Sang^{1*}, Nguyen Van Tinh¹, Hoang Trung Huu¹, Nguyen Ngan², Tran Van Dung², Tran Quang Hieu³

¹Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam

²Mining Chemical Industry Corporation – Vinacomin, Hanoi, Vietnam

³Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

Blasting is the first technological stage in open-pit mining operations, directly influencing the efficiency of subsequent processes in the production chain. Industrial explosives play a crucial role in the national economy and are indispensable in mineral extraction, transportation, hydropower, and construction projects. In open-pit mines, a large volume of industrial explosives insensitive to detonators, such as ANFO and heavy ANFO, are widely used. To initiate these explosives, intermediate boosters of varying sizes and weights are required. At present, the use of boosters in Vietnamese open-pit mines largely depends on practical experience, while systematic studies and publications on the calculation and proper selection of boosters are still limited. This paper presents a systematic overview of detonation theory and methods for determining booster parameters in general, and for industrial explosives in particular. The study highlights that booster parameters including explosive properties, mass, diameter, length, placement, and quantity must be appropriately selected based on the characteristics of the explosives used, borehole diameter, and even rock hardness, in order to ensure safety and improve rock fragmentation efficiency.

Keywords:

Open-pit mine, industrial explosives, booster, initiation, blasting.

*Tác giả liên hệ

E - mail: damquangsang@lqdtu.edu.vn



ASMES - 2025

www.khaithaclathien.edu.vn



Phương pháp xác định các thông số của mìn nổ dùng cho nổ mìn trên các mỏ lộ thiên ở Việt Nam

Đàm Quang Sang ^{1*}, Nguyễn Văn Tính ¹, Hoàng Trung Hữu ¹, Nguyễn Ngàn ²,
Trần Văn Dũng², Trần Quang Hiếu ³

¹ Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn, Hà Nội, Việt Nam

² Tổng công ty Công nghiệp hóa chất mỏ-Vinacomin, Hà Nội, Việt Nam

³ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

TÓM TẮT

Nổ mìn là khâu công nghệ đầu tiên, có ảnh hưởng trực tiếp tới hiệu quả làm việc của các khâu công nghệ khác trong dây chuyền sản xuất trên mỏ lộ thiên (MLT). Vật liệu nổ công nghiệp (VLNCN) đóng vai trò quan trọng đối với kinh tế quốc dân, là vật tư không thể thiếu trong khai thác khoáng sản, thi công công trình giao thông, thủy lợi, xây dựng v.v. Công tác nổ mìn trên MLT sử dụng một lượng lớn các loại thuốc nổ công nghiệp (TNCN) không nhạy với kích nổ như ANFO, ANFO nặng. Để kích nổ các loại thuốc nổ này, cần phải sử dụng mìn nổ trung gian với khối lượng và kích thước khác nhau. Hiện nay, việc sử dụng mìn nổ tại các MLT ở nước ta gần như dựa hoàn toàn vào kinh nghiệm. Cũng chưa có nhiều nghiên cứu đầy đủ trong nước được công bố về việc tính toán, lựa chọn mìn nổ hợp lý để kích nổ hoàn toàn thuốc nổ trong lỗ khoan. Báo cáo này trình bày một cách hệ thống cơ sở lý thuyết kích nổ cũng như một số phương pháp xác định thông số của mìn nổ nói chung và mìn nổ cho thuốc nổ công nghiệp nói riêng. Theo đó, tác giả báo cáo đã chỉ ra rằng, thông số của mìn nổ (đặc trưng nổ của thuốc nổ làm mìn nổ, khối lượng, đường kính, chiều dài mìn nổ, vị trí mìn nổ, số lượng mìn nổ...) cần được lựa chọn phù hợp tùy theo tính chất của thuốc nổ sử dụng, đường kính lỗ khoan, thậm chí là độ cứng của đất đá nhằm đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả phá vỡ đất đá.

