

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

VŨ XUÂN BẢNG

**NGHIÊN CỨU HOÀN THIỆN QUY LUẬT PHÁ VỠ ĐẤT ĐÁ
CỦA LƯỢNG NỔ DẠNG PHẪNG**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – NĂM 2023

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

VŨ XUÂN BẢNG

**NGHIÊN CỨU HOÀN THIỆN QUY LUẬT PHÁ VỢ ĐẤT ĐÁ
CỦA LƯỢNG NỔ DẠNG PHẪNG**

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình đặc biệt

Mã số: 9 58 02 06

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. PGS.TS Đàm Trọng Thăng

2. PGS.TS Nguyễn Trí Tá

HÀ NỘI – NĂM 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận án**Vũ Xuân Bằng**

LỜI CẢM ƠN

Tác giả luận án xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành, sâu sắc đối với PGS.TS Đàm Trọng Thắng và PGS.TS Nguyễn Trí Tá đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ đã chỉ dẫn và định hướng khoa học giúp cho tác giả hoàn thành luận án này. Tác giả chân thành cảm ơn sự động viên, khuyến khích và những kiến thức khoa học mà tập thể hướng dẫn đã chia sẻ cho tác giả trong thời gian thực hiện luận án, giúp tác giả nâng cao năng lực và phương pháp nghiên cứu khoa học.

Tác giả xin chân thành cảm ơn các tập thể cơ quan của Học viện Kỹ thuật quân sự: Viện Kỹ thuật Công trình đặc biệt, đặc biệt là Bộ môn Xây dựng công trình quốc phòng và Trung tâm nghiên cứu ứng dụng và kiểm định chất lượng công trình; Phòng Sau đại học; Hệ V; Trung tâm bảo đảm huấn luyện Hòa Lạc đã giúp đỡ và tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình học tập, nghiên cứu, thực hiện luận án này.

Tác giả xin chân thành cảm ơn Thủ trưởng và đồng nghiệp tại Viện Kỹ thuật Công binh/Binh chủng Công binh đã tạo điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình học tập, nghiên cứu.

Tác giả xin chân thành cảm ơn các chuyên gia, các nhà khoa học và bạn bè đồng nghiệp đã cung cấp cho tác giả nhiều tài liệu quý hiếm, các kiến thức khoa học hiện đại và nhiều lời khuyên bổ ích có giá trị.

Cuối cùng, tác giả xin bày tỏ lòng cảm ơn đối với những người thân trong gia đình đã thông cảm, động viên và chia sẻ những khó khăn với tác giả trong suốt thời gian làm luận án.

Tác giả

Vũ Xuân Bằng

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU	vii
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	xv
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ	xix
MỞ ĐẦU.....	1
Chương 1 TỔNG QUAN VỀ CÔNG TÁC NỔ Mìn TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT ĐÁ	7
1.1. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài	7
1.1.1. Nghiên cứu lý luận chung về tác dụng nổ trong môi trường đất đá..	7
1.1.2. Nghiên cứu xác định các thông số khoan nổ mìn	8
1.1.3. Nghiên cứu về MĐĐVĐĐ	10
1.1.4. Nghiên cứu ứng dụng năng lượng nổ để phá vỡ và dịch chuyển định hướng đất đá	12
1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước	14
1.3. Các vấn đề tồn tại khi nghiên cứu về công tác nổ mìn trong môi trường đất đá	21
1.4. Những vấn đề luận án cần tập trung giải quyết.....	21
1.5. Kết luận chương 1	22
Chương 2 NGHIÊN CỨU CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ TÁC DỤNG CƠ HỌC CỦA NỔ TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT ĐÁ	23
2.1. Lý thuyết phá vỡ đất đá bằng phương pháp nổ	23
2.1.1. Định luật bảo toàn năng lượng khi phá vỡ đất đá bằng phương pháp nổ	23
2.1.2. Phương trình phân bố cỡ hạt đá sau nổ	24
2.2. Phương pháp xác định trường năng lượng nổ theo quan điểm phát tán năng lượng truyền thống	28

2.3. Phương pháp xác định trường năng lượng nổ theo lý thuyết thủy động lực học nổ của O.E. Vlastov	31
2.3.1. Thế tốc độ của phần tử môi trường	31
2.3.2. Năng lượng môi trường	33
2.3.3. Mật độ năng lượng môi trường	33
2.4. Phân tích mối quan hệ giữa quy luật phân bố năng lượng nổ và quy luật phân bố cỡ hạt đá sau nổ	35
2.4.1. Phân tích trên cơ sở lý thuyết thủy động lực học nổ của O. E. Vlastov	36
2.4.2. Phân tích trên cơ sở lý thuyết đập vỡ đất đá	39
2.5. Kết luận chương 2	40
Chương 3 XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN, KHẢO SÁT TÁC DỤNG PHÁ HỦY CỦA LƯỢNG NỔ DẠNG PHẪNG.	41
3.1. Thiết lập trường năng lượng nổ của nhóm lượng nổ dài song song trong môi trường đất đá	41
3.1.1. Thiết lập trường thế tốc độ xung quanh một nhóm lượng nổ dài song song nằm trong một mặt phẳng	41
3.1.2. Mật độ năng lượng môi trường của nhóm lượng nổ dài song song	43
3.2. Xây dựng và ứng dụng chương trình tính trong nghiên cứu khảo sát trường thế tốc độ và trường năng lượng nổ	44
3.2.1. Mô tả chương trình	44
3.2.2. Nhập xuất dữ liệu	44
3.2.3. Khả năng của chương trình	45
3.3. Khảo sát một số bài toán	45
3.3.1. Khảo sát trường thế tốc độ của nhóm lượng nổ dài đặt song song trong cùng một mặt phẳng	45
3.3.2. Khảo sát trường phân bố năng lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau	48

3.3.3. Khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ khoảng cách tương đối lượng nổ l_0/d đến vùng phá hủy	53
3.4. Kết luận Chương 3	57
Chương 4 NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM.....	59
4.1. Mô tả phương pháp nghiên cứu thực nghiệm	60
4.1.1. Phân tích lựa chọn phương pháp thí nghiệm chung.....	60
4.1.2. Mô tả mẫu thí nghiệm và vật tư, trang thiết bị thí nghiệm chung...	61
4.1.3. Quy trình thí nghiệm	63
4.2. Nội dung và kết quả nghiên cứu thực nghiệm	64
4.2.1. Thí nghiệm nổ trên mô hình trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng)	64
4.2.2. Thí nghiệm nổ trên mô hình trong môi trường vô hạn	69
4.2.3. Thí nghiệm nổ trên mô hình trong môi trường có mặt thoáng phụ	71
4.3. Thiết lập các quy luật thực nghiệm	73
4.3.1. Quy luật về sự phụ thuộc kích thước trung bình của cỡ hạt đá sau nổ vào chỉ tiêu thuốc nổ	73
4.3.2. Thiết lập quy luật thực nghiệm về phân bố kích thước cục đá phá ra theo khoảng cách tính từ tâm nổ	74
4.3.3. Quy luật thực nghiệm về phân bố cỡ hạt sau nổ	81
4.3.4. Thiết lập qui luật thực nghiệm về sự phụ thuộc của MĐDVĐĐ vào chỉ tiêu thuốc nổ	89
4.4. So sánh đánh giá ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến MĐDVĐĐ	91
4.4.1. Ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến quy luật phân bố cỡ hạt.	91
4.4.2. Ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm	94
4.5. Thực nghiệm nổ thực tế tại công trường.....	96
4.5.1. Mô tả mô hình thực nghiệm	97
4.5.2. Quy trình thực nghiệm	98
4.5.3. Phương pháp lấy số liệu	99

4.5.4. Giới thiệu phần mềm Split-Desktop version 4.0.....	100
4.5.5. Kết quả thực nghiệm	100
4.6. Kết luận Chương 4	108
Chương 5 PHÂN TÍCH CÁC QUY LUẬT PHÁ VỠ ĐẤT ĐÁ VÀ ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ÁP DỤNG	110
5.1. Phân tích, so sánh đặc tính tác dụng nổ của lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng	110
5.1.1. Phân tích, so sánh trường năng lượng nổ của các dạng lượng nổ cơ bản theo lý thuyết thủy động lực học nổ	110
5.1.2. Phân tích các kết quả thí nghiệm.....	113
5.1.3. Thiết lập mối quan hệ giữa kích thước trung bình cỡ hạt và năng lượng của lượng nổ.....	121
5.2. Phương pháp xác định hàm dự đoán thành phần kích cỡ hạt sau nổ ..	128
5.2.1. Xác định các hằng số thực nghiệm từ các kết quả thí nghiệm.....	128
5.2.2. Dự đoán thành phần kích cỡ hạt và so sánh với kết quả thực nghiệm	129
5.3. Đề xuất phương pháp tính toán kích thước trung bình cỡ hạt phụ thuộc vào dạng lượng nổ, chỉ tiêu thuốc nổ, loại môi trường nổ	133
5.4. Kết luận Chương 5	135
KẾT LUẬN CHUNG.....	137
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ.....	141
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	143
PHỤ LỤC.....	1

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

1. Chữ viết tắt

Chữ viết tắt	Diễn giải
A2T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ tập trung có khối lượng 4,8 g
A3T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ tập trung có khối lượng 7,2 g
A4T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ tập trung có khối lượng 9,6 g
A2D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ dài có khối lượng 4,8 g
A3D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ dài có khối lượng 7,2 g
A4D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ dài có khối lượng 9,6 g
A2P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ dạng phẳng có khối lượng 4,8 g
A3P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ dạng phẳng có khối lượng 7,2 g
A4P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn, sử dụng lượng nổ dạng phẳng có khối lượng 9,6 g
B2T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ tập trung có khối lượng 4,8 g
B3T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ tập trung có khối lượng 7,2 g
B4T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ tập trung có khối lượng 9,6 g
B2D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ dài có khối lượng 4,8 g
B3D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ dài có khối lượng 7,2 g

Chữ viết tắt	Diễn giải
B4D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ dài có khối lượng 9,6 g
B2P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ dạng phẳng có khối lượng 4,8 g
B3P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ dạng phẳng có khối lượng 7,2 g
B4P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ dạng phẳng có khối lượng 9,6 g
C2T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ tập trung 4,8 g
C3T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ tập trung 7,2 g
C4T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ tập trung 9,6 g
C5T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ tập trung 12 g
C6T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ tập trung 14,4 g
C7T	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ tập trung 16,8 g
C2D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dài 4,8 g
C3D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dài 7,2 g
C4D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dài 9,6 g
C5D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dài 12 g
C6D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dài 14,4 g
C7D	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dài 16,8 g

Chữ viết tắt	Diễn giải
C2P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dạng phẳng 4,8 g
C3P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dạng phẳng 7,2 g
C4P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dạng phẳng 9,6 g
C5P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dạng phẳng 12 g
C6P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dạng phẳng 14,4 g
C7P	Mô hình mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng), sử dụng lượng nổ dạng phẳng 16,8 g
ĐVT	Đơn vị tính
KL	Khối lượng
LN	Lượng nổ
MĐĐVĐĐ	Mức độ đập vỡ đất đá
MTVH	Môi trường vô hạn
MTMTP	Môi trường có mặt thoáng phụ
MTHH	Môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng)
mẫu loại A	Mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn
mẫu loại B	Mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ
mẫu loại C	Mẫu thí nghiệm nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng)
PETN	Thuốc nổ TEN (Penta Erythritol Tetra Nitrate)
PL	Phụ lục
TNT	Thuốc nổ TNT (Trinitrotoluen)
TN	Thuốc nổ

2. Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
A	m^3/s	Hằng số được xác định tùy thuộc dạng lượng nổ
A_{tt}	m^3/s	Hằng số lượng nổ tập trung
A_d	m^3/s	Hằng số lượng nổ dài
A_p	m^3/s	Hằng số lượng nổ phẳng (được dùng khi xác định thể tích tốc độ và mật độ năng lượng)
A_f		Hệ số thực nghiệm xác định hàm chỉ số tác dụng nổ
A_r	kg/ms^2 hoặc J/m^3	Công riêng phá hủy môi trường
A_s		Hệ số đặc trưng cho độ bền đất đá và các điều kiện ngoài chỉ tiêu thuốc nổ (được dùng khi xác định sự phụ thuộc của MĐĐVĐĐ vào chỉ tiêu thuốc nổ)
a	m	Bán trục theo phương X của elipxoit
a_h	m	Một nửa kích thước phân tử hình lập phương
B_f		Hệ số thực nghiệm xác định hàm chỉ số tác dụng nổ
b	m	Bán trục theo phương Y của elipxoit
c	m	Bán trục theo phương Z của elipxoit
d	m	Đường kính lượng nổ
d_c	m	Kích thước của cục đá theo yêu cầu
d_k	m	Đường kính lỗ khoan
d_n	m	Kích thước trung bình các cục đá nứt nẻ trong khối
d_t	m	Đường kính của lượng nổ (lấy bằng đường kính mũi khoan)
d_{tb}	m	Kích thước trung bình cỡ hạt
d_{tb}^{tt}	m	Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu sau nổ khi sử dụng lượng nổ tập trung

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
d_{tb}^d	m	Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu sau nổ khi sử dụng lượng nổ dài
d_{tb}^{dp}	m	Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu sau nổ khi sử dụng lượng nổ dạng phẳng
E	kJ	Năng lượng của lượng nổ
E_0	kJ	Năng lượng riêng của thuốc nổ
E_c	J/m ³	Suất tiêu hao năng lượng
E_d	kG/m ² hoặc J/m ³	Mật độ năng lượng
$E_{(r)}$		Hàm số thể hiện mức năng lượng của lượng nổ tại vị trí r
E_{th}	kG/m ² hoặc J/m ³	Mật độ năng lượng tới hạn
E_{tp}		Năng lượng toàn phần
E_w		Động năng của phần tử môi trường
f		Hệ số độ cứng của đất đá theo thang Protodyakonov
f(n)		Hàm chỉ số tác dụng nổ
H		Hằng số phụ thuộc dạng lượng nổ
H_{tt}		Hằng số lượng nổ tập trung
H_d		Hằng số lượng nổ dài
K_c	kg/m ³	Chỉ tiêu thuốc nổ văng
K_n		Hệ số nứt nẻ
K_{qc}		Hệ số chuyển đổi năng lượng của chất nổ sử dụng về chất nổ chuẩn
k_{11}		Hệ số kể đến ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng giữa môi trường có mặt thoáng phụ với môi trường vô hạn khi sử dụng lượng nổ tập trung
k_{12}		Hệ số kể đến ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng giữa môi trường có mặt thoáng phụ với môi trường vô hạn khi sử dụng lượng nổ dài

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
k_{13}		Hệ số kể đến ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng giữa môi trường có mặt thoáng phụ với môi trường vô hạn khi sử dụng lượng nổ dạng phẳng
k_{21}		Hệ số kể đến ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng giữa môi trường hữu hạn với môi trường vô hạn khi sử dụng lượng nổ tập trung
k_{22}		Hệ số kể đến ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng giữa môi trường hữu hạn với môi trường vô hạn khi sử dụng lượng nổ dài
k_{23}		Hệ số kể đến ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng giữa môi trường hữu hạn với môi trường vô hạn khi sử dụng lượng nổ dạng phẳng
k_{cd}		Hệ số chuyển đổi khả năng công nổ của chất nổ
k_{dd}		Hệ số đặc trưng cho loại đất đá
k_{hd}		Hệ số phụ thuộc vào hình dạng của lượng nổ
k_i		Hệ số điều chỉnh khi sử dụng các dạng lượng nổ khác nhau hoặc nổ trong môi trường nổ khác nhau
k_{mt}		Hệ số phụ thuộc điều kiện mặt thoáng
k_p		Hệ số phụ thuộc vào đặc trưng phá hoại và điều kiện địa chất
k_{tn}		Hệ số đặc trưng cho loại thuốc nổ
L_{max}	m	Kích thước khối nứt lớn nhất
l_a	m	Khoảng cách giữa các lượng nổ trong hàng
l_{ph}	m	Chiều dài vùng phá hủy
m_d		Hệ số dịch gần lỗ khoan
n		Chỉ số tác dụng nổ
$P_{(x)}$	%	Tỉ lệ phần trăm cỡ hạt có kích thước $\leq x$
Q	kg	Khối lượng thuốc nổ
q_0	kg/m ³	Chỉ tiêu thuốc nổ chuẩn
q	kg/m ³	Chỉ tiêu thuốc nổ
q_o	kg/m ³	Chỉ tiêu thuốc nổ om

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
R	m	Khoảng cách từ tâm mẫu đến biên của của mẫu
R_p	m	Bán kính vùng tác dụng nổ
r	m	Khoảng cách từ tâm nổ đến điểm khảo sát
r_0	m	Bán kính lượng nổ
r_d	m	Bán kính phá hủy của lượng nổ dài
r_p	m	Bán kính phá hủy của lượng nổ phẳng
r_{p1}	m	Bán kính phá hủy của lượng nổ phẳng dạng 1
r_{p2}	m	Bán kính phá hủy của lượng nổ phẳng dạng 2
r_t	m	Bán kính phá hủy của lượng nổ tập trung
S_{ph}	m^2	Diện tích vùng bị phá hủy
ρ	$kG.s^2/m^4$ hoặc kg/m^3	Mật độ môi trường
u	m/s	Tốc độ của phần tử môi trường theo phương x
V	m^3	Thể tích khối đất đá
v_{th}	m/s	Vận tốc tới hạn
v	m/s	Tốc độ của phần tử môi trường theo phương y
V_{ph}	m^3	Thể tích vùng bị phá hủy
V_0	m^3	Thể tích nguyên mẫu
V_{r1}	m^3	Thể tích khối mẫu hình hộp chữ nhật
V_{r2}	m^3	Thể tích khối mẫu hình trụ
V_{r3}	m^3	Thể tích khối mẫu hình cầu
w	m/s	Tốc độ của phần tử môi trường theo phương z
w_r	m	Đường cản ngắn nhất từ tâm nổ đến mặt thoáng
x		Tọa độ x trong hệ tọa độ Descartes
x	m	Kích thước cục đá nghiên cứu
x_{max}	m	Kích thước cục lớn nhất trong đồng đá nổ ra
α_0		Hệ số đặc trưng cho độ nứt nẻ tự nhiên của đất đá
α_1		Mật độ năng lượng bề mặt của vật liệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
γ		Hằng số mức độ đập vỡ đất đá
γ_d	T/m ³	Khối lượng thể tích của đất đá
λ		$0 \leq \lambda \leq \infty$, mỗi giá trị của λ ứng với một elipxoit
λ_1		Hằng số tiêu hao năng lượng làm bay cục đá
ν	m/s	Tốc độ của phân tử môi trường theo pháp tuyến n với bề mặt F của lợng nổ
φ	m ² /s	Thế tốc độ
Φ	m ² /s	Thế tốc độ tổng hợp
ϕ		Hằng số đặc trưng cho tính chất bền của khối đá
ψ		Hằng số đặc trưng cho năng lượng biểu kiến
μ		Hằng số đặc trưng cho thế năng biến dạng
Δ_m	T/m ³	Mật độ chất nổ
η		Hệ số đặc trưng cho mức độ ảnh hưởng của chỉ tiêu thuộc nổ đến MĐĐVĐĐ

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 3.1. Sự phụ thuộc V_{ph} vào l_a/d đối với lượng nổ có $d=0,032$ m	54
Bảng 3.2. Sự phụ thuộc V_{ph} vào l_a/d đối với lượng nổ có $d=0,06$ m	55
Bảng 4.1. Kích thước trung bình cỡ hạt khi nổ các lượng nổ khác nhau (m).	67
Bảng 4.2. $P_{(x)}$ khi nổ các mẫu C, lượng nổ tập trung (ĐVT: %)	67
Bảng 4.3. $P_{(x)}$ khi nổ các mẫu C, lượng nổ dài (ĐVT: %)	68
Bảng 4.4. $P_{(x)}$ khi nổ các mẫu C, lượng nổ dạng phẳng (ĐVT: %)	68
Bảng 4.5. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ tập trung	83
Bảng 4.6. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ dài	85
Bảng 4.7. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ dạng phẳng khi nổ	88
Bảng 4.8. Hệ số m khi nổ mẫu loại C	89
Bảng 4.9. Hệ số đặc trưng A_s và η	91
Bảng 4.10. So sánh hiệu quả ảnh hưởng của mặt thoáng đến phân bố $P_{(x)}$ khi nổ các mẫu thí nghiệm với các dạng lượng nổ khác nhau	93
Bảng 4.11. Tính d_{tb} của các mẫu thí nghiệm trong các môi trường khác nhau	95
Bảng 4.12. So sánh hiệu quả ảnh hưởng của mặt thoáng đến d_{tb} khi nổ.	95
Bảng 4.13. Bố trí thuốc nổ tương ứng với từng bài thí nghiệm	97
Bảng 4.14. Kết quả thí nghiệm nổ trong đá sét kết	101
Bảng 5.1. Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm khi nổ	121
Bảng 5.2. Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm khi nổ các lượng nổ khác nhau trong MTMTP	122
Bảng 5.3. Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm khi nổ các lượng nổ khác nhau trong MTHH	122
Bảng 5.4. Xác định các hằng số thực nghiệm	129

Bảng 5.5. So sánh d_{tb} giữa lý thuyết và thực tế với mẫu thí nghiệm	131
Bảng 5.6. So sánh d_{tb} giữa lý thuyết và thực tế với mẫu thí nghiệm	132
Bảng 5.7. So sánh d_{tb} giữa lý thuyết và thực tế với mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dạng phẳng.....	132
Bảng 5.8. Hệ số kể đến ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ k_{hd} đến d_{tb}	134
Bảng 5.9. Hệ số kể đến ảnh hưởng của điều kiện môi trường nổ k_{mt} đến d_{tb}	134
Bảng 5.10. Hệ số tổng hợp k_i kể đến ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ và điều kiện môi trường nổ đến d_{tb}	135
Bảng PL. 1. Các thông số của lượng nổ khảo sát và kích thước của vùng phá hủy với đất đá có mật độ $230 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$	1
Bảng PL. 2. Các thông số của lượng nổ khảo sát và kích thước của vùng phá hủy với đất đá có mật độ $280 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$	2
Bảng PL. 3. Mật độ năng lượng theo khoảng cách của các dạng lượng nổ	4
Bảng PL. 4. Thông số của vật liệu chế tạo mẫu thí nghiệm	4
Bảng PL. 5. Quy cách mẫu thí nghiệm	5
Bảng PL. 6. Thông số kỹ thuật dây nổ chịu nước.....	5
Bảng PL. 7. Thông số kỹ thuật thuốc nổ PETN	6
Bảng PL. 8. Bố trí lượng nổ tương ứng với từng mẫu thí nghiệm loại C.6	
Bảng PL. 9. Tỷ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước x thu được khi nổ các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ tập trung (ĐVT: 100%)	7
Bảng PL. 10. Tỷ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước x thu được khi nổ các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ dài	8

Bảng PL. 11. Tỷ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước x thu được khi nổ các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ dạng phẳng	8
Bảng PL. 12. Bố trí lượng nổ tương ứng với từng mẫu thí nghiệm loại A	9
Bảng PL. 13. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu thí nghiệm mô hình loại A sử dụng lượng nổ tập trung	10
Bảng PL. 14. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu thí nghiệm mô hình loại A sử dụng lượng nổ dài.....	10
Bảng PL. 15. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu thí nghiệm mô hình loại A sử dụng lượng nổ dạng phẳng.....	11
Bảng PL. 16. Bố trí lượng nổ tương ứng với từng mẫu thí nghiệm loại B	12
Bảng PL. 17. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu loại B sử dụng lượng nổ tập trung.....	12
Bảng PL. 18. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu loại B sử dụng lượng nổ dài	13
Bảng PL. 19. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu loại B sử dụng lượng nổ dạng phẳng	14
Bảng PL. 20. Đường kính trung bình cỡ hạt theo khoảng cách tính từ tâm nổ mẫu loại B sử dụng lượng nổ tập trung.....	15
Bảng PL. 21. Đường kính trung bình cỡ hạt theo khoảng cách tính từ tâm nổ mẫu loại B sử dụng lượng nổ dài	16
Bảng PL. 22. Đường kính trung bình cỡ hạt theo khoảng cách tính từ tâm nổ mẫu loại B sử dụng lượng nổ dạng phẳng.....	18
Bảng PL. 23. So sánh tỷ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước $< x$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được khi nổ mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ tập trung	20

Bảng PL. 24. So sánh tỉ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước $< x$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được khi nổ mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dài ...	20
Bảng PL. 25. So sánh tỉ lệ phần trăm cỡ hạt P_x giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được khi nổ mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dạng phẳng	21
Bảng PL. 26. Thông số kỹ thuật thuốc nổ nhũ tương	21
Bảng PL. 27. Thông số kỹ thuật kíp nổ phi điện	22
Bảng PL. 28. Các thông số đặc biệt của kíp nổ phi điện	22
Bảng PL. 29. Chỉ tiêu thuốc nổ tiêu chuẩn (kg/m^3) [21]	23
Bảng PL. 30. Khối lượng thành phần cỡ hạt mẫu loại C	23
Bảng PL. 31. Thành phần cỡ hạt và quy luật phân bố $P_{(x)}$ của các bài thí nghiệm tại Quảng Ninh	29

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 0.1. Phá vỡ và dịch chuyển đất đá bằng lượng nổ dạng phẳng	3
Hình 1.1. Bố trí các lượng nổ khi nổ văng xa định hướng	12
Hình 1.2. Lược đồ phân bố thuốc nổ [69].....	13
Hình 1.3. Sơ đồ phóng đá bằng lượng nổ phẳng [69].....	13
Hình 1.4. Bóc đất đá định hướng bằng lượng nổ phẳng [69]	14
Hình 1.5. Nổ mìn định hướng	15
Hình 1.6. Nổ mìn tạo mặt nhẵn ở biên đường hầm	18
Hình 1.7. Nổ mìn tạo mặt nhẵn trong khai thác đá khối.....	19
Hình 1.8. Sử dụng lượng nổ phẳng để hàn kim loại	19
Hình 1.9. Sơ đồ đá bay khi nổ lượng nổ dạng phẳng [3].....	20
Hình 2.1. Sự phụ thuộc $P_{(x)}$ vào kích thước cỡ hạt x theo Rosin-Rammler.	27
Hình 2.2. Quy luật phân bố cỡ hạt theo Goden – Andrep	28
Hình 2.3. Qui luật phân bố tốc độ chuyển động của các hạt đất đá phụ thuộc vào hình dạng lượng nổ theo lý thuyết thủy động lực học nổ.	29
Hình 2.4. Quy luật phân bố năng lượng của phần tử môi trường phụ thuộc vào hình dạng lượng nổ theo lý thuyết thủy động lực học nổ.	29
Hình 2.5. Hệ trục quy ước cho các lượng nổ	34
Hình 2.6. Mô hình biến dạng một đơn vị thể tích phân tố hình lập phương	37
Hình 3.1. Mô hình nhóm các lượng nổ dài N_i và hình chiếu của điểm M	41
Hình 3.2. Sơ đồ khối của chương trình “Truongnangluongno”	44
Hình 3.3. Trường thế tốc độ của nhóm 11 lượng nổ dài, cách nhau 0,16 m	46
Hình 3.4. Trường thế tốc độ của nhóm 11 lượng nổ dài, cách nhau 0,64 m	47

Hình 3.5. Trường thế tốc độ của nhóm 11 lượng nổ dài, cách nhau 1,28 m	47
Hình 3.6. Mật độ năng lượng của lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và lượng nổ phẳng.....	50
Hình 3.7. Mật độ năng lượng của nhóm lượng nổ dài song song.....	50
Hình 3.8. Sự thay đổi mật độ năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ .	51
Hình 3.9. Mặt cắt vùng phá hủy của lượng nổ dạng phẳng khi $l=10d$...	55
Hình 3.10. Mặt cắt vùng phá hủy của lượng nổ dạng phẳng khi $l = 14d$	55
Hình 3.11. Mặt cắt vùng phá hủy của lượng nổ dạng phẳng khi $l = 25d$	56
Hình 3.12. Ảnh hưởng của tỉ lệ l_a/d đến V_{ph} với lượng nổ có $d=0,032$ m	56
Hình 3.13. Ảnh hưởng của tỉ lệ l_a/d đến V_{ph} với lượng nổ có $d=0,06$ m	56
Hình 4.1. Mẫu thí nghiệm tại hiện trường	61
Hình 4.2. Thuộc nổ và dây nổ dùng trong thí nghiệm.....	62
Hình 4.3. Bố trí lượng nổ và kíp nổ với mẫu sử dụng lượng nổ tập trung	62
Hình 4.4. Bố trí lượng nổ với mẫu sử dụng lượng nổ dài và dạng phẳng	62
Hình 4.5. Đo thông số mẫu tại hiện trường	63
Hình 4.6. Dụng cụ xác định khối lượng nhóm cục đá sau nổ.....	63
Hình 4.7. Liên kết lượng nổ với mẫu thí nghiệm.	65
Hình 4.8. Sàng và cân khối lượng các thành phần hạt.....	65
Hình 4.9. Phân loại thành phần hạt của các mẫu thí nghiệm.....	65
Hình 4.10. Mô hình thí nghiệm mẫu loại A.....	69
Hình 4.11. Hình ảnh mẫu thí nghiệm loại A tại hiện trường.....	69
Hình 4.12. Bố trí mẫu thí nghiệm và kết quả thí nghiệm	69
Hình 4.13. Cưa các mẫu thí nghiệm sau nổ	70

Hình 4.14. Xác định khoảng cách giữa các vết nứt với các mẫu loại A.	70
Hình 4.15. Mô hình thí nghiệm mẫu loại B	71
Hình 4.16. Hình ảnh mẫu thí nghiệm loại B tại hiện trường	72
Hình 4.17. Xác định khoảng cách giữa các vết nứt với các mẫu loại B.	73
Hình 4.18. Sự phụ thuộc d_{tb} của cỡ hạt đá sau nổ vào chỉ tiêu thuộc nổ với 3 dạng lượng nổ tập trung, dài và dạng phẳng.....	74
Hình 4.19. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ	75
Hình 4.20. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ	75
Hình 4.21. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ	76
Hình 4.22. Sự phụ thuộc của kích thước cục đá tương đối d_{tb}/r	76
Hình 4.23. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ	78
Hình 4.24. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ	79
Hình 4.25. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ	79
Hình 4.26. Dạng thực tế của quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mẫu lượng nổ tập trung	81
Hình 4.27. Dạng thực tế của quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mẫu lượng nổ dài.....	84
Hình 4.28. Dạng thực tế của quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mẫu lượng nổ dạng phẳng	86
Hình 4.29. Hệ số đặc trưng cho quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ	90
Hình 4.30. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ tập trung.....	91
Hình 4.31. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ dài khi nổ.....	92
Hình 4.32. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ dạng phẳng	92
Hình 4.33. So sánh tương đối kích thước trung bình cỡ hạt của các dạng lượng nổ khác nhau khi nổ trong các môi trường khác nhau.....	96
Hình 4.34. Mô hình thí nghiệm dùng lượng nổ dạng phẳng để phá đá ..	98

Hình 4.35. Một số hình ảnh thí nghiệm nổ tại công trường	99
Hình 4.36. Một số hình ảnh về phần mềm Split-Desktop	100
Hình 4.37. Sự phụ thuộc của thể tích vùng phá hủy	102
Hình 4.38. Sự phụ thuộc của chỉ tiêu thuốc nổ vào khoảng cách tương đối giữa các lỗ mìn	102
Hình 4.39. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN1	103
Hình 4.40. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN2	103
Hình 4.41. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN3	104
Hình 4.42. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN4	104
Hình 4.43. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN5	104
Hình 4.44. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN1	105
Hình 4.45. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN2	105
Hình 4.46. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN3	106
Hình 4.47. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN4	106
Hình 4.48. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN5	107
Hình 5.1. Quy luật phân bố mật độ năng lượng nổ theo khoảng cách từ tâm nổ với các dạng lượng nổ khác nhau có cùng khối lượng thuốc nổ	111
Hình 5.2. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ	114
Hình 5.3. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ	114
Hình 5.4. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ	115
Hình 5.5. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ	115

Hình 5.6. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách ($Q = 4,8$ g)	116
Hình 5.7. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách ($Q = 7,2$ g)	116
Hình 5.8. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách ($Q = 9,6$ g)	117
Hình 5.9. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$	118
Hình 5.10. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$	118
Hình 5.11. So sánh $P_{(x)}$ của các dạng lượng nổ khác nhau khi cùng khối lượng thuốc nổ $Q = 4,8$ g và $Q = 7,2$ g.	119
Hình 5.12. So sánh $P_{(x)}$ của các dạng lượng nổ khác nhau khi cùng	120
Hình 5.13. So sánh $P_{(x)}$ của các dạng lượng nổ khác nhau khi cùng	120
Hình 5.14. Sự phụ thuộc của d_{tb} vào năng lượng của lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau trong MTVH.....	123
Hình 5.15. Sự phụ thuộc d_{tb} vào năng lượng lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau trong MTMTP.....	124
Hình 5.16. Sự phụ thuộc của d_{tb} vào năng lượng của lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau trong MTHH.....	124
Hình 5.17. Đồ thị so sánh $P_{(x)}$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được	130
Hình 5.18. Đồ thị so sánh $P_{(x)}$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế	130
Hình 5.19. Đồ thị so sánh $P_{(x)}$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được	131

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Từ khi xuất hiện đến nay, vai trò của nổ đã trở nên rất quan trọng không chỉ trong phát triển kinh tế, xã hội, xây dựng, khai thác mỏ và cả trong lĩnh vực quân sự... Nhờ có các ứng dụng của nổ, quá trình thi công, xây dựng, khai thác mỏ... được tiến hành nhanh hơn, tiết kiệm hơn và hiệu quả hơn, vũ khí, khí tài nhờ sự phát triển các nghiên cứu về nổ mà uy lực và tính năng được nâng lên, phong phú và đa dạng lên rất nhiều. Các công trình lớn ở nước ta như đường hầm thủy điện Hòa Bình, Sơn La, Sê San, Nậm Chiến, Lai Châu, A Vương...; các hầm đường bộ qua đèo Hải Vân, Đèo Cả...; mở luồng vào đảo Nam Yết (1978), đảo Đá Lớn (1989-1990), nạo vét đảo Phan Vinh, Song Tử Tây (1987-1993), xây dựng cảng Cái Lân – Quảng Ninh (2001-2002), cảng Than Cửa Ông (1996-1997), cảng biển Dung Quất, nổ đào hào đặt ống dẫn dầu ở Quảng Ngãi (1989), đào âu tàu Cồn Cỏ, cảng Hải Hà – Quảng Ninh (2007), xây dựng âu tàu cứu hộ cứu nạn ở đảo Song Tử Tây, Trường Sa Đông...hay các mỏ khai thác lộ thiên hoặc trong hầm lò đã cho thấy những ưu việt của việc ứng dụng nổ trong công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước. Trong lĩnh vực quốc phòng, năng lượng nổ ngoài ứng dụng trong vũ khí trang bị còn được sử dụng trong thi công xây dựng các công trình ngầm quân sự, mở luồng, đào hào, đào phá nền đường, tạo mái dốc ta luy... Do đặc thù các công trình quân sự thường được thi công trong điều kiện địa hình khó khăn, thời gian gấp, phạm vi hẹp, việc sử dụng các phương tiện cơ giới rất hạn chế nên sử dụng năng lượng nổ càng có ý nghĩa quan trọng, bảo đảm được tiến độ và hiệu quả.

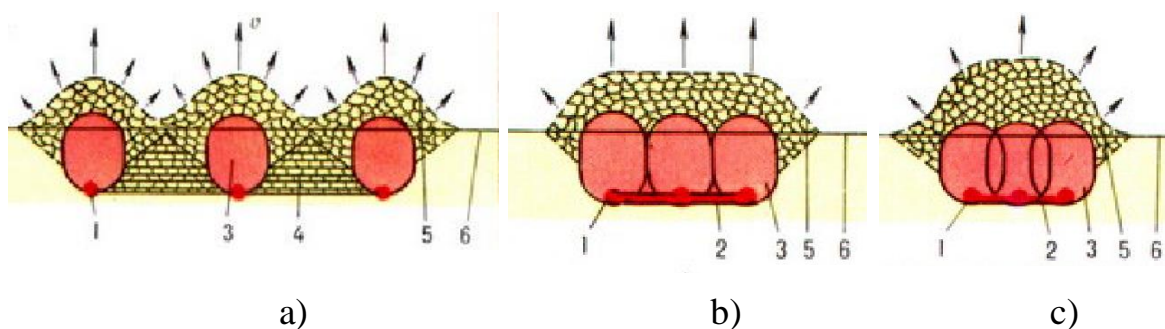
Do tính hiệu quả đập vỡ đất đá và sự thuận lợi trong việc tạo ra các lỗ chôn thuốc bằng các thiết bị khoan, nên dạng lượng nổ dài trong lỗ khoan được ứng dụng rộng rãi nhất để phá vỡ đất đá. Tiếp theo là dạng lượng nổ tập trung được

ứng dụng phổ biến trong nổ mìn buồng, nổ mìn định hướng với qui mô lớn. Hiện tại, trong các hệ thống giáo trình ở nước ta mới chỉ đề cập các phương pháp tính toán thiết kế khi sử dụng lượng nổ dài và lượng nổ tập trung.

Ngày nay, người ta có thể tiến hành những vụ nổ đồng loạt lớn đến hàng nghìn tấn trở lên để phá vỡ và dịch chuyển đất đá. Việc sử dụng các lượng nổ có khối lượng lớn đã giúp dịch chuyển khối lượng lớn đất đá ra khỏi hố nổ nhưng đồng thời cũng phải tăng diện tích, chiều sâu hố nổ. Mặt khác phân mô chân tầng vẫn còn lớn làm tăng chi phí khắc phục. Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm được thực hiện tại Liên Xô cũ đã chỉ ra rằng, hướng văng của đất đá có thể được cải thiện bằng phương pháp sử dụng lượng nổ phẳng. Một lượng nổ phẳng thường được hiểu là một lượng nổ có chiều rộng và chiều dài lớn hơn nhiều so với độ dày của nó (4 lần trở lên). Trong trường hợp này, cấu hình của một lượng nổ phẳng có thể có các đường viền tùy ý nhất. Hình thức đơn giản nhất của lượng nổ phẳng là một tấm vật liệu nổ mỏng có bề mặt song song. Các tính toán cho thấy đối với các hoạt động nổ mìn, độ dày của các lượng nổ phẳng có thể thay đổi từ vài mm đến vài cm hoặc lớn hơn (tùy thuộc vào loại đá, độ sâu của vụ nổ và phạm vi đá văng cần thiết). Rõ ràng, một lượng nổ phẳng có độ dày như vậy khó có thể tạo được các buồng thuốc nổ trong đất đá. Tuy nhiên, lượng nổ phẳng có thể được thay thế bằng một hệ thống hoạt động tương đương với nó là các lượng nổ buồng hoặc lỗ khoan nằm trong cùng một mặt phẳng, gọi là *lượng nổ dạng phẳng*. Các hệ thống lượng nổ như vậy có thể là vụ nổ các lượng nổ buồng nhiều hàng được sử dụng để tạo thành các rãnh, taluy, đào kênh, mở luồng... hoặc có thể là vụ nổ các lượng nổ trong các lỗ khoan nằm trong cùng một hàng, đá nổ được tách ra dọc theo mặt phẳng của các lỗ khoan và di chuyển vuông góc với mặt phẳng này.

Trên hình 0.1 mô tả sự phá vỡ đất đá bằng lượng nổ dạng phẳng là nhóm các lượng nổ trong các lỗ khoan song song với nhau, trong trường hợp a, vùng

phá vỡ đất đá không tiếp xúc với nhau nên một phần đá vẫn nằm lại trong hố nổ (mô chân tảng) còn trường hợp b, c, vùng phá vỡ tiếp xúc với nhau hoặc chồng lên nhau làm cho đất đá bị phá vỡ và dịch chuyển ra khỏi hố nổ [69]. Hệ thống lượng nổ dạng phẳng dùng phá vỡ và dịch chuyển định hướng đất đá được sử dụng lần đầu tiên ở Liên Xô vào năm 1968 trong quá trình xây dựng một đập đá tại khu liên hợp thủy điện Baipazinsky trên sông Vakhsh [56].



Hình 0.1. Phá vỡ và dịch chuyển đất đá bằng lượng nổ dạng phẳng

Các nghiên cứu mới nhất đã chỉ ra tính ưu việt của lượng nổ dạng phẳng là tạo ra sóng nổ phẳng truyền trong đất đá. Sóng nổ phẳng sẽ suy giảm chậm hơn sóng do lượng nổ hình trụ hay hệ số tắt dần sóng ứng suất theo khoảng cách của lượng nổ dạng phẳng nhỏ hơn lượng nổ trụ [69]. Vì vậy, khi nổ lượng nổ dạng phẳng đất đá được bão hòa năng lượng, phá mạnh hơn và đập vỡ đều đặn hơn ở khoảng cách xa lượng thuốc. Kết quả thực tế đã chỉ ra rằng, với mức độ đập vỡ đất đá theo yêu cầu và đều đặn, thì khi nổ hai lỗ khoan gần nhau, thể tích phá hủy sẽ tăng lên $\sqrt{2}$ lần. Tuy nhiên cho đến nay lượng nổ dạng phẳng mới chỉ được nghiên cứu ứng dụng rộng rãi trong điều khiển văng xa đất đá, nổ mìn định hướng, còn quy luật đập vỡ đất đá của lượng nổ dạng phẳng vẫn còn nhiều vấn đề chưa được nghiên cứu đánh giá toàn diện.

Ngày nay, với sự phát triển vượt bậc của công nghệ khoan nổ mìn, đã cho phép khoan với các đường kính khác nhau có độ lớn đến 500 mm và chiều sâu khoan lên đến hàng trăm mét. Chính vì vậy việc tạo các lỗ khoan chôn thuốc

sát nhau để hình thành một lượng nổ dạng phẳng là không khó khăn gì.

Xu hướng chung trong lĩnh vực nghiên cứu về công tác nổ phá đất đá của thế giới ngày nay là việc hoàn thiện, tối ưu các thông số khoan nổ trên cơ sở tối ưu quá trình sản xuất. Chính vì lý do trên mà việc nghiên cứu quy luật phá vỡ đất đá của lượng nổ dạng phẳng để làm cơ sở ứng dụng hiệu quả trong các điều kiện thi công của Việt Nam là một nhiệm vụ có tính cấp thiết, có ý nghĩa khoa học thực tiễn và cũng là lý do để tác giả lựa chọn đề tài: ***“Nghiên cứu hoàn thiện quy luật phá vỡ đất đá của lượng nổ dạng phẳng”***.

2. Mục đích nghiên cứu của luận án

- Nghiên cứu trường năng lượng nổ của lượng nổ dạng phẳng hình thành do nổ nhóm các lượng nổ dài song song gần nhau trong cùng một mặt phẳng trong môi trường đất đá.

- Xây dựng chương trình tính toán, khảo sát tác dụng phá hủy đất đá của lượng nổ dạng phẳng.

- Nghiên cứu thực nghiệm về các quy luật phá vỡ đất đá của lượng nổ dạng phẳng, so sánh với lượng nổ tập trung và lượng nổ dài, để từ đó đưa ra phương pháp tính toán áp dụng và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả nổ.

3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án: Trường năng lượng nổ xung quanh lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng (hệ thống các lượng nổ dài song song gần nhau); mối quan hệ giữa năng lượng và kích cỡ cục đá phá ra; các quy luật thực nghiệm về sự phụ thuộc mức độ đập vỡ đất đá (MĐĐVĐĐ) vào hình dạng lượng nổ và điều kiện nổ.

Phạm vi nghiên cứu của luận án: Nghiên cứu các quy luật phá vỡ đất đá của lượng nổ dạng phẳng (có kết hợp với nghiên cứu lượng nổ tập trung, lượng nổ dài để so sánh) bằng phương pháp nghiên cứu lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp lý thuyết kết hợp với thử nghiệm số trên máy tính và phương pháp thực nghiệm.

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: giải tích, phân tích, phương pháp số, lý thuyết đồng dạng. Phương pháp số trong luận án sử dụng chương trình tính toán được xây dựng dựa trên ngôn ngữ lập trình Matlab.

- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm: nổ thí nghiệm trên mô hình thu nhỏ và nổ thí nghiệm thực tế ngoài hiện trường.

5. Luận điểm bảo vệ

- Mức độ suy giảm mật độ năng lượng nổ (hay cường độ sóng nổ) theo khoảng cách phụ thuộc vào hình dạng lượng nổ. Lượng nổ tập trung có mức độ suy giảm năng lượng theo khoảng cách lớn nhất, tiếp đến là lượng nổ dài và lượng nổ phẳng.

- Khi cùng một khối lượng thuốc nổ, luôn tồn tại một vùng thông số lượng nổ hợp lý để đảm bảo hiệu quả phá hủy, hiệu quả đập vỡ đất đá tăng dần từ lượng nổ tập trung đến lượng nổ dài, tiếp đến là lượng nổ phẳng.

6. Các điểm mới của luận án

- Nghiên cứu lý thuyết, xây dựng chương trình tính toán khảo sát trường năng lượng nổ xung quanh lượng nổ dạng phẳng trong môi trường đất đá vô hạn theo lý thuyết thủy động lực học nổ.

- Thiết lập các quy luật thực nghiệm của 3 dạng lượng nổ (tập trung, dài, dạng phẳng) với các điều kiện nổ trong môi trường vô hạn, có mặt thoáng phụ và hữu hạn.

- Đánh giá ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ và điều kiện mặt thoáng đến MĐĐVĐĐ.

- Nghiên cứu về ảnh hưởng của khoảng cách giữa các lượng nổ đến kích thước vùng phá hủy, chỉ tiêu thuốc nổ và sự phân bố thành phần cỡ hạt.

- Đề xuất phương pháp tính toán kích thước trung bình cỡ hạt của các dạng lượng nổ khác nhau phụ thuộc vào năng lượng nổ (chỉ tiêu thuốc nổ), hình dạng lượng nổ, điều kiện môi trường nổ dựa trên các hệ số thực nghiệm.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Các kết quả nghiên cứu của luận án đã góp phần hoàn thiện thêm các nghiên cứu khoa học trước đó về nâng cao hiệu quả phá vỡ đất đá, tối ưu hóa bố trí lượng nổ và giảm khối lượng sử dụng thuốc nổ, hoàn thiện hệ thống lý luận phá hủy, đập vỡ đất đá dùng lượng nổ dạng phẳng. Khi sử dụng lượng nổ dạng phẳng (nhóm lượng nổ dài song song) hợp lý sẽ quyết định chất lượng đập vỡ và hiệu quả của công tác nổ mìn.

Kết quả nghiên cứu có thể dùng làm tài liệu tham khảo và hướng dẫn thí nghiệm trong tính toán, thiết kế, điều khiển nâng cao hiệu quả đập vỡ của các hệ chiếu nổ phục vụ xây dựng các công trình quốc phòng, giao thông, thủy lợi, khai thác mỏ... với các điều kiện nổ ngầm, nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ và nổ trong môi trường hữu hạn.

8. Cấu trúc của luận án

Luận án gồm có: phần mở đầu, 5 chương và phần kết luận chung.

Mở đầu

Chương 1. Tổng quan về công tác nổ mìn trong môi trường đất đá

Chương 2. Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về tác dụng cơ học của nổ trong môi trường đất đá

Chương 3. Xây dựng mô hình và chương trình tính toán, khảo sát tác dụng phá hủy của lượng nổ dạng phẳng

Chương 4. Nghiên cứu thực nghiệm

Chương 5. Phân tích các quy luật phá vỡ đất đá và đề xuất phương pháp tính toán áp dụng

Kết luận chung

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ CÔNG TÁC NỔ MÌN TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT ĐÁ

1.1. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài

1.1.1. Nghiên cứu lý luận chung về tác dụng nổ trong môi trường đất đá

Từ năm 1669 đến 1875 rất nhiều nhà nghiên cứu như Vauban, Megrin, Belidor, Lebren, Minhikke đã đề xuất hình dạng phễu nổ khác nhau như nón vuông, nón cụt, paraboloid... và đưa ra các cách tính toán lượng nổ. Cũng trong giai đoạn này có rất nhiều nhà nghiên cứu đã đưa ra cách xác định hàm chỉ số tác dụng nổ $f(n)$ (M.M. Phorolov, Borexkov...) [47], [48], [55], [62].

Vào đầu thế kỷ 17 đã bắt đầu xuất hiện các công trình nghiên cứu về tác động nổ trong môi trường đất đá và các phương pháp tính toán cơ bản để xác định lượng nổ. Tuy nhiên vì tính chất đặc biệt phức tạp và xảy ra tức thì của quá trình nổ nên đến nay vẫn chưa có một công trình lý thuyết nào mô tả một cách định lượng hoàn chỉnh về sự hình thành hiện tượng nổ.

Mặc dù các nghiên cứu không đưa ra các công thức lý thuyết chung, nhưng người ta vẫn cho phép sử dụng rộng rãi phương pháp này để tính toán lượng nổ. Hàng loạt các công trình nghiên cứu được bắt đầu từ thế kỷ XVIII, (như của Belidor; M.M. Phorolov; Karchepski; U. Langefors; X.D Osnolvin; M.P. Brodski; A.Ph. Xukhanov; V.I Terentev ...) cho rằng, một phần năng lượng rất nhỏ tiêu hao vào việc phá huỷ khối đá theo bề mặt hông của phễu, khắc phục trọng lực hoặc lực quán tính của thể tích khối đá nổ và phá huỷ sơ bộ đá bên trong thể tích phễu [21], [35], [36], [41], [43], [44], [46], [55], [62], [63], [68].

Việc nghiên cứu bản chất vật lý của dòng chảy môi trường khi nổ để đưa ra các công thức tính toán lượng nổ, được phát triển theo các hướng sau:

Hướng 1: Nghiên cứu sự biến dạng của môi trường đất đá bằng việc tính toán quá trình truyền năng lượng vào đất đá và ảnh hưởng của nó trong quá

trình phá huỷ. Theo hướng này điển hình có các nhà khoa học G.I. Pokrovskiy; A.N. Khanukaev và Ph.I Kucheriev,... [64], [68]. Hướng nghiên cứu này có ưu điểm mô tả được tương đối toàn diện quá trình cơ học phá huỷ đất đá bằng nổ.

Hướng 2: Coi đất đá giống như một môi trường chất lỏng lý tưởng không chịu nén và nghiên cứu sự phân bố năng lượng nổ trong đất đá. Theo hướng này điển hình có O.E. Vlastov và được một số nhà khoa học khác đã chấp nhận quan điểm này và giải bài toán bằng các phương pháp khác [51].

Hướng 3: Tiến hành các nghiên cứu thực nghiệm để nghiên cứu các thông số phá nổ hoặc các qui luật thực nghiệm với các mô hình sau: nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình thực; nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình thu nhỏ với lượng nổ nhỏ hoặc năng lượng điện; nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình mạch điện.

Cho đến nay, hệ thống cơ sở lý thuyết về tác động nổ nói chung trong các môi trường đất đá tương đối hoàn thiện. Tuy nhiên việc nghiên cứu và áp dụng vào thực tiễn cần tiếp tục nghiên cứu tối ưu.

1.1.2. Nghiên cứu xác định các thông số khoan nổ mìn

a) Mức độ tiêu tốn thuốc nổ

Chỉ tiêu thuốc nổ được nghiên cứu cùng với quá trình nghiên cứu về phễu nổ, bán kính phá huỷ. Cho đến nay, chỉ tiêu thuốc nổ được xác định theo các quan điểm cơ bản sau [21]:

- Chỉ tiêu thuốc nổ theo quan điểm tạo thành phễu nổ [12], [21]:

+ Chỉ tiêu thuốc nổ vãng (K_c):

$$K_c = \frac{Q}{f(n)w_r^3}, \text{ kg/m}^3 \quad (1.1)$$

trong đó: Q – khối lượng thuốc nổ (kg);

w_r – đường cản ngắn nhất từ tâm nổ đến mặt thoáng (m).

+ Chỉ tiêu thuốc nổ om (q_o) khi nổ lộ thiên:

$$q_o = 0,33.K_c, \text{ kg/m}^3 \quad (1.2)$$

- Chỉ tiêu thuốc nổ theo quan điểm phụ thuộc vào kích thước cục đá phá ra, điều kiện nổ, điều kiện địa chất [21].

Công thức của B.N. Kutuzov Đại học Tổng hợp Quốc gia Moxkva:

$$q = 0,13.\gamma_d \sqrt[4]{f} (0,6 + 3,3.10^{-3} d_n d_t) \left(\frac{0,5}{d_c} \right)^{2/5} K_{qc}, \text{ kg/m}^3 \quad (1.3)$$

trong đó: γ_d – khối lượng riêng của đất đá, T/m³; f – độ cứng đất đá theo thang Protodyakonov; d_n – kích thước trung bình các cục đá nứt nẻ trong khối, m; d_t – đường kính của lượng nổ (lấy bằng đường kính mũi khoan), mm; d_c – kích thước của cục đá theo yêu cầu, m; K_{qc} – hệ số chuyển đổi năng lượng của chất nổ sử dụng về chất nổ chuẩn.

b) Nghiên cứu về đường cản ngắn nhất hay bán kính phá hủy của lỗ mìn

Đây là thông số cơ bản để tính toán các thông số dẫn xuất tiếp theo là khoảng cách giữa hai lỗ khoan và khoảng cách giữa hai hàng lỗ khoan, có thể chia làm hai nhóm cơ bản:

- Coi lượng nổ dài khi nổ phát sinh sóng hình trụ, vì vậy việc phá hủy có tính đối xứng trục. Ứng dụng lý thuyết đồng dạng của Xadovxkiy, Xedov, Pakrovxkiy và nhiều tác giả khác đã đưa ra công thức tính bán kính phá hủy tỉ lệ thuận với bán kính lượng nổ và phụ thuộc vào loại đất đá. Công thức có dạng chung [12], [64], [65], [66], [67]:

$$R_p = k_p \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (1.4)$$

trong đó: R_p – bán kính vùng tác dụng nổ, (m); Q – khối lượng thuốc nổ, (kg); k_p – hệ số phụ thuộc vào đặc trưng phá hoại và điều kiện địa chất, ở điều kiện địa chất khác nhau thì trị số biến đổi khác nhau.

Cũng theo quan điểm này Davurdov đã đưa ra công thức xác định đường cản ngắn nhất khi nổ một hàng mìn có dạng [21]:

$$w_r = 53.K_n.d_k \sqrt{\frac{\Delta_m}{\rho_d k_{cd}}}, \text{ m} \quad (1.5)$$

trong đó: K_n – hệ số nứt nẻ, $K_n=1; 1,1; 1,2$ – tương ứng trong đất đá không nứt nẻ, nứt nẻ vừa và nứt nẻ mạnh; d_k – đường kính lỗ khoan, m; Δ_m – mật độ chất nổ, T/m³; ρ_d – mật độ của đất đá, T/m³; k_{cd} – hệ số chuyển đổi khả năng công nổ của chất nổ.

1.1.3. Nghiên cứu về MĐĐVĐĐ

Khi MĐĐVĐĐ thay đổi, sẽ liên quan đến thay đổi chỉ tiêu thuốc nổ, đến chiều dài và bố trí lỗ khoan và làm thay đổi mức độ khó dễ của các công việc xúc bốc, vận chuyển [8], [12]. Trên thế giới các nhà khoa học về lĩnh vực công tác khoan nổ đã dành nhiều công trình để nghiên cứu kết hợp cả lý thuyết và thực nghiệm và được chia làm 2 nhóm chủ yếu là:

Nhóm 1 – *Nghiên cứu quy luật đập vỡ đất đá bằng nổ mìn. Các hướng nghiên cứu theo nhóm này gồm có:*

- Nghiên cứu các quy luật phân bố cỡ hạt sau nổ mìn được hàng loạt các nhà nghiên cứu tại Nga, Mỹ, Thụy Điển... quan tâm, thiết lập các quy luật dự báo hàm lượng cỡ hạt theo kích thước của nó. Các phương pháp chính được sử dụng để nghiên cứu đập vỡ đất đá gồm phương pháp xác suất thống kê và năng lượng xác suất [21].

Phương pháp xác suất thống kê: việc dự báo MĐĐVĐĐ dựa vào độ bền, độ nứt nẻ, tính chất của thuốc nổ và việc bố trí chúng trong khối đá...

Phương pháp năng lượng xác suất: Theo hướng này có các nhà khoa học của Nga và Mỹ cho rằng hiệu quả đập vỡ đất đá bằng nổ mìn phụ thuộc vào năng lượng nổ truyền vào môi trường đất đá, tính chất môi trường và số mặt tự do, trong đó nhấn mạnh vai trò rất quan trọng của độ nứt nẻ, thể nằm và tính gián đoạn của đất đá. Các đặc trưng này có tính chất ngẫu nhiên và không biết trước, vì vậy có lợi nhất là sử dụng chỉ tiêu năng lượng phá hủy và phương

pháp năng lượng xác suất để mô tả thành phần cỡ hạt [63].

- Nghiên cứu mối quan hệ giữa tỉ lệ đá quá cỡ sau nổ với các thông số khoan nổ. Nhiều công trình khoa học của B.N. Kutuzov, V.K. Rupxov, D.M Bronnhicov đã dựa trên các số liệu phân tích thực nghiệm và quan điểm lý luận để thiết lập các quy luật phản ánh mối quan hệ giữa tỉ lệ đá quá cỡ và các thông số khoan nổ [47], [55], [50], [57], 58], [62].

Nhóm 2 – *Nghiên cứu các giải pháp điều khiển nâng cao chất lượng đập vỡ đất đá bằng nổ mìn. Các hướng nghiên cứu theo nhóm này gồm có:*

- Điều khiển cường độ, thời gian tồn tại và hình dạng xung nổ tới chất lượng đập vỡ. Điển hình của hướng nghiên cứu này có các tác giả như K.N. Khatruc, A.N. Khanukaev [12], [21], [52], [55], [67], [68].

- Điều khiển thông qua thay đổi chỉ tiêu thuốc nổ: đây là phương pháp thay đổi được cường độ đập vỡ đất đá trong khoảng rộng. Muốn tăng cường MĐĐVĐĐ thì phải tăng chỉ tiêu thuốc nổ (q). Khi tăng q thì MĐĐVĐĐ ở giai đoạn đầu tăng mạnh, sau đó giảm dần tiến tới trạng thái bão hòa.

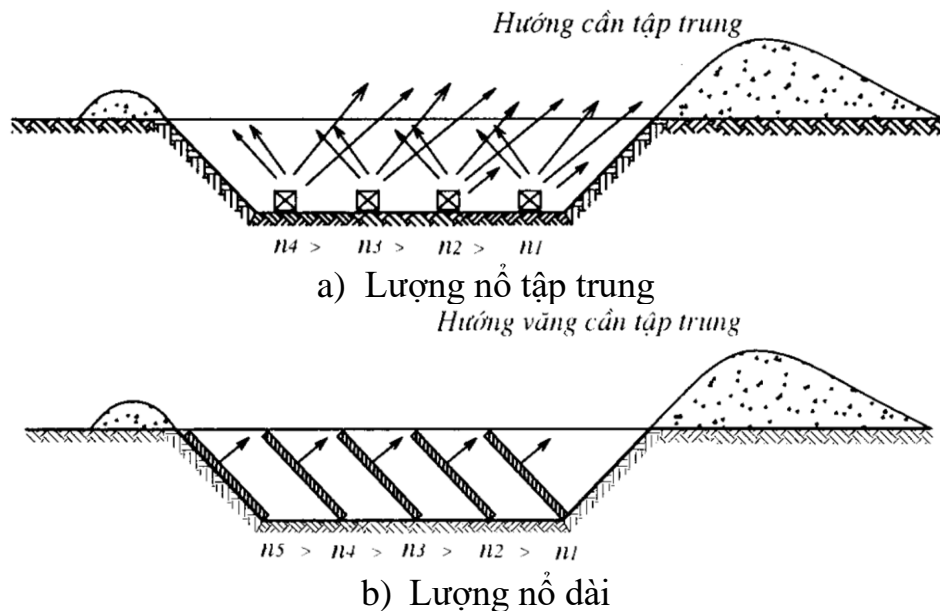
- Điều khiển các thông số mạng lỗ khoan. Nghiên cứu của B.N. Kutuzov cho thấy đường kháng chân tầng cần tỉ lệ thuận với đường kính lượng thuốc nổ và trong mỗi loại đất đá sẽ tồn tại một chỉ số tỉ lệ đảm bảo chất lượng đập vỡ và bán kính vùng đập vỡ là tối đa. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng khoảng cách giữa các lỗ khoan tỉ lệ với đường kháng thông qua hệ số làm gần. Chất lượng đập vỡ đất đá được điều chỉnh thông qua việc điều chỉnh hệ số làm gần này [53], [54], [56][63].

- Điều khiển bằng sử dụng phương pháp nổ mìn vi sai: Việc lựa chọn các thông số thời gian vi sai và sơ đồ vi sai của mạng điện và dây nổ hợp lý sẽ nâng cao hiệu quả của MĐĐVĐĐ và tăng hiệu quả kinh tế.

Điều khiển bằng thay đổi điều kiện nổ: thay đổi số mặt thoáng khi nổ cũng sẽ làm ảnh hưởng đến MĐĐVĐĐ.

1.1.4. Nghiên cứu ứng dụng năng lượng nổ để phá vỡ và dịch chuyển định hướng đất đá

Nổ mìn định hướng được Liên Xô cũ đề xuất đầu tiên từ những năm 20 của thế kỷ XX gồm những nhà khoa học hàng đầu như G.I. Pokrovskiy, M.A. Lavrentieva, B.N. Kutuzov... Lượng nổ khi nổ định hướng có thể bố trí theo nhiều cách: trong các lỗ khoan (khi thi công mặt bằng, bóc đất đá ở các tầng khai thác mỏ lộ thiên...), trong các đường ống mềm kéo dài (đào hào rãnh nhỏ, mương dẫn nước...), hoặc trong các buồng lớn (khi khối lượng đất đá cần phá lớn và tập trung) [52], [56], [57], [59], [60], [61].

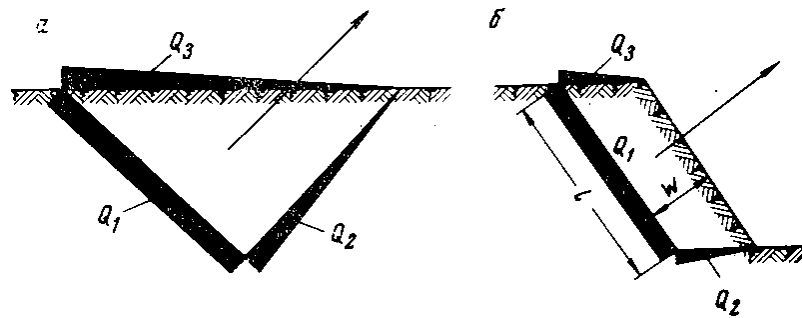


Hình 1.1. Bố trí các lượng nổ khi nổ văng xa định hướng

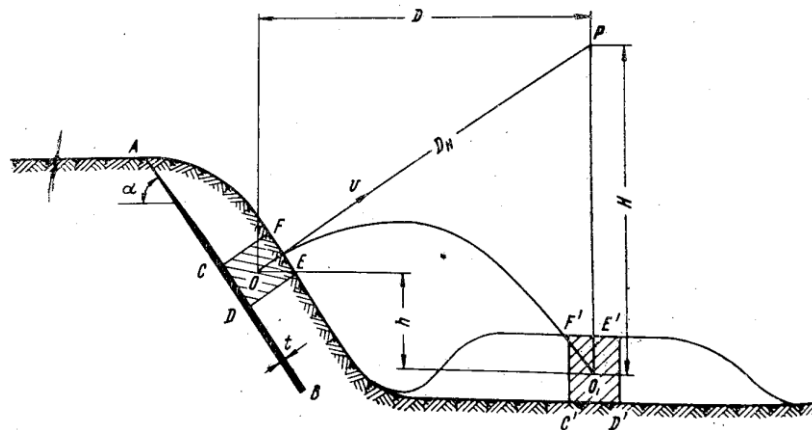
Hướng dịch chuyển đất đá có thể là một phía (đắp đập), hai phía (đào kênh rạch) hoặc nhiều phía (đào ao hồ). Định hướng dịch chuyển đất đá trong các trường hợp này được tiến hành bằng cách sắp xếp vị trí các lượng thuốc, điều khiển vị sai và lợi dụng điều kiện cụ thể của địa hình.

Chuyển động của các sản phẩm của vụ nổ lượng nổ phẳng sẽ di chuyển theo cùng một hướng. Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về việc sử dụng lượng nổ phẳng dịch chuyển định hướng đất đá đã được M. A. Lavrentieva bắt đầu thực hiện lần đầu tiên tại Chi nhánh Siberi của Viện Hàn lâm Khoa học

Liên Xô. Theo quan điểm nổ mìn định hướng với việc sử dụng mặt thoáng, sau nổ vẫn tồn tại một phần đáng kể đất đá bay theo hướng khác và rơi lại chỗ cũ, vì vậy cần bố trí các lượng nổ theo một lược đồ và tỉ lệ nhất định để văng tập trung đất đá theo hướng thiết kế. Các lược đồ phân bố thuốc nổ và sơ đồ dịch chuyển đất đá có dạng như mô tả ở hình 1.2, hình 1.3.

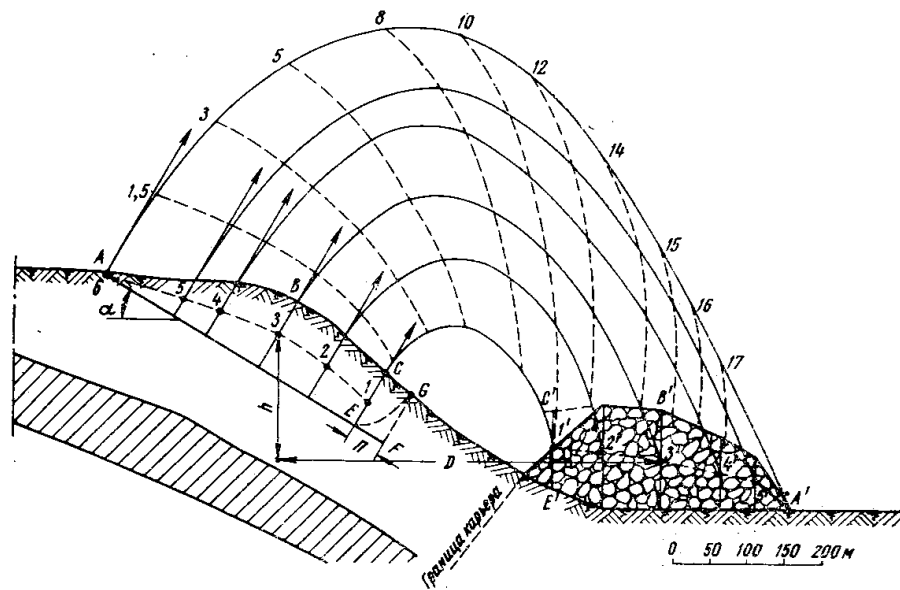


Hình 1.2. Lược đồ phân bố thuốc nổ [69]



Hình 1.3. Sơ đồ phóng đá bằng lượng nổ phẳng [69]

Nếu bề mặt tự do của lớp đất đá cần phá vỡ có hình dạng tùy ý, thì đường kính (chiều dày) của lượng nổ sẽ thay đổi dọc theo chiều dài của nó, để tiện cho việc tính toán người ta sẽ chia lượng nổ thành một số phần, vẽ qua các đường thẳng vuông góc với lượng nổ (hình 1.4), phần khối đá bị hất văng bởi vụ nổ cũng được chia thành các phần có chiều rộng bằng với phần tương ứng của lượng nổ.

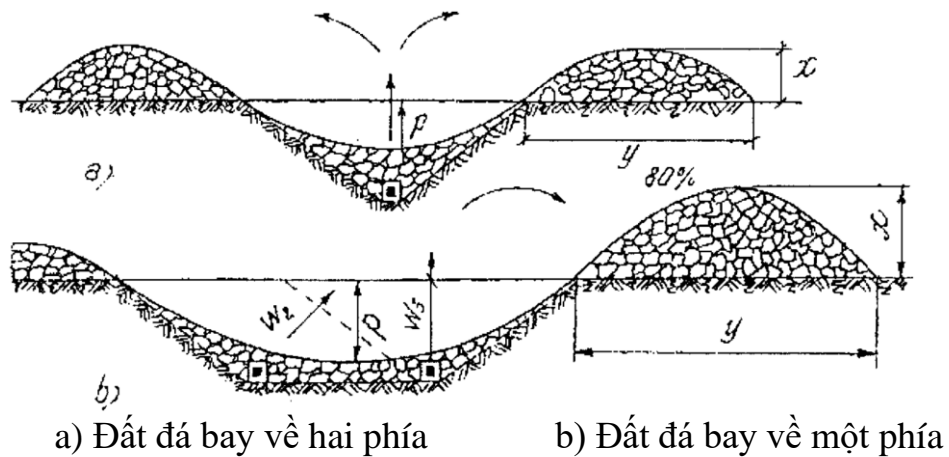


Hình 1.4. Bóc đất đá định hướng bằng lượng nổ phẳng [69]

Kết quả nghiên cứu của A. A. Chernigovskiy đã đưa ra được các công thức tính toán các thông số lượng nổ khi sử dụng lượng nổ phẳng và hệ thống lượng nổ thay thế tương đương nhằm phá vỡ và dịch chuyển định hướng đất đá, với giả thiết rằng hiệu quả của vụ nổ của một lượng nổ phẳng và hệ thống thay thế nó là như nhau [69], [70]. Trên thực tế, giả định này không hoàn toàn chính xác, vì hiệu quả của một lượng nổ phẳng luôn cao hơn so với các lượng nổ khác có trọng lượng tương đương, tuy nhiên để đơn giản tính toán sự khác biệt này trong các tính toán đã được bỏ qua.

1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Ở Việt Nam việc ứng dụng năng lượng nổ để phá vỡ đất đá cứng được sử dụng phổ biến trong nhiều lĩnh vực như quốc phòng, giao thông, thủy lợi, xây dựng và đặc biệt là ngành khai thác mỏ với một khối lượng lớn. Hàng năm chúng ta đã phá vỡ hàng trăm triệu m^3 đất đá bằng công tác nổ mìn. Tùy thuộc vào hệ thống khai thác, đồng bộ thiết bị, yêu cầu mục đích nổ mìn mà có các dạng công nghệ nổ mìn: nổ mìn định hướng (hình 1.5), nổ mìn buồng hay lỗ khoan làm tơi đất đá, nổ mìn đào đường hầm [1], [3], [4], [8], [15], [17], [21].



Hình 1.5. Nổ mìn định hướng

Các nghiên cứu ứng dụng nổ ở nước ta nhìn chung còn hạn chế về nhiều mặt như số lượng công trình và số lượng các nhà khoa học nghiên cứu về nổ. Các đơn vị, cơ quan, nhà trường nghiên cứu về nổ ở nước ta có thể kể đến như: Hội Kỹ thuật nổ mìn Việt Nam, Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam, Viện Khoa học Công nghệ Mỏ, Đại học Mỏ – Địa chất, Học viện Kỹ thuật quân sự, Viện Kỹ thuật Công binh... Tuy nhiên, do nhiều nguyên nhân, số lượng các nhà khoa học chuyên sâu về nổ ở nước ta không nhiều, lực lượng kế cận còn hạn chế và số lượng công trình nghiên cứu về nổ công bố cũng ít, điều này diễn ra ở hầu khắp các đơn vị. Như vậy, lĩnh vực nghiên cứu về nổ rất đặc thù, khó khăn về nhiều mặt và thực tế đã chứng minh còn rất nhiều vấn đề về nổ nói chung cần đầu tư nghiên cứu sâu và rộng hơn nữa.

Trong nước chủ yếu việc nghiên cứu theo hướng kế thừa phát triển và hoàn thiện lý thuyết nổ nhằm ứng dụng hiệu quả trong điều kiện Việt Nam, có thể được chia ra như sau:

- Nghiên cứu phá đá bằng lượng nổ dài trong lỗ khoan khi thi công các công trình trên mặt đất như nghiên cứu nâng cao hiệu quả nổ, hoàn thiện các thông số khoan nổ mìn, phát triển ứng dụng công nghệ nổ vi sai và nghiên cứu điều khiển quá trình đập vỡ đất đá. Theo hướng này có các tác giả Nhữ Văn Bách, Lê Quang Hồng, Hồ Sĩ Giao, Bùi Xuân Nam, Phạm Văn Hòa, Võ Trọng

Hùng, Lê Văn Quyên, Trần Quang Hiếu... [3], [6], [11], [13], [26], [27], [28], [34].

Các công trình nghiên cứu cụ thể như: Năm 1989, nhóm nghiên cứu của trường Đại học Mỏ – Địa chất đã tiến hành nghiên cứu hoàn thiện các thông số nổ mìn tại mỏ Đèo Nai. Năm 2012, tại Đức, tác giả Phạm Văn Hòa đã công bố kết quả nghiên cứu về sự ảnh hưởng của chiều dài lượng nổ đến đường kháng chân tầng khi nổ mìn trên các công trường lộ thiên.

- *Nghiên cứu phá đá bằng lượng nổ dài trong lỗ khoan khi thi công công trình ngầm, như nghiên cứu nâng cao hiệu quả nổ, hoàn thiện các thông số khoan nổ mìn, nổ tạo biên, nổ vi sai và nghiên cứu điều khiển quá trình đập vỡ đất đá.* Theo hướng này có nhóm nghiên cứu của Học viện Kỹ thuật quân sự gồm các tác giả Nguyễn Quang Trung, Nguyễn Thuận, Đàm Trọng Thắng, Đỗ Như Tráng, Cao Chu Quang, Vũ Trọng Hiếu, Lê Văn Trung...; nhóm nghiên cứu của Đại học Mỏ – Địa chất gồm các tác giả Võ Trọng Hùng, Đào Văn Canh... [12], [16], [18], [19], [20], [29], [30], [32], [33].

Các công trình nghiên cứu cụ thể như: Từ năm 1989 đến 1991, nhóm nghiên cứu do tác giả Lê Văn Trung (Binh chủng Công binh) đứng đầu, có một số công trình nghiên cứu lý thuyết thủy động lực học và thực nghiệm về ảnh hưởng của chiều dài tương đối lượng nổ đến bán kính vùng phá huỷ. Từ năm 2011 đến 2014, tác giả Võ Trọng Hùng đã có các công trình nghiên cứu về chiều sâu lỗ mìn hợp lý, nghiên cứu xác định số lượng, khoảng cách và phương pháp bố trí các lỗ mìn hợp lý trên gương khi thi công công trình ngầm. Năm 2012 nhóm nghiên cứu do tác giả Đàm Trọng Thắng làm chủ nhiệm đã công bố kết quả nghiên cứu về nâng cao hiệu quả nổ mìn tạo biên, sử dụng các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật như hệ số sử dụng lỗ khoan, hệ số thừa tiết diện và tỉ lệ lỗ khoan biên để lại vết làm tiêu chí đánh giá hiệu quả nổ trong đường hầm.

- *Nghiên cứu nổ mìn định hướng bằng lượng nổ tập trung.* Theo hướng

này có các tác giả Nhữ Văn Bách, Nguyễn Đăng Tề... [2], [6].

- *Nghiên cứu về tác dụng cơ học của nổ dưới nước bằng lượng nổ dài và lượng nổ tập trung.* Theo hướng này có các tác giả Nguyễn Hoa Thịnh, Nguyễn Văn Hợi, Vũ Đình Lợi, Lê Văn Trung, Đàm Trọng Thắng, Tô Đức Thọ ... [12], [24].

Một số công trình nghiên cứu tiêu biểu như: Năm 2007 tại Nga, tác giả Đàm Trọng Thắng và V.A Belin đã giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm về sự ảnh hưởng của chiều dài lượng nổ đến bán kính phá hủy khi nổ mìn phá đá dưới nước. Nhóm tác giả Vũ Đình Lợi, Đàm Trọng Thắng, Tô Đức Thọ đã nghiên cứu sự lan truyền của sóng nổ trong nước và tương tác của sóng nổ đối với chướng ngại công trình.

- *Nghiên cứu ứng dụng lượng nổ phẳng để phá vỡ và dịch chuyển đất đá.* Theo hướng này có các tác giả Nguyễn Thanh Tuân, Nhữ Văn Bách... [3].

- *Nghiên cứu ứng dụng một số mô hình trí tuệ nhân tạo dự báo chấn động nổ mìn trong khai thác mỏ lộ thiên, dự đoán MDDVDD và các thông số tác dụng nổ.* Theo hướng này có nhóm nghiên cứu của Đại học Mỏ – Địa chất gồm các tác giả Bùi Xuân Nam, Nguyễn Hoàng; nhóm nghiên cứu của Học viện KTQS gồm các tác giả Vũ Văn Tuấn, Đàm Trọng Thắng, Vũ Tùng Lâm...

Nhóm tác giả Bùi Xuân Nam, Nguyễn Hoàng, Trần Quang Hiếu... đã nghiên cứu một số mô hình trí tuệ nhân tạo để dự báo chấn động nổ mìn trong khai thác mỏ lộ thiên, nghiên cứu các thuật toán tối ưu dự báo chấn động nổ mìn, các nghiên cứu về khai thác mỏ an toàn...; Tác giả Võ Trọng Hùng có các công trình nghiên cứu đề xuất phương pháp đánh giá mức độ chấn động nổ mìn khi thi công đường hầm. Tác giả Phạm Văn Hòa, Nguyễn Đình An... có các công trình nghiên cứu về xác định các thông số nổ mìn hợp lý nhằm nâng cao hiệu quả nổ mìn, giảm thiểu tác động có hại tới môi trường, nghiên cứu hoàn thiện các thông số nổ mìn khi sử dụng lỗ khoan đường kính lớn, đánh giá ảnh

hường của độ khó nổ đến MĐĐVĐĐ...

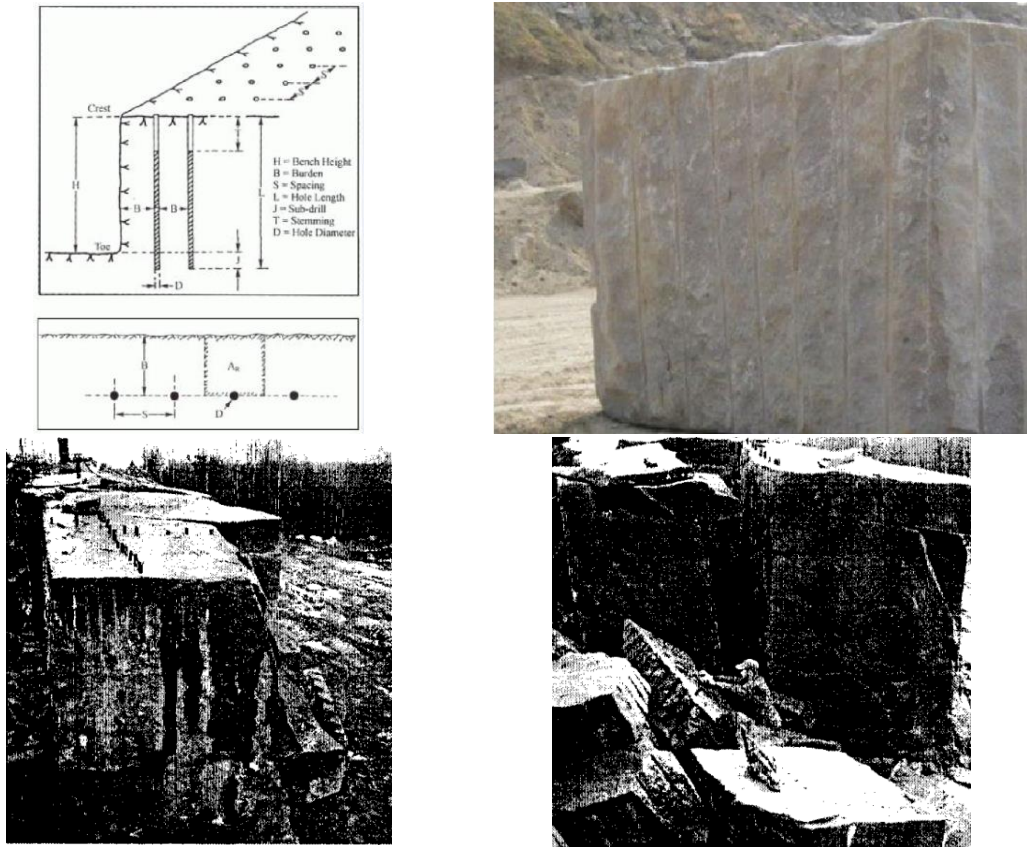
- *Nghiên cứu điều khiển quá trình đập vỡ đất đá bằng nổ.* Theo hướng này có nhóm tác giả Nhữ Văn Bách, Lê Văn Quyền, Đàm Trọng Thắng, Vũ Trọng Hiếu... [1], [3], [5], [14], [16], [23], [25], [31].

Về MĐĐVĐĐ hợp lý, tác giả Nhữ Văn Bách đã thiết lập quy luật phân bố cỡ hạt dựa trên phương trình Goden-Andrep để mô tả quy luật phân bố cỡ hạt đập vỡ bằng nổ mìn phù hợp với đất đá nứt nẻ [8]. Tác giả Lê Văn Quyền đã nghiên cứu mối quan hệ giữa các thông số khoan nổ với MĐĐVĐĐ hợp lý, ảnh hưởng của thành phần cỡ hạt đất đá đến hiệu quả của các khâu công nghệ chính trong dây chuyền sản xuất trên mỏ lộ thiên. Tác giả Đàm Trọng Thắng, Vũ Trọng Hiếu đã có các công trình nghiên cứu về trường năng lượng nổ và vùng phá hủy đất đá của lượng nổ dài, nghiên cứu cơ sở lý thuyết và thực nghiệm sự ảnh hưởng của chiều dài lượng nổ đến hình dạng vùng phá hủy và MĐĐVĐĐ [14].

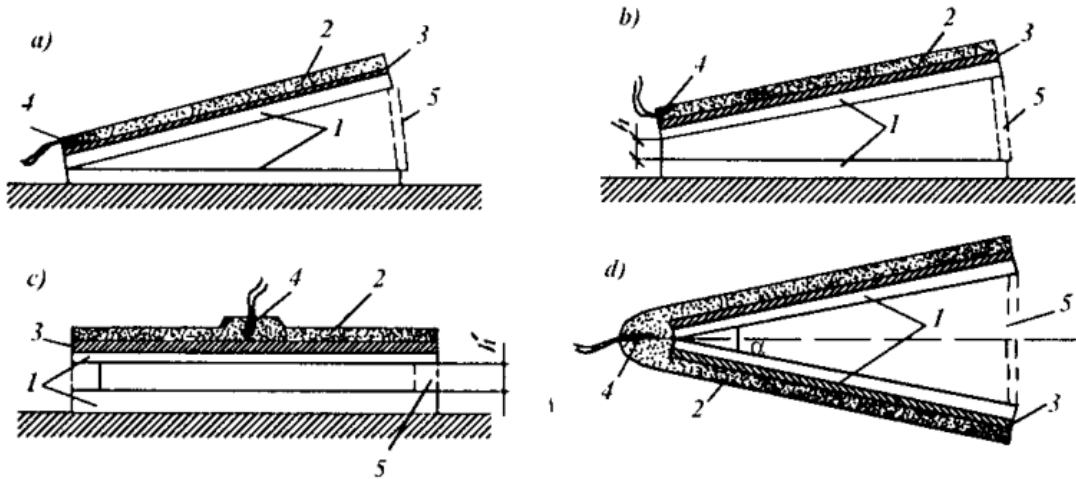
Trong công tác nổ mìn phá đá, sản xuất và ứng dụng năng lượng nổ thì việc sử dụng lượng nổ phẳng vẫn còn hạn chế chủ yếu là nổ mìn định hướng để phá vỡ và dịch chuyển đất đá theo vị trí thiết kế (hình 1.5, hình 1.10), nổ mìn tạo biên nhẵn trong thi công đường hầm (hình 1.7), nổ mìn tạo mặt nhẵn trong khai thác đá khối (hình 1.8), hàn các tấm kim loại (hình 1.9)...



Hình 1.6. Nổ mìn tạo mặt nhẵn ở biên đường hầm



Hình 1.7. Nổ mìn tạo mặt nhẵn trong khai thác đá khối



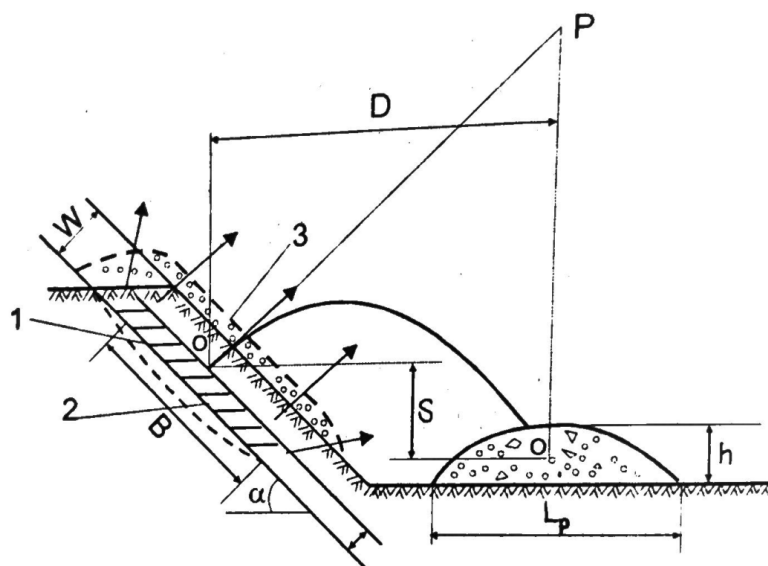
Hình 1.8. Sử dụng lượng nổ phẳng để hàn kim loại

1. Các tấm kim loại cần hàn với nhau; 2. Thuốc nổ; 3. Lớp đệm parafin;
4. Kíp nổ; 5. Thanh chống tạm thời

Tác giả Nguyễn Thanh Tuấn đã nghiên cứu ứng dụng điều khiển quá trình phá vỡ và dịch chuyển đất đá bằng lượng nổ phẳng được công bố trong luận án tiến sĩ, ứng dụng lượng nổ phẳng theo dạng hệ các lỗ khoan song song gần nhau

trên cùng một mặt phẳng để phá hủy và dịch chuyển đất đá từ trên đỉnh núi xuống chân núi mà không cần thiết bị bóc xúc.

Tác giả Nhữ Văn Bách đã giới thiệu, đề cập nguyên lý ứng dụng lượng nổ phẳng dạng các lỗ khoan song song gần nhau để phá vỡ và dịch chuyển định hướng đất đá đến phạm vi thiết kế (hình 1.10).



Hình 1.9. Sơ đồ đá bay khi nổ lượng nổ dạng phẳng [3]

1- Cột thuốc nổ 2- Thể tích buồng khí nổ 3- Ranh giới khí nổ

Khi nổ mìn buồng đất đá được văng về tất cả mọi phía, một phần đáng kể rơi lại hố nổ. Trong những điều kiện nhất định, hướng bay ban đầu vuông góc với mặt phẳng lượng thuốc. Khi thay đổi góc nghiêng và khối lượng cần thiết của lượng thuốc thì có thể đạt được độ xa và hướng theo yêu cầu [3]. Khi nổ lượng thuốc phẳng thì hệ số tác dụng nổ hữu ích lớn hơn so với khi nổ mìn buồng vì khi đó toàn bộ khối nổ chuyển động với tốc độ như nhau (trừ một phần nhỏ thể tích ở 2 đầu lượng thuốc), còn khi nổ mìn buồng thì có sự khác nhau lớn về gradient tốc độ làm phát sinh lực ma sát biến năng lượng chuyển động tịnh tiến thành biến dạng dẻo và nhiệt. Như vậy khi sử dụng lượng nổ phẳng có nhiều ưu điểm về khả năng hất đất đá về một phía, về mức độ tập trung của đồng đá, về chất lượng đập vỡ và tạo tầng theo thiết kế. Nếu khối

lượng nổ phẳng tương đối nhỏ, chiều dài và chiều rộng của nó lớn hơn nhiều so với bề dày của lớp đất đá cần nổ vỡ thì ranh giới phân chia giữa sản phẩm nổ và đất đá chuyển dịch sẽ song song với mặt phẳng lượng nổ. Khi đó tất cