



NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT NỔ MÌN AN TOÀN VÀ THÂN THIỆN VỚI MÔI TRƯỜNG

Lê Ngọc Ninh

Hội Kỹ thuật nổ mìn Việt Nam, 18 Phố Viên, Hà Nội Hà Nội, Việt Nam.

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 30/01/2026

Ngày nhận bài sửa: 28/4/2026

Ngày chấp nhận đăng: 05/5/2026

Tác giả liên hệ:

Email: ninhcucthamdinh@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo này đưa ra kết quả nghiên cứu kỹ thuật nổ mìn an toàn và thân thiện với môi trường bằng cách thay đổi kết cấu cấu trúc lượng thuốc nổ trong lỗ khoan lớn (102 mm – 200 mm) và phương pháp xác định các thông số của cấu trúc lượng thuốc trong lỗ khoan, búa mìn nhằm nâng cao hiệu quả nổ mìn là rất cần thiết, nhằm đáp ứng nhu cầu của thực tế hiện tại và tương lai ở nước ta. Tuy nhiên, khi tiến hành nổ mìn, các kỹ sư thiết kế cần phải xem xét kỹ tình trạng đất đá và điều kiện địa chất của khu vực cần nổ mà lựa chọn cấu trúc lượng thuốc cho phù hợp. Ngoài việc lựa chọn cấu trúc lượng thuốc, chúng tôi cũng khuyến nghị cần sử dụng các sơ đồ nổ vi sai điện và phi điện mới đem lại hiệu quả cao khi tiến hành nổ mìn bằng lỗ khoan lớn.

Từ khóa: nổ mìn, nổ mìn an toàn, môi trường

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, ở Việt Nam, có nhiều mỏ nằm sát gần khu dân cư hoặc các công trình cần được bảo vệ (miếu, đình, chùa, nhà máy, đập tràn, đê điều, cầu cống,...) với khoảng cách tính từ vị trí nổ chỉ một vài ba trăm mét, thậm chí nhỏ hơn 100 mét. Với khoảng cách nhỏ như vậy, nếu đem so sánh với QCVN 01:2019/BCT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ thì hầu hết các vụ nổ đều chưa đáp ứng yêu cầu của Quy chuẩn này. Trong thực tế, và qua các phương tiện truyền thông cho thấy, tại nhiều mỏ hay công trình có sử dụng vật liệu nổ công nghiệp nằm gần dân cư hoặc các công trình cần được bảo vệ thường xảy ra các vụ tranh chấp, kiện tụng của tập thể, các hộ dân với doanh nghiệp.

Mặt khác, trong kỹ thuật khai thác lộ thiên, xây dựng nhà máy thủy điện, nếu doanh nghiệp không vận dụng các kiến thức về nổ mìn hiện đại thì dù vụ nổ có khối lượng nhỏ đến vài trăm kg cũng có

thể gây chấn động, bụi và đá văng hơn nhiều lần so với vụ nổ đến mười tấn.

Hiện nay, qua khảo sát, điều tra cho thấy, rất nhiều mỏ, hay các công trình nhà máy thủy điện nằm sát gần khu vực dân cư nên khi nổ mìn thường gây ảnh hưởng về chấn động, đá văng và bụi đến đời sống và phát triển kinh tế của người dân sống xung quanh. Tuy nhiên, vì những lý do xã hội và sự sống còn của các doanh nghiệp, buộc các dự án vẫn phải hoạt động. Vì vậy, vấn đề tranh chấp vẫn thường xuyên xảy ra, làm ảnh hưởng không những đến sản xuất mà còn đến đến trật tự an ninh xã hội...

Để giải quyết vấn đề này một cách thỏa đáng và hợp lý, trong bài báo này, tác giả đã tiến hành nghiên cứu, thu thập và giới thiệu một cách tương đối đầy đủ về kỹ thuật nổ mìn, được coi là công nghệ nổ mìn hiện đại, an toàn thân thiện với môi trường, đáp ứng nhu cầu của các kỹ sư thiết kế cũng cũng như những người làm công tác nổ mìn bảo đảm an toàn, môi trường và hiệu quả kinh tế khi tiến hành nổ mìn tại các mỏ nằm sát gần dân cư hoặc các công trình cần được bảo vệ.



2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mức độ chấn động

Để nổ mìn giảm tối đa chấn động khi vụ nổ nằm sát gần các nhà dân hoặc công trình cần được bảo vệ với khoảng cách 100÷300 m thì mức độ chấn động khi nổ cao nhất chỉ nên nằm trong

khoảng động đất cấp 3 (3÷8 mm/s). Tuy nhiên, trong thực tế nếu vụ nổ không có dân cư ở xung quanh mà chỉ có các công trình cần được bảo vệ (miếu, đình, chùa, nhà máy, đập tràn, đê điều, cầu cống,...) thì mức độ chấn động khi nổ cao nhất chỉ nên nằm trong khoảng động đất cấp 4 (9÷15 mm/s) (Bảng 1).

Bảng 1. Bảng quy đổi từ đơn vị đo sóng chấn động nổ mìn ra thang cấp động đất quốc tế MSK-64

TT	Mức độ sóng chấn động nổ mìn nằm trong giới hạn từ	Thang cấp động đất quốc tế MSK-64	So với cảm nhận của con người và mức độ hư hại	QCVN 02:2008/BCT Quy định về sóng chấn động
1	< 1 mm/s	Cấp 1	Không cảm thấy, chỉ ghi được bằng máy	-Tối đa 19 mm/s với khoảng cách từ 1524 mét trở lên
2	2÷3 mm/s	Cấp 2	Rung rất yếu. Chỉ cảm thấy trong những trường hợp đặc biệt khi hoàn toàn yên tĩnh	
3	3÷8 mm/s	Cấp 3	Rung yếu. Chỉ cảm thấy như có một chiếc xe tải nhỏ đi qua nhà	
4	9÷15 mm/s	Cấp 4	Rung vừa phải. Sàn nhà kêu cọt kẹt, bát đĩa, cốc tách kêu lách cách, có cảm giác như một chiếc xe tải hạng nặng đi qua.	-Tối đa 31,75 mm/s với khoảng cách từ 0 đến 91,4 mét
5	16÷30 mm/s	Cấp 5	Rung mạnh, cửa kính bị vỡ, ngói có thể rơi, đồ phích nước...mọi người đều thức dậy.	
6	31÷60 mm/s	Cấp 6	Rung khá mạnh, các vật trên nhà rơi xuống. Mọi người hoảng sợ chạy ra đường	
7	61÷120 mm/s	Cấp 7	Rung rất mạnh, nhà cấp 4 đổ, nhà cấp 1 nứt nẻ tường mạnh, mực nước trong giếng biến đổi, đất đá có thể sụt lở	-Tối đa 25,4 mm/s với khoảng cách đo từ 92 ÷ 524 m
8	121÷240 mm/s	Cấp 8	Các tượng đài bị xô dịch hoặc rơi xuống, nhà cao tầng bị phá hủy từng phần, các ống khói sụp đổ hoàn toàn.	
9	241÷480 mm/s	Cấp 9	Tàn phá gần như hoàn toàn, mặt đất biến dạng và nứt nẻ rộng	
10	481÷960 mm/s	Cấp 10	Hủy diệt, đường sắt bị uốn quăn, đe đập bị phá hủy hoàn toàn	
11	> 960 mm/s	Cấp 11	Tai biến, tất cả các công trình hầu như bị phá hủy hoàn toàn.	
12	-	Cấp 12	Tai họa, mặt đất bị biến dạng, các vật bị ném đi rất xa hoặc bị vùi lấp sâu trong lòng đất	



Như chúng ta đã biết, theo quy định trong QCVN 01:2019/BCT, các công thức áp dụng để tính khoảng cách an toàn về chấn động khi nổ mìn, khoảng cách an toàn về tác động của sóng không khí chỉ đúng trong trường hợp nổ mìn đồng thời các phát mìn (nổ tức thời) và khối lượng thuốc nổ tính cho cả bãi mìn chính là tổng lượng thuốc nạp cho cả bãi mìn (Q). Vì vậy, nếu vụ nổ có khối lượng thuốc nổ hàng tấn thì khi áp dụng để tính toán các khoảng cách an toàn sẽ không còn phù hợp với thực tế, do trị số quá lớn, ví dụ, để tính khoảng cách an toàn về chấn động đối với nhà và công trình khi nổ mìn tập trung áp dụng theo công thức sau:

$$r_c = K_c \cdot \alpha^3 \cdot \sqrt{Q}, \text{ m} \quad (1)$$

Trong đó: r_c - Khoảng cách an toàn, m; K_c - Hệ số phụ thuộc vào tính chất đất nền của công trình cần bảo vệ; $K_c = 3$ (Trong đá nguyên); $K_c = 5$ (Trong đá bị phá hủy); $K_c = 7$ (Trong đất lẫn sỏi và đá dăm); $K_c = 8$ (Trong đất cát); $K_c = 9$ (Trong đất sét); $K_c = 15$ (Trong đất đất lấp và đất mặt thực vật); $K_c = 20$ (Trong đất bão hòa nước); α - Hệ số phụ thuộc vào chỉ số tác động nổ n ; $\alpha = 1,2$ khi phá ngầm và $n \leq 0,5$; $\alpha = 1$, khi $n = 1,0$; $\alpha = 0,8$ (hi $n = 2$; $\alpha = 0,6$ khi $n = 3$; Q - Khối lượng toàn bộ của phát mìn, kg.

Trong thực tế, các nhà dân thường xây dựng trên nền đất yếu và các vụ nổ lỗ khoan lớn thường đạt chỉ số tác dụng nổ $n \geq 1$, do đó, với khối lượng thuốc nổ hàng ngàn kg thì khoảng cách an toàn về chấn động đều lớn, không thể áp dụng cho các mỏ sử dụng lỗ khoan (102÷200 mm) lớn nằm sát gần khu dân cư hoặc các công trình cần được bảo vệ.

2.2. Về sóng và đập không khí

Cũng theo QCVN 01:2019/BCT, khi tính khoảng cách an toàn về tác động của sóng không khí để sóng không khí sinh ra do nổ mìn ở trên mặt đất, không còn đủ cường độ gây tác hại tính theo công thức:

$$r_s = k_s \cdot \sqrt{Q}, \text{ m} \quad (2)$$

$$R_s = K_s \cdot \sqrt[3]{Q}, \text{ m} \quad (3)$$

Trong đó: r_s, R_s - Các khoảng cách an toàn về tác động của sóng không khí, m; Q - Tổng số khối thuốc nổ, kg; k_s, K_s - Các hệ số phụ thuộc vào các điều kiện phân bố vị trí độ lớn phát mìn, mức độ hư hại.

Dùng công thức (3) trong các điều kiện sau đây: Khi khối thuốc $Q \geq 10$ tấn để trên mặt đất và thuộc bậc 1, 2, 3 về an toàn (xem Bảng 1); khi khối thuốc $Q \leq 20$ tấn đặt ngầm và thuộc bậc 1, 2 về an toàn. Dùng công thức (2) với tất cả bậc an toàn còn lại. Các hệ số k_s, K_s để tính khoảng cách an toàn về tác động của sóng không khí do nổ gây ra cần tham khảo tại Bảng 2.

Rõ ràng, khi nổ với khối lượng thuốc $Q < 10.000$ kg thì khoảng cách an toàn về sóng và đập không khí là rất lớn, không phù hợp và gây khó khăn cho các doanh nghiệp khi tiến hành nổ mìn cho các mỏ nằm sát gần dân cư. Thực nghiệm cho thấy rằng: sóng đập không khí có tác hại rất lớn đến con người, động vật và các công trình xung quanh khu vực nổ mìn. Khi thời hạn tác dụng của sóng đập không khí đạt 20÷200 ms, chu kỳ dao động riêng của cơ thể con người được so sánh với thời gian tác dụng của sóng. Trong những trường hợp như vậy, áp lực trên mặt sóng có thể gây chấn thương. Với áp lực quá 35 kPa, màng nhĩ con người bị thủng. Khi áp lực quá 100 kPa, bắp cơ bị tê liệt. áp lực an toàn với cơ thể con người là 10 KPa. Sóng đập không khí không những nguy hiểm do áp lực mà còn do tốc độ của dòng khí sau mặt sóng. Khi áp lực đạt 10 MPa, tốc độ vượt quá 20 m/s và thời hạn tác dụng của dòng vượt quá thời gian phản ứng của con người (200÷350 ms) thì con người và động vật bị quật ngã. Do đó cần phải nghiên cứu tìm cách để có thể áp dụng cách tích theo công thức (2) và (3) cho phù hợp với các vụ nổ sử dụng lỗ khoan lớn nằm sát gần khu dân cư hoặc các công trình cần được bảo vệ.

Bảng 2. Các hệ số k_s, K_s để tính khoảng cách an toàn về tác động của sóng không khí

Bậc an toàn	Khả năng hư hỏng có thể gây ra do nổ	Phát thuốc lộ thiên			Phát thuốc ngầm bằng chiều cao phát thuốc			Phát thuốc khi có $n=3$
		Q, tấn	k_s	K_s	Q, tấn	k_s	K_s	K_s
I	Không xảy ra hư hỏng gì	< 10 ≥10	50÷150 -	- 400	<20 ≥20	20÷50 -	- 200	3÷10 -
II	Hư hại ngẫu nhiên	<10 ≥10	10÷30 -	- 100	<20 ≥20	5÷12 -	- 50	- 1÷2

Bậc an toàn	Khả năng hư hỏng có thể gây ra do nổ	Phát thuốc lộ thiên			Phát thuốc ngầm bằng chiều cao phát thuốc			Phát thuốc khi có n=3
		Q, tấn	ks	Ks	Q, tấn	ks	Ks	Ks
III	Phá hủy hoàn toàn kính từng phần khung, cửa vữa trát tường ngăn nhà	< 10 ≥10	5÷8 -	- 30÷50	- -	- 2÷4	- -	- 0,5÷4
IV	Phá hủy tường ngăn, bên trong cửa khung, nhà kho	-	2÷4	-	-	1÷2	-	Phá hủy trong phạm vi phổ nổ
V	Phá hủy nhà gỗ, nhà gạch không chắc chắn, lật đổ đoàn tàu trên đường sắt	-	1,5÷2	-	-	0,5÷1	-	-
VI	Đổ các tường gạch chắc, phá hủy hoàn toàn công trình kỹ thuật, làm hư hỏng các đầu đường sắt và nền đường sắt	-	1,4		Phá hủy trong phạm vi phổ nổ			

2.3. Về vấn đề đá văng xa khi nổ mìn

Cũng theo QCVN 01:2019/BCT, khi nổ mìn định hướng và nổ mìn văng xa bán kính nguy hiểm (khoảng cách tối thiểu đảm bảo an toàn) do mảnh đất đá văng đối với người và thiết bị, công trình phụ thuộc vào chỉ số tác động n của phát mìn và trị số

đường cản ngắn nhất w. Khi nổ một phát mìn thì trị số bán kính vùng nguy hiểm tra ở Bảng 3. Khi tiến hành nổ ở sườn đồi có độ dốc nhỏ hơn 30° hoặc chỗ cao hơn vùng xung quanh không nhỏ hơn 30 m thì bán kính vùng nguy hiểm ở bảng 3 phải tăng lên 1,5 lần về phía xuống dốc.

Bảng 3. Bán kính vùng nguy hiểm do mảnh đá văng xa khí nổ mìn định hướng và nổ mìn văng xa

Đường cản ngắn nhất w, m	Chỉ số tác động của phát mìn (n)							
	1,0	1,5	2,0	2,5 + 3	1,0	1,5	2,0	2,5 - 3
	Bán kính vùng nguy hiểm, m							
	Đối với người				Đối với thiết bị, công trình			
1,5	200	300	350	400	100	150	250	300
2,0	200	400	500	600	100	200	350	400
4,0	300	500	700	800	150	250	500	550
6,0	300	600	800	1000	150	300	550	650
8,0	400	600	800	100	200	300	600	700
10,0	500	700	900	1000	250	400	600	700
12,0	500	700	900	1 200	250	400	700	800
15,0	600	800	1 000	1 200	300	400	700	800
20,0	700	800	1 200	1 500	350	400	800	1 000
25,0	800	1 000	1 500	1 800	400	500	1 000	1 000
30,0	800	1 000	1 700	2 000	400	500	1 000	1 200

Khi nổ mìn làm tơi đất đá (chỉ số tác động nổ $n < 1$) thì bán kính vùng nguy hiểm do đất đá văng được xác định như sau: Trong số các phát mìn của loạt nổ, chọn phát mìn có đường cản ngắn nhất - đạt giá trị lớn nhất w_{max} từ đó tìm được đường cản ngắn nhất qui ước theo $w_{qu} = [(5/7) \cdot w_{max}]$. Căn cứ

vào trị giá w_{qu} để xác định giá trị bán kính vùng nguy hiểm.

Khi nổ mìn các lỗ khoan lớn để làm tơi đất đá, bán kính vùng nguy hiểm do đá văng R được xác định theo công thức (9)

$$R = \frac{2d}{\sqrt{W}}, m \quad (9)$$

$$W' = C \sin \alpha + L \cos \alpha$$

Trong đó: d - Đường kính của phát mìn, m; w' - Chiều sâu nhỏ nhất của phát mìn là đường ngắn

nhất tính từ điểm phía trên của phát mìn đến mặt tự do, m; C - Khoảng cách từ miệng lỗ khoan đến mép tầng, m; L - Chiều dài nút lỗ, m; α - Góc nghiêng của sườn tầng với mặt phẳng ngang, độ.

Trị số bán kính vùng nguy hiểm theo công thức (9) tính được trong Bảng 4.

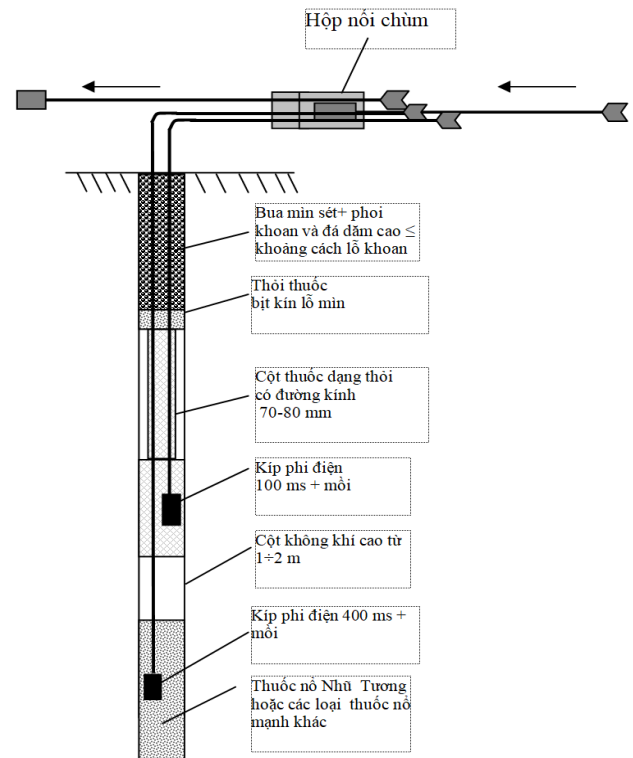
Bảng 4. Trị số bán kính vùng nguy hiểm khi nổ mìn lỗ khoan lớn

Chiều sâu nhỏ nhất của phát mìn W' (m)	Đường kính của phát mìn, mm					
	100	150	200	250	300	400
	Bán kính vùng nguy hiểm, m					
1	200	300	400	500	-	-
1,5	200	250	330	420	500	-
2	200	200	280	360	430	-
3	200	200	240	300	350	470
4	200	200	200	250	300	400

2.4. Thay đổi cấu trúc lượng thuốc nổ và búa mìn trong lỗ khoan

Như chúng ta đã biết, cấu trúc lượng thuốc trong lỗ khoan là trật tự sắp xếp hay cách bố trí lượng thuốc trong lỗ khoan nhằm đảm bảo sự kích nổ hoàn toàn, nâng cao chất lượng và đảm bảo mức độ đập vỡ đất đá theo yêu cầu. Thay đổi cấu trúc lượng thuốc là sử dụng các đường kính lượng thuốc khác nhau cùng trong 1 lỗ khoan hoặc nổ phối hợp 2÷3 loại thuốc nổ trong cùng 1 lỗ khoan.

Đối với lượng thuốc dài nạp liên tục, khi thay đổi cấu trúc của nó (kết cấu, chiều cao, đường kính, hình dạng...) sẽ làm thay đổi một phần cơ chế phá hủy đất đá của lượng thuốc nổ trong lỗ mìn, đồng thời kéo theo sự thay đổi về búa mìn nạp trong lỗ khoan. Do đó, búa mìn cũng là một thông số liên quan đến cấu trúc của lượng thuốc nổ. Trong thực tế, tùy thuộc vào loại đất đá cần phá nổ, điều kiện địa chất khu vực cần nổ mà chúng ta có thể xem xét để thay đổi cấu trúc lượng thuốc, loại chất nổ trong lỗ khoan và xác định các thông số của lỗ mìn cho hợp lý. Tuy nhiên, chiều dài cột búa về phía miệng lỗ mìn cần phải tính theo một nguyên tắc nhất định. Do vậy, để tận dụng được năng lượng hữu ích của thuốc nổ một cách tối đa và búa không bị phụt sớm, ta phải thay đổi vật liệu làm búa. Sau đây tác giả xin giới thiệu “Sơ đồ cấu trúc lượng thuốc nổ trong lỗ khoan và búa mìn” đang được áp dụng tại nhiều mỏ nằm gần khu vực dân cư hoặc các công trình cần được bảo vệ từ kết quả nghiên cứu và nổ thực nghiệm (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc lượng thuốc nổ trong lỗ khoan và búa mìn

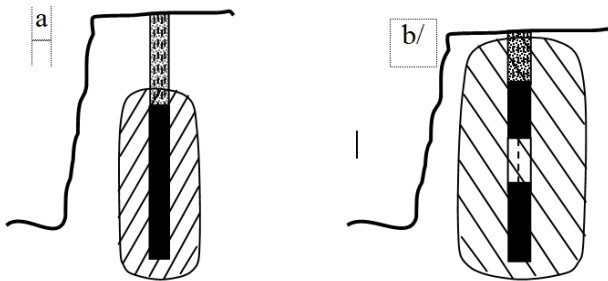
2.5. Xác định các thông số của cấu trúc lượng thuốc trong lỗ khoan

Có 16 kiểu cấu trúc lượng thuốc trong lỗ khoan lớn. Sau đây là một số phương pháp xác định các thông số của cấu trúc lượng thuốc điển hình và

đang được áp dụng nhiều nhất trên các mỏ lộ thiên.

2.5.1. Phương pháp nổ mìn với lượng thuốc được nạp phân đoạn bằng lưu cột không khí

Lý thuyết và thực tiễn đã chứng minh rằng: cùng một chỉ tiêu phá đá và chỉ tiêu thuốc nổ, nổ phân đoạn lượng thuốc có khả năng cải thiện chất lượng đập vỡ so với lượng thuốc liên tục do vùng đập vỡ điều chỉnh được tăng lên (Hình 2). Thông thường, lượng thuốc nổ được phân vào phần khó nổ nhất trong đất đá không đồng nhất. Mỗi phần của lượng thuốc trong lỗ được khởi nổ bằng một mìn riêng để bảo đảm sự kích nổ ổn định. Có thể nổ đồng loạt hoặc nổ vi sai các lượng thuốc trong lỗ, nhờ các loại kíp thường và kíp vi sai... Vật liệu dùng để phân đoạn là đất đá, nước và không khí. Theo những số liệu của viện sĩ N.V Mennhikov và tiến sĩ L.N Martrenko thì nổ mìn phân đoạn không khí có khả năng cải thiện chất lượng đập vỡ đất đá tốt hơn.



Hình 2. Vùng đập vỡ điều chỉnh khi nổ phân đoạn lượng thuốc bằng lưu cột không khí
a - Lượng thuốc liên tục; b - Phân đoạn bằng lưu cột không khí

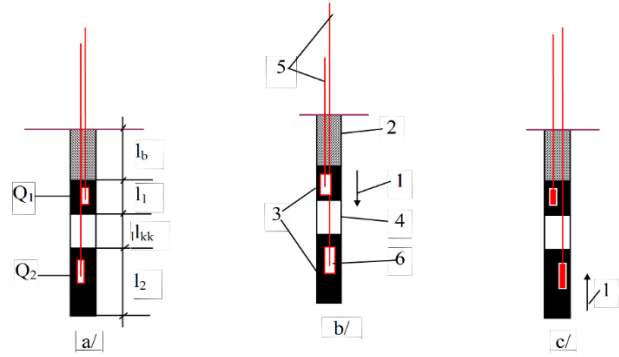
Trong thực tế, người ta thường đặt cột không khí giữa hai lượng thuốc trên và dưới. Khi tính toán, người ta quan tâm nhiều đến chiều dài cột không khí l_{kk} , chiều dài (l_1), (l_2) của lượng thuốc phía trên Q_1 , phía dưới Q_2 , tỷ số $\eta = Q_1/(Q_1+Q_2)$ và chiều dài của đoạn bua trên cùng l_b (Hình 3)

2.5.2. Xác định chiều cao cột không khí

Theo kinh nghiệm, nhiều tác giả đã đưa ra các công thức viết dưới dạng đơn giản hoặc phức tạp. Theo công thức của N.V. Mennhikov (1963) ta có:

$$l_{kk} = k_{\beta} \cdot (0,15 \div 0,35) \cdot l_t, \text{ m.} \quad (10)$$

Trong đó: $k_{\beta} = 1,0 \div 1,5$ - Hệ số phụ thuộc vào góc nghiêng lỗ khoan β và hệ số kiên cố đất đá f ; l_t - chiều dài lượng thuốc phía dưới.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc và xác định thông số của lỗ mìn khi nổ với lượng thuốc được phân đoạn bằng lưu cột không khí

a - Nổ đồng thời; b - Nổ vi sai từ trên xuống; c - Nổ vi sai từ dưới lên; 1 - Hướng khởi nổ; 2 - Bua vật liệu rắn; 3 - Lượng thuốc nổ trên và dưới; 4 - Cột không khí; 5 - Dây dẫn sóng nổ và kíp phi điện vi sai; 6 - Khối mìn nổ

Một số tác giả khác đã đưa ra công thức tính đơn giản khác như sau:

- Khi đất đá mềm yếu:

$$l_{kk} = (0,3 \div 0,4) \cdot l_t, \text{ m.} \quad (11)$$

- Khi đất đá cứng:

$$l_{kk} = (0,15 \div 0,2) \cdot l_t, \text{ m.} \quad (12)$$

Theo M.F. Đrukovanuri (1973):

$$l_{kk} = t_1 (2P_0)^{1/2} \cdot (V_1 - V_0)^{(k-1)/2} \cdot \lambda^{-1} \cdot [(k-1) \rho_{cn}]^{1/2} \cdot V_1^{-(k-1)/2}, \text{ m} \quad (13)$$

Trong đó: t_1 - Thời gian tác dụng của xung lượng nổ; P_0 - Áp lực ban đầu trong buồng nổ lượng thuốc liên tục tương đương; λ - Hệ số áp lực; V_1, V_0 - Thể tích của buồng nổ trước và sau quá trình đoạn nhiệt; k - Chỉ số đoạn nhiệt; ρ_{cn} - Mật độ của chất nổ.

2.5.3. Xác định độ lớn của các phần lượng thuốc

Để tính toán tỷ số $\eta = Q_2/(Q_1+Q_2)$ như trên Hình 3, có khoảng trên 10 công thức tính, điển hình là công thức của N.V. Mennhikov và L.N. Marchenko (1963):

$$\eta = Q_2/(Q_1+Q_2) = 0,6 \div 0,7 \quad (14)$$

Một số tác giả đề nghị tính tỷ số:

$$\eta = Q_1/(Q_1+Q_2) = 0,25 \div 0,35 \quad (15)$$

- Theo M.X. Acaev và B.G. Tregubov (1974), đề nghị tính:

$$l_1 = 0,4 \cdot D \cdot (2W \cdot V_{tb} - C_2 \cdot d) \cdot (C_2 \cdot V_{tb})^{-1} \quad (16)$$

$$l_2 = 1,2 \cdot W \cdot D \cdot C_2^{-1} \quad (17)$$

Trong đó: D - Tốc độ kích nổ của chất nổ; V_{tb} - Tốc độ dịch chuyển trung bình của biên giới buồng nổ; C_2 - Tốc độ âm thanh trong đá; d - Đường kính lỗ mìn.

Trong thực tế, việc xác định các thông số đưa ra ở trên rất phức tạp và khó áp dụng cho những người thi công. Vì vậy, trên cơ sở các công thức trên và qua nhiều lần nổ thực nghiệm, chúng tôi đưa cách xác định như sau:

- Khi đất đá phía trên mềm yếu, nứt nẻ, dễ nổ mìn, tỷ số lượng thuốc

$$Q_1/Q_2=2/3. \quad (18)$$

- Khi đất đá của tầng đồng nhất ít nứt nẻ tỷ số chiều cao

$$Q_1/Q_2=3/4. \quad (19)$$

Trong đó, tổng lượng thuốc Q_0 trong lỗ khoan được tính như sau: Gọi Q là lượng thuốc toàn bộ trong lỗ khoan đã được tính toán và đảm bảo có thể phá nổ hết phần khối đá do lỗ khoan đảm nhận, P là sức chứa thuốc nổ trong 1 mét lỗ khoan, kg/m, ta có:

$$Q_0=Q-P \times l_{kk}=Q_1+Q_2 \quad (20)$$

Khi nổ phân đoạn không khí, khoảng trống không khí làm thay đổi đặc tính tác dụng nổ:

+ Giảm được mật độ nạp trong lỗ khoan và áp lực ban đầu của sản phẩm khí nổ ở mặt tiếp xúc giữa đất đá với lượng thuốc, do đó giảm được sự nghiền nát đất đá ở vùng gần lượng thuốc. Khi nổ lượng thuốc phía trên hãm sản phẩm nổ của lượng thuốc phía dưới nên làm tăng thời gian tác dụng nổ trong đá;

+ Xung lượng nổ của phần năng lượng để nghiền nát đất đá giảm đi, hệ số sử dụng năng lượng để đập vỡ đất ở vùng xa lượng thuốc tăng lên, do vậy đất đá được đập vỡ đều đặn hơn.

+ Trong khoảng không khí ở lỗ khoan xảy ra sự va chạm nhau của hai dòng khí nổ, dẫn đến tăng áp lực và đập vỡ đất đá đều đặn hơn tại vị trí lỗ khoan không nạp thuốc.

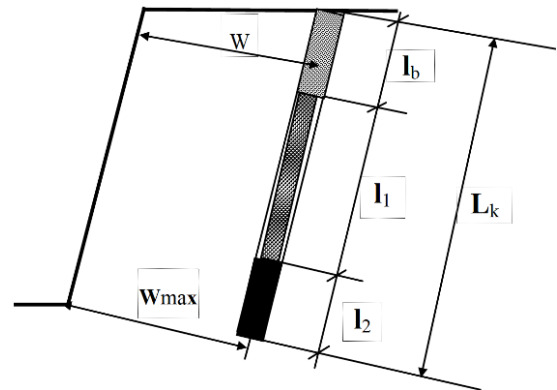
Nhìn chung, khi nổ mìn phân đoạn đều có nhiều ưu điểm về hiệu quả đập vỡ sau khi nổ nhưng có nhược điểm là thời gian thi công tương đối lâu, khó cơ giới hoá phần nạp và giảm năng suất lao động của thợ mìn. Chỉ áp dụng hợp lý cho các vụ nổ có quy mô nhỏ

2.5.4. Phương pháp nổ mìn với lỗ khoan nghiêng được nạp bởi hai loại thuốc nổ phía trên và phía đáy

2.5.4.1. Với lỗ khoan nghiêng

Hiện nay trên thế giới, các nước như Thụy Điển, Tây Ban Nha, Mỹ, Nga... đã và đang ứng dụng phương pháp nổ mìn với lượng thuốc được

cấu trúc bởi hai chủng loại thuốc nổ trong lỗ khoan nhằm điều chỉnh mức độ đập vỡ cho từng phần đất đá trên suốt chiều cao của tầng. Từ những năm 1990, ở Thụy Điển người ta đã sử dụng phương pháp nổ này, với lượng thuốc nạp phía đáy lỗ khoan là các loại của thuốc nổ nhũ tương (EMULSIONS) hoặc WATERGEL và lượng thuốc nạp phía trên là thuốc nổ ANFO. Nghiên cứu về vấn đề này, tác giả Stig. O Olofsson (Thụy Điển) đã đưa ra một số thông số thực nghiệm khi tiến hành nổ mìn khai thác đá với các lỗ khoan nghiêng (Hình 4).



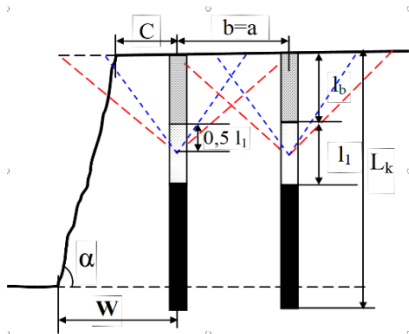
Hình 4. Sơ đồ lỗ khoan nghiêng được nạp bởi hai loại thuốc nổ và cách xác định các thông số của lỗ mìn theo Stig.Olofsson (Thụy Điển)

l_b - Chiều dài cột bua, với $l_b=W$; l_1 - Chiều dài lượng thuốc nạp phía trên. Thông thường lượng thuốc phía trên là ANFO và chiều cao (l_1) được tính: $l_1=L_k - l_b - l_2$; L_k - Chiều dài lỗ khoan, m; l_2 - Chiều dài lượng thuốc nạp phía đáy lỗ khoan; $l_2=1,3.W_{max}$; W_{max} - Đường kính chân tầng, m; $W_{max}=W+E$; E - Sai số kể đến hướng khoan và đường kính của lỗ khoan. $E=d/1000+0,3.L_k$

2.5.4.2. Với lỗ khoan đứng

Ở Việt Nam và nhiều nước khác thường sử dụng lỗ khoan đứng. Từ những năm 2000 Việt Nam đã và đang áp dụng phương pháp nổ phối hợp 2 loại thuốc nổ trong lỗ khoan. Năm 2005, TS. Lê Ngọc Ninh đã đưa ra phương pháp xác định các thông số của lượng thuốc nổ phối hợp trong lỗ khoan đứng theo một số cách khác nhau. Sau đây, chúng tôi giới thiệu phương pháp đặc trưng nhất:

Gọi l_1 là chiều cao cột thuốc nổ nạp phía trên (thường là ANFO, SOFANIT, AD-1...) và l_2 là chiều cao cột thuốc nổ đáy (thường là nhũ tương hoặc các loại thuốc nổ mạnh khác), ta có:



Hình 5. Sơ đồ lỗ khoan đứng được nạp bởi hai loại thuốc nổ và cách xác định các thông số của lỗ mìn (Lê Ngọc Ninh)

k - Hệ số kể đến hình thành phần nổ phía trên $k \geq 1$; l_b - Chiều dài cột bua, m; a - khoảng cách giữa các lỗ khoan, m; d - đường kính lỗ khoan; q_t - Chỉ tiêu thuốc nổ tính toán, kg/m^3 ; Δ - mật độ thuốc nổ nạp trong lỗ khoan, kg/m^3 .

Chiều dài cột bua được tính theo công thức của tác giả xây dựng:

$$l_1 = \frac{4l_b k^2 a^2 q_t}{3d^2 \Delta - 2k^2 a^2 q_t} \quad (21)$$

$$l_b \geq a - \frac{2a^3 q_t}{\pi d^2 \Delta}, m \quad (22)$$

Sau khi xác định được l_1 và l_b ta sẽ tính được giá trị l_2

2.5.5. Phương pháp nổ mìn với lượng thuốc nổ có đường kính khác nhau trong lỗ khoan

Trong khuôn khổ của bài báo, chúng tôi chỉ trình bày phương pháp xác định thông số của cấu trúc lượng thuốc điển hình nhất trên Hình 6, ta có:

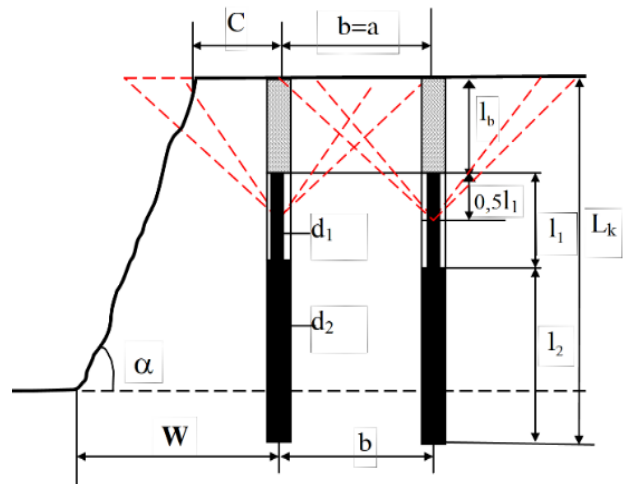
Với $l_1 \geq 2(a - l_b)$

Đường kính lượng thuốc phía trên được xác định theo công thức:

$$d_1 = 2ka \sqrt{\frac{(l_b + 0,5l_1)q_1}{3\Delta l_1}}; m \quad (24)$$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nhữ Văn Bách, *Phá vỡ đất đá bằng phương pháp khoan nổ mìn*, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, 1990.
- [2] Nhữ Văn Bách, *Nâng cao hiệu quả phá vỡ đất đá bằng nổ mìn trong khai thác mỏ*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội, 2003.
- [3] Stig Olofsson, *Applied explosive technology for construction and mining*, Publisher APPLEX P.O. Box 71 S-640 43 ÅRLA, Sweden, 1997.
- [4] Carlos Lopez Jimeno, Emilio Lopez Jimeno và Francisco Javier Ayala Carcedo, *Drilling and Blasting of rock*, Spain, 1995



Hình 6. Sơ đồ tính toán các thông số của lượng thuốc nổ có đường kính khác nhau trong lỗ khoan khi đất đá cứng đồng nhất

q_1 - Chỉ tiêu thuốc nổ tính cho phần đất đá phía trên của tầng, kg/m^3 ; Δ - Mật độ của thuốc nổ có đường kính nhỏ nạp phía trên $\geq 1 \text{ g/cm}^3$.

Theo phương pháp này loại thuốc nổ phía trên nạp dạng thỏi, loại thuốc nổ đáy thường là thuốc nổ dạng rời hoặc nhũ tương.

3. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu thay đổi cấu trúc lượng thuốc nổ trong lỗ khoan lớn và xác định các thông số của cấu trúc lượng thuốc trong lỗ khoan nhằm nâng cao hiệu quả nổ mìn là một đề tài khoa học rất cần thiết, đáp ứng nhu cầu của thực tế hiện tại và tương lai ở nước ta. Tuy nhiên, khi tiến hành nổ mìn các kỹ sư thiết kế cần phải xem xét kỹ tình trạng đất đá và điều kiện địa chất của khu vực cần nổ mà lựa chọn cấu trúc lượng thuốc cho phù hợp. Ngoài việc lựa chọn cấu trúc lượng thuốc, chúng tôi cũng khuyến nghị cần sử dụng các sơ đồ nổ vì sai điện và phi điện mới đem lại hiệu quả cao khi tiến hành nổ mìn bằng lỗ khoan lớn □



- [5] Lê Ngọc Ninh, *Nghiên cứu các thông số của cấu trúc lượng thuốc trong lỗ mìn nhằm nâng cao hiệu quả phá vỡ đất đá và bảo vệ môi trường tại một số mỏ lộ thiên Việt Nam*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, 2009.

RESEARCH ON SAFE AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BLASTING TECHNIQUES

Ngoc Linh Le

Vietnam Blasting Engineering Association, 18 Vien Str., Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 30/01/2026

Revised: 28/4/2026

Accepted: 05/5/2026

Corresponding author:

Email: ninhcuuthamdinh@gmail.com

ABSTRACT

This paper presents research results on safe and environmentally friendly blasting techniques through modifying the charge structure in large-diameter boreholes (102 mm–200 mm). The study also proposes methods for determining key parameters of explosive charge structures and stemming in boreholes to improve blasting efficiency, which is essential to meet current and future practical demands in our country. However, when conducting blasting operations, design engineers must carefully consider rock mass conditions and geological characteristics of the blasting site in order to select an appropriate charge structure. In addition to optimizing the charge configuration, we recommend the use of modern electric and non-electric delay blasting systems to achieve higher efficiency in large-diameter borehole blasting.

Keywords: *blasting, safe blasting, environment*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association