Từ khóa: Mỏ lộ thiên, vật liệu nổ công nghiệp, mìn nổ, kích nổ, nổ mìn

1. Mở đầu

Hiện nay, việc sử dụng thuốc nổ trong khai thác khoáng sản, xây dựng đã trở nên rất phổ biến trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng. Các loại thuốc nổ công nghiệp được sản xuất và sử dụng chủ yếu là ANFO, thuốc nổ nhũ tương bao gói, thuốc nổ nhũ tương rời (còn được gọi là ANFO nặng) do chúng có những ưu điểm nổi bật như an toàn, khả năng chịu nước tốt, tương đối “sạch” với môi trường, giá thành rẻ. Tuy nhiên, đa số các loại thuốc nổ này có độ nhạy với xung nổ không cao, chỉ thuốc nổ nhũ tương bao gói đường kính nhỏ mới nhạy với kích nổ. Công nghệ khoan - nổ mìn ở các mỏ lộ thiên chủ yếu là phương pháp nổ mìn lỗ khoan đường kính lớn. Trong trường hợp này, để kích nổ thuốc nổ một cách tin cậy thì cần sử dụng mìn nổ. Mìn nổ khi nổ sẽ tạo ra xung ban đầu (của sản phẩm nổ và sóng xung kích) đủ lớn lan truyền trong khối thuốc nổ làm nổ cột thuốc nằm bên trong lỗ khoan.

Thông thường, mìn nổ được chế tạo từ các loại thuốc nổ hỗn hợp của hexogen hoặc PETN và TNT với tỷ lệ khác nhau (mìn nổ mạnh). Các loại mìn nổ này có mật độ, tốc độ nổ cao (trên 7000 m/s) và được chế tạo với kích thước và khối lượng khác nhau để phù hợp với từng điều kiện nổ. Mìn nổ thông thường mặc dù có khả năng kích nổ tốt nhưng cũng có nhiều nhược điểm như nguy cơ mất an toàn khi sản xuất, bảo quản, vận chuyển và sử dụng, giá thành đắt, đòi hỏi phải được sản xuất trong điều kiện nghiêm ngặt của nhà máy, tạo ra lượng khói độc khá lớn sau khi nổ. Chính vì vậy nhiều nước trên thế giới (trong đó có Việt Nam) đã nghiên cứu phát triển loại mìn nổ mới làm từ thuốc nổ nhũ tương năng lượng cao để sử dụng kết hợp với mìn nổ mạnh đem lại hiệu quả nổ mìn cao hơn.

Bảng 1. Các loại mìn nổ đang được sử dụng tại Việt Nam

1	Mìn nổ MN-15			
	- Khả năng sinh công, cm ³	350 ÷ 390	100 x 54 x 25 mm, 175 g (khối hộp chữ nhật) Φ70 x 70 mm, 400 g (trụ)	Nhà máy Z115
	- Tốc độ nổ, m/giây	7.500 ÷ 7.800		
	- Độ nén trụ chì, mm	22 ÷ 24		
	- Độ nhạy kích nổ	Kíp số 8		
	- Khối lượng riêng, g/cm ³	1.59 ÷ 1,67		
- Thời hạn bảo hành, tháng	05			
2	Mìn nổ MN-15H			
	- Khả năng sinh công, cm ³	350 ÷ 390	Φ38 x 118 mm, 175 g Φ54 x 118 mm, 400 g	Nhà máy Z115
	- Tốc độ nổ, m/giây	7.500 ÷ 7.800		
	- Độ nén trụ chì, mm	22 ÷ 24		
	- Độ nhạy kích nổ	Kíp số 8		
	- Khối lượng riêng, g/cm ³	1.59 ÷ 1,67		
- Thời hạn bảo hành, tháng	05			
3	Mìn nổ MN-31			
	- Khối lượng riêng, g/cm ³	1,61 ÷ 1,70	Φ37 x 129 mm, 175g Φ54 x 129 mm, 400g Φ79 x 127 mm, 850g	Nhà máy Z131
	- Tốc độ nổ, m/s	7.200 ÷ 7.800		
	- Độ nén trụ chì, mm	22		
	- Nhiệt lượng nổ, Kcal/kg	1100		
	- Độ nhạy va đập, %	22 ÷ 24		
	- Khả năng chịu nước	Tốt		
	- Thời hạn bảo quản, năm	05		
4	Mìn nổ VE05A			
	- Khối lượng riêng, g/cm ³	1,60 ± 0,02	Φ37 x 127 mm, 175 g Φ43 x 127 mm, 250 g Φ53 x 137 mm, 400 g Φ65 x 129 mm, 600 g Φ77 x 137 mm, 850 g	Viện Thuốc phóng thuốc nổ
	- Tốc độ nổ, m/giây	7.300 ≥ 200		
	- Độ nén trụ chì, mm	22		
	- Phương tiện kích nổ	Theo HDSD		
	- Độ nhạy kích nổ	Kíp số 8		
	- Thời hạn sử dụng, tháng	60		

Như vậy, tính chất quan trọng nhất của mìn nổ là khả năng tạo ra xung kích thích ban đầu đủ mạnh để kích nổ được thuốc nổ chính trong lỗ khoan. Theo [1], trước hết, xung nổ phải tạo ra sóng xung kích lan truyền trong lượng nổ chính với tốc độ lớn hơn tốc độ âm thanh và tốt hơn là lớn hơn tốc độ nổ tới hạn của lượng nổ chính. Thứ hai, áp suất sóng xung kích hình thành trong

lượng nổ chính lớn hơn giá trị áp suất tới hạn của lượng nổ chính (xấp xỉ bằng áp suất trên mặt sóng nổ). Ngoài ra, để kích nổ tin cậy cần tăng diện tích tiếp xúc giữa mồi nổ và lượng nổ chính (đường kính mồi nổ tốt nhất là bằng đường kính lượng nổ chính hoặc đặt mồi nổ vào sâu bên trong lượng nổ), tăng chiều dài mồi nổ để tăng xung tác dụng. Khi nghiên cứu ảnh hưởng tác động va đập của tấm kim loại tới biến đổi nổ [2], người ta xác định được rằng, năng lượng va đập phải lớn hơn giá trị tới hạn mới gây biến đổi nổ thuốc nổ. Điều kiện đủ để có thể duy trì quá trình nổ ổn định trong lượng nổ là thời gian duy trì tác dụng va đập phải đủ lớn, thời gian này càng ngắn thì yêu cầu đối với áp suất mặt sóng xung kích do va đập tạo ra càng cao (tốc độ va đập càng lớn). Để tránh tác động của sóng giãn biên (làm suy giảm áp suất sóng xung kích lan truyền trong lượng nổ), đường kính mồi nổ phải bằng 2 lần khoảng cách di chuyển của sóng xung kích trước khi chế độ nổ ổn định được thiết lập.

Mặc dù những chỉ dẫn nêu trên là rất quan trọng để định hướng lựa chọn thông số của mồi nổ (loại thuốc nổ, khối lượng, đường kính, chiều dài) nhưng điều đó là chưa đủ để giúp người làm công tác nổ mìn xác định được thông số mồi nổ tối ưu. Trong tài liệu [3], người ta lựa chọn khối lượng mồi nổ bằng phương pháp thực nghiệm. Theo đó, khối lượng mồi nổ được tăng lên theo cấp số nhân nếu thử nghiệm “không thành công” (tức là mồi nổ không kích nổ được lượng nổ chính). Ví dụ, khối lượng mồi nổ tăng dần theo cấp số nhân có công bội bằng 2 qua các lần thử nghiệm là 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 g. Rõ ràng, việc tuân tủy sử dụng phương pháp thực nghiệm như vậy sẽ mất rất nhiều thời gian, công sức, chi phí và nguy cơ mất an toàn tăng lên. Do đó, áp dụng các phương pháp tính toán sơ bộ các thông số mồi nổ sẽ giúp giảm thời gian và chi phí, nâng cao mức độ an toàn của việc sử dụng và thiết kế mồi nổ hiệu quả. Phần sau sẽ trình bày một số phương pháp xác định thông số mồi nổ cho thuốc nổ ANFO và áp dụng cho công tác nổ mìn tại Việt Nam.

2. Các phương pháp tính toán thông số mồi nổ

2.1. Phương pháp kinh nghiệm

Để kích nổ các hỗn hợp thuốc nổ ANFO trong lỗ khoan và lỗ khoan có đường kính nhỏ hơn 114 mm, nên sử dụng các mồi nổ Detaprime (loại mồi nổ được làm từ thuốc nổ hỗn hợp PETN với chất kết dính đàn hồi được ép đùn vào vỏ cao su) hoặc watergel năng lượng cao có tốc độ nổ cao hơn ANFO. Khi tăng đường kính lỗ khoan, đường kính của mồi nổ cũng phải tăng theo. Ví dụ, trong các lỗ khoan có đường kính 150 mm, mồi nổ đáng tin cậy cho hỗn hợp ANFO mồi nổ NDR-1 và lượng nổ watergel dài 203 mm, đường kính 51 hoặc 76 mm. Trong các lỗ khoan có đường kính 200 mm, để đảm bảo hệ số tác dụng hữu ích tối đa của hỗn hợp ANFO, khuyến nghị sử dụng mồi nổ là thuốc nổ chứa nước có đường kính 178 mm, khối lượng 11,5 kg. Mồi nổ NDR là khối TNT có lõi làm từ COMP B (hỗn hợp hexogen, TNT và parafin) dạng hình trụ, với một lỗ dọc trục cho dây nổ và một lỗ sâu 76 mm cho kíp nổ. COMP B có mật độ 1,64-1,68 g/cm³, nhiệt lượng nổ 5200 kJ/kg và tốc độ nổ 7700 m/s. Mồi nổ NDR-1 nặng 454 g, đường kính 59 mm, cao 114 mm, dùng cho hỗn hợp ANFO trong lỗ khoan > 90 mm. Mồi nổ NDR-3 là khối TNT dạng trụ dài 35 x 111 mm, nặng 151 g, dùng cho hỗn hợp ANFO trong lỗ khoan 51 - 92 mm và một số loại thuốc nổ watergel trong lỗ khoan 76 - 92 mm.

Khi thay đổi đường kính lỗ khoan từ 100 đến 300 mm, đã xác định được mối quan hệ gần đúng giữa đường kính hợp lý của mồi nổ làm từ thuốc nổ chứa nước năng lượng cao (với hàm lượng Al tới 25%) vào đường kính của lượng nổ ANFO [4]:

$$d_{mn} = 25 + 600 \left(1 - \frac{100}{d_m} \right)^2 \quad (1)$$

Trong đó, d_{mn} – đường kính mũi nổ, mm; d_{th} – đường kính lỗ khoan chứa thuốc nổ, mm.

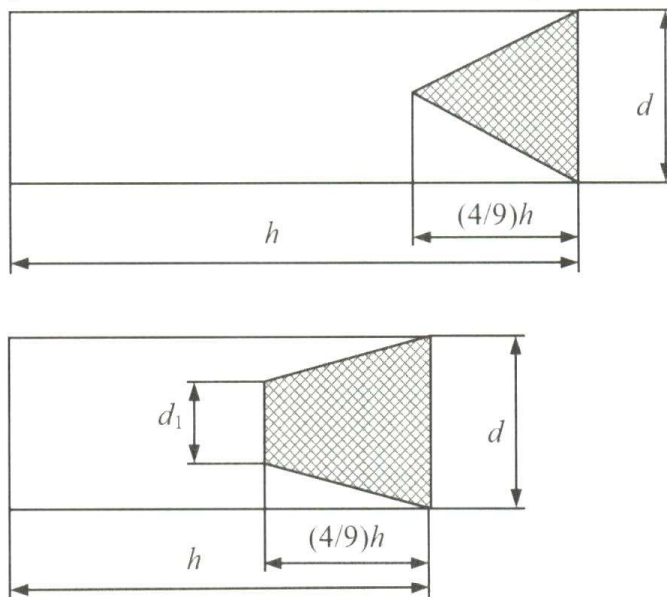
2.2. Phương pháp năng lượng

Với lượng nổ hình trụ, năng lượng toàn phần của sản phẩm nổ thuộc phần tích cực được xác định theo công thức [1]:

$$E = \frac{1}{2} m_a \frac{D^2}{n+1} \quad (2)$$

Trong đó: m_a là khối lượng tích cực của lượng nổ (là phần lượng thuốc nổ hình thành nên sản phẩm nổ chuyển động theo hướng lan truyền nổ); D là tốc độ nổ của thuốc nổ, m/s.

Phần tích cực của lượng nổ hình trụ được xác định là hình nón (đối với lượng nổ dài) và hình nón cụt (lượng nổ ngắn) với các kích thước như biểu diễn trên Hình 1. Lượng nổ dài là lượng nổ có chiều dài (h) so với đường kính (d): $h \geq (9/4)d$. Khi $h = (9/4)d$, người ta gọi đó là lượng nổ dài giới hạn. Lượng nổ ngắn là lượng nổ có: $h < (9/4)d$. Lượng nổ chính trong lỗ khoan được coi là lượng nổ dài còn với mũi nổ thì có thể là lượng nổ dài hoặc lượng nổ ngắn.



Hình 1. Phần tích cực của lượng nổ dài và lượng nổ ngắn

Trong tài liệu [5], tác giả đưa ra phương pháp gần đúng để tính toán kích thước tối thiểu của mũi nổ dựa trên giả thiết cho rằng năng lượng phần tích cực của sản phẩm nổ mũi nổ không được nhỏ hơn năng lượng tối thiểu phần tích cực của sản phẩm nổ thuốc nổ chính (tương ứng với lượng nổ chính có đường kính tới hạn d_{th}). Từ giả thiết này và khi coi chỉ số đa biến của sản phẩm nổ mũi nổ và lượng nổ chính như nhau (xấp xỉ bằng 3), ta nhận được công thức xác định đường kính mũi nổ (là lượng nổ dài tới hạn) như sau:

$$d_{mn} = d_{th} \sqrt[3]{\frac{\rho_m D_{th}^2}{\rho_{mn} D_{mn}^2}} \quad (3)$$

Trong đó: d_{mn} , ρ_{mn} , D_{mn} tương ứng là đường kính tối thiểu, mật độ và tốc độ nổ của mồi nổ; ρ_{tn} và D_{th} lần lượt là mật độ và tốc độ nổ của thuốc nổ được kích nổ tại đường kính tới hạn d_{th} của nó.

Với lượng nổ ngắn có $h_{mn}/d_{mn} = 1,5$, về phải công thức (3) cần được nhân với hệ số hiệu chỉnh 1,02.

Khi tính tới sự khác biệt về chỉ số đa biến của sản phẩm nổ mồi nổ và lượng nổ chính đồng thời mở rộng sang trường hợp yêu cầu kích nổ để tốc độ nổ của lượng nổ chính trong lỗ khoan đạt được giá trị lớn nhất (tương ứng với đường kính đó), ta tìm được:

$$d_{mn} = d_{tn} \sqrt[3]{\frac{\rho_{tn} D_{tn}^2 (n_{mn} + 1)}{\rho_{mn} D_{mn}^2 (n_{tn} + 1)}} \quad (4)$$

Trong đó: d_{tn} là đường kính lượng nổ chính (mm); D_{tn} là tốc độ nổ lớn nhất của lượng nổ chính ở đường kính tương ứng (m/s); n_{mn} , n_{tn} lần lượt là chỉ số đa biến của sản phẩm nổ mồi nổ và lượng nổ chính.

2.3. Phương pháp xung

Với lượng nổ hình trụ, xung lượng của sản phẩm nổ được xác định theo công thức [1]:

$$I = \frac{8}{27} m_a D \quad (5)$$

Phương pháp xung [6] dựa trên luận điểm cho rằng để kích nổ được thuốc nổ, xung lượng của sản phẩm nổ phần mồi nổ tích cực phải lớn hơn xung lượng sản phẩm nổ phần tích cực lượng nổ chính ứng với đường kính tới hạn. Tuy nhiên, để tính tới sự khác biệt về sản phẩm nổ mồi nổ và lượng nổ chính, người ta đưa vào hệ số gọi là hệ số khúc xạ của sóng nổ K_{kx} khi truyền từ mồi nổ sang lượng nổ chính được tính dựa trên phép tính gần đúng âm học:

$$K_{kx} = \frac{2}{1 + \frac{\rho_{mn} D_{mn}}{\rho_{tn} D_{tn}}} \quad (6)$$

Dựa trên những luận điểm này, người ta đã đưa ra các biểu thức sau để tính các thông số hình học của mồi nổ như sau:

- Khi $h_{mn}/d_{mn} \geq 2,25$ (mồi nổ là lượng nổ dài):

$$d_{mn} = d_{tn} \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{\rho_{tn} D_{tn}}{\rho_{mn} D_{mn}} \right)} \quad (7)$$

- Khi $h_{mn}/d_{mn} < 2,25$ (mồi nổ là lượng nổ ngắn):

$$d_{mn} = d_{tn} \sqrt[3]{\frac{0,75}{x(1 - 0,444x + 0,0658x^2)} \left(1 + \frac{\rho_{tn} D_{tn}}{\rho_{mn} D_{mn}} \right)} \quad (8)$$

$$d_{mn} = d_{th} \sqrt[3]{\frac{\rho_{tn} D_{th}^2}{\rho_{mn} D_{mn}^2}} \quad (9)$$

Trong đó: $x = h_{mn}/d_{mn}$.

2.4. Phương pháp “sức mạnh cần thiết”

Theo các công trình [7], khi tính thông số mồi nổ đảm bảo kích thích quá trình nổ tốc độ cao trong ANFO cần phải đảm bảo rằng cường độ sóng nổ kích thích N_{mn} không thấp hơn

cường độ sóng nổ trong thuốc nổ được kích thích N_{mn} . Cường độ của sóng nổ đối với lượng nổ hình trụ là tích của lực tác dụng của sản phẩm nổ lên lượng nổ chính nhân với tốc độ nổ của thuốc nổ đó.

Cường độ sóng nổ kích thích bằng:

$$N_{mn} = \frac{m_{mn}}{h_{mn}} \cdot \frac{D_{mn}^3}{n_{mn} + 1} \cdot K_{kx} = \frac{\pi d_{mn}^2 \rho_{mn}}{4} \cdot \frac{D_{mn}^3}{n_{mn} + 1} \cdot K_{kx} \quad (10)$$

Trong đó: m_{mn} là khối lượng môi nổ, g; K_{kx} là hệ số khúc xạ của sóng nổ khi truyền từ môi nổ sang lượng nổ chính, được xác định theo công thức (6).

Cường độ sóng nổ trong thuốc nổ được kích thích bằng:

$$N_{in} = \frac{m_{in}}{h_{in}} \cdot \frac{D_{in}^3}{n_{in} + 1} = \frac{\pi d_{in}^2 \rho_{in}}{4} \cdot \frac{D_{in}^3}{n_{in} + 1} \quad (11)$$

Trong đó: m_{in} là khối lượng lượng nổ chính, g;

Xuất phát từ các biểu thức (9) – (10), đường kính tối thiểu của môi nổ là:

$$d_{mn} = d_{in} \frac{D_{in}}{D_{mn}} \sqrt{\frac{n_{mn} + 1}{n_{in} + 1} \left(\frac{1 + \frac{\rho_{in} D_{in}}{\rho_{mn} D_{mn}}}{2} \right)} \quad (12)$$

3. Xác định các thông số của môi nổ đối với thuốc nổ ANFO

ANFO là loại thuốc nổ công nghiệp được sử dụng rộng rãi nhất hiện nay ở nước ta, do đó nhu cầu sử dụng môi nổ cho ANFO cũng lớn nhất. Tác giả sử dụng 4 phương pháp nêu trong mục 2 để xác định đường kính tối thiểu của môi nổ. Chiều dài môi nổ được tính dựa trên giả thiết sử dụng lượng nổ dài giới hạn ($h/d = 2,25$). Khi đã biết đường kính, chiều dài và mật độ, sẽ tính được khối lượng môi nổ. Điều kiện tính toán môi nổ cho ANFO trong lỗ khoan ở đường kính tới hạn và các đường kính khác (100, 165, 200, 250 và 300 mm). Giá trị đường kính tới hạn của ANFO trong lỗ khoan được lấy là 32 mm [8], tốc độ nổ tới hạn là 2200 m/s, mật độ được lấy là 0.85 g/cm³ [9] còn chỉ số đa biến là 2,2 [10].

Để xác định tốc độ nổ lớn nhất của thuốc nổ ANFO theo đường kính lượng nổ, tác giả sử dụng công thức [11]:

$$D = D_i e^{\frac{b}{d^2}} \quad (13)$$

Trong đó: b là hằng số liên quan đến các đặc tính của thuốc nổ, mm²; D là tốc độ nổ ứng với đường kính lượng nổ d , m/s; D_i là tốc độ nổ lý tưởng của thuốc nổ. Đối với thuốc nổ ANFO nổ trong lỗ khoan: $b = -2800$ mm²; $D_i = 4856$ m/s. Lưu ý công thức (13) chỉ đúng trong phạm vi đường kính lỗ khoan từ 100 đến 300 mm.

Đại diện cho loại môi nổ thứ nhất (môi nổ mạnh) là MN-31 làm từ pentolit (50% TNT và 50% PETN) có mật độ 1,65 g/cm³, tốc độ nổ $D_{mn} = 7500$ m/s [12]. Đại diện cho loại môi nổ thứ hai là thuốc nổ nhũ tương năng lượng cao HPEX-01 có $\rho_{mn} = 1,25$ và $D_{mn} = 5600$ m/s [13]. Chỉ số đa biến của hai loại thuốc nổ này được tính bằng phần mềm EXPLOSION 2.0 [14] đối với pentolit là $n_{mn} = 3$, còn với HPEX-01 thì $n_{mn} = 3,3$. Kết quả tính toán các thông số môi nổ ở các đường kính khác nhau được trình bày trong Bảng 1. Lưu ý, phương pháp kinh nghiệm chỉ áp dụng đối với môi nổ làm từ HPEX-01 và ở đường kính tới hạn (32 mm) chỉ tính với môi nổ mạnh làm từ pentolit.

Bảng 2. Kết quả tính toán các thông số môi nổ cho thuốc nổ ANFO

Loại môi nổ	d_{tn} , mm	d_{mn} , mm	h_{mn} , mm	m_{mn} , g
Phương pháp kinh nghiệm				
HPEX-01	100	25	56	35
	165	118	266	3640
	200	175	394	11838
	250	241	542	30920
	300	292	656	54808
Phương pháp năng lượng				
MN-31	32	12	27	5
	100	54	121	450
	165	100	224	2878
	200	123	278	5474
	250	157	353	11245
	300	190	427	19970
HPEX-01	100	73	165	867
	165	136	306	5550
	200	168	379	10556
	250	214	482	21682
	300	259	583	38506
Phương pháp xung				
MN-31	32	27	60	54
	100	86	193	1808
	165	143	322	8441
	200	174	391	15149
	250	218	490	29769
	300	262	589	51613
HPEX-01	100	90	202	1597
	165	151	340	7601
	200	184	413	13694
	250	230	518	26987
	300	277	623	46866
Phương pháp sức mạnh tối thiểu				
MN-31	32	8	18	1,5
	100	43	97	237
	165	87	196	1915
	200	109	246	3806
	250	141	316	8091
	300	171	385	14641
HPEX-01	100	65	145	595
	165	131	295	4963
	200	165	371	9924
	250	212	478	21189
	300	259	583	38435

Từ kết quả trong Bảng 1 ta nhận thấy, khi tăng đường kính lỗ khoan thì yêu cầu đường kính môi nổ (làm từ thuốc nổ phá mạnh hay thuốc nổ nhũ tương năng lượng cao) cũng phải tăng lên tương ứng nhằm tăng diện tích tiếp xúc giữa sản phẩm nổ của môi nổ và thuốc nổ

trong lượng nổ chính. Kết quả tính toán cũng chỉ ra rằng, trong 3 phương pháp (năng lượng, xung và sức mạnh cần thiết) thì phương pháp xung đều cho đường kính mỗi nổ lớn hơn đáng kể so với hai phương pháp còn lại. Điều này là do xung lượng của sản phẩm nổ phụ thuộc vào khối lượng phần tích cực (và cuối cùng là phụ thuộc vào kích thước) mỗi nổ với cùng mức độ như phụ thuộc vào tốc độ nổ, trong khi năng lượng và cường độ sóng nổ lại phụ thuộc vào tốc độ nổ nhiều hơn so với kích thước mỗi nổ. Nhận định này được củng cố thêm khi so sánh kích thước mỗi nổ làm từ pentolit và HPEX-01 nhận được theo phương pháp xung không có sự chênh lệch nhiều như hai phương pháp còn lại.

Khi sử dụng thuốc nổ nhũ tương năng lượng cao HPEX-01 thay cho thuốc nổ phá mạnh pentolit, mỗi nổ phải có đường kính và khối lượng lớn hơn do tốc độ nổ, mật độ và năng lượng của HPEX-01 nhỏ hơn so với pentolit. Tuy nhiên, điều này hoàn toàn chấp nhận được do việc chế tạo HPEX-01 đơn giản hơn, giá thành rẻ hơn và an toàn hơn trong sản xuất, vận chuyển, bảo quản và sử dụng. Một điểm rất đáng lưu ý đó là, kết quả tính mỗi nổ làm từ HPEX-01 theo công thức kinh nghiệm lại cho kết quả khá gần (mặc dù lớn hơn) so với 3 phương pháp tính toán còn lại (trừ trường hợp đường kính 100 mm). Điều này chứng tỏ các phương pháp năng lượng, xung hay sức mạnh cần thiết cho kết quả tính toán mỗi nổ làm từ HPEX-01 sát với thực tế khai thác mỏ (tại Hoa Kỳ).

Ở nước ta hiện nay, để kích nổ ANFO, các đơn vị cũng sử dụng mỗi nổ năng lượng cao và HPEX-01. Khối lượng mỗi nổ tối thiểu là 175 g (với mỗi nổ năng lượng cao) và 6000 g (với mỗi nổ làm từ HPEX-01) hoặc kết hợp cả 2 loại mỗi nổ này tùy theo đường kính lỗ khoan. Nói chung, mỗi nổ như vậy đều có khối lượng nhỏ hơn so với khối lượng mỗi nổ tính toán (ngoại trừ trường hợp đường kính 100 mm sử dụng mỗi nổ HPEX-01 được xác định theo phương pháp kinh nghiệm chỉ là 35 g). Điều này được giải thích là do phương pháp tính toán dựa trên yêu cầu kích nổ ANFO để đạt được “tức thì” tốc độ nổ tối đa ứng với đường kính lỗ khoan nhất định. Khi khối lượng mỗi nổ nhỏ hơn giá trị này, lượng nổ chính cần có một đoạn “tăng tốc” tốc độ nổ. Khối lượng mỗi nổ càng nhỏ thì đoạn “tăng tốc” này càng lớn. Khi đó phần thuốc nổ sử dụng không hiệu quả càng cao do không giải phóng năng lượng triệt để. Do đó, cần hiệu chỉnh khối lượng (hay kích thước) mỗi nổ thông qua thực nghiệm trong phạm vi khối lượng và kích thước đã tính toán được với hàm mục tiêu là hiệu quả phá vỡ đất đá.

4. Kết luận

Như vậy, báo cáo đã hệ thống hóa 4 phương pháp tính toán thông số mỗi nổ để kích nổ ANFO nhằm đạt được tốc độ nổ tối đa theo đường kính lỗ khoan. Trong đó, phương pháp năng lượng được cải tiến bằng cách đưa thêm thông số đầu vào là chỉ số đa biến của sản phẩm nổ mỗi nổ và sản phẩm nổ ANFO. Đã khẳng định sự phụ thuộc của thông số mỗi nổ vào bản chất thuốc nổ làm mỗi nổ, ANFO, đường kính lỗ khoan, phù hợp với lý thuyết và thực nghiệm kích nổ đã biết. Kích thước mỗi nổ theo tính toán đối với mỗi nổ làm từ HPEX-01 khá phù hợp với kinh nghiệm sử dụng mỗi nổ tại Hoa Kỳ. Kết quả tính toán này là cơ sở khoa học rất quan trọng để lựa chọn kích thước mỗi nổ tại các đơn vị nổ mìn lộ thiên ở nước ta nhằm cải thiện hiệu quả phá vỡ đất đá.

Đóng góp của tác giả

Đàm Quang Sang – Xây dựng phương pháp tính, thực hiện tính toán và viết bản thảo bài báo;
Nguyễn Văn Tính – Phối hợp xây dựng phương pháp tính toán; Hoàng Trung Hữu – Phối hợp thực hiện tính toán; Trần Văn Dũng – Cung cấp số liệu thực tế về hoạt động nổ mìn lộ thiên;

Nguyễn Ngân – Kiểm chứng kết quả tính toán với thực tế khai thác; Trần Quang Hiếu - Đánh giá và chỉnh sửa.

Tài liệu tham khảo

1. Демидов, Г.А. (1968). *Основы теории горения и взрыва*. ПБАИУ. Пенза. 476 с.
2. Cooper, P.W. (1996). *Explosives Engineering*. Wiley-VCH. New York, 460 pages.
3. Кук, М.А. (1980). *Наука о промышленных ВВ*. (Пер. с англ. под ред. Демидюка, Г.П. и Бахаревиц, Н.С.). Недра. Москва. 453 с.
4. Барон, В.Л., Кантор, В.Х. (1989). *Техника и технология взрывных работ в США*. Недра. Москва. 376 с.
5. Дубнов, Л.В., Бахаревиц, Н.С., Романов, А.И. (1988). *Промышленные взрывчатые вещества*. Недра. Москва. 358 с.
6. Друкованый, М.Ф. (1973). *Методы управления взрывом на карьерах*. Недра. Москва. 416 с.
7. Калякин, С.А., Прокопенко, В.С. (2012). Обоснование числа промежуточных детонаторов для инициирования простейших взрывчатых веществ. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва* (10), 40-47.
8. National Park Service. (1999). *Handbook for the Storage, Transportation, and Use of Explosives*. 224 pages.
9. Поздняков З. Г., Росси Б. Д. (1977). *Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания*. Недра. Москва. 253 с.
10. Кутузов, Б.Н., Горинов С.А. (2010). Расчет детонационных параметров аммиачно-селитренных ВВ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 6, 40-49.
11. Chen, G., Sun, C., & Later, D. W. (2001). Analysis of the Effect of Borehole Size on Explosive Energy Loss in Rock Blasting. *Fragblast*, 5(4), 235–246. doi:10.1076/frag.5.4.235.3618.
12. Thông tư số 45/2013/TT-BCT Quy định Danh mục vật liệu nổ công nghiệp được phép sản xuất, kinh doanh và sử dụng tại Việt Nam. https://moit.gov.vn/upload/2005517/20210623/_TT45-2013-BCT.pdf
13. Thuốc nổ nhũ tương năng lượng cao dùng cho mỏ lộ thiên HPEx - 01. <https://micconambo.com/product/thuoc-no-nhu-tuong-nang-luong-cao-dung-cho-mo-lo-thien-hpex-01/>
14. Đàm Quang Sang và nnk. (2015). Phát triển phần mềm “EXPLOSION 2.0” để dự đoán đặc trưng của thuốc nổ công nghiệp. *Tạp chí Công nghiệp mỏ*, 29(5), 67-70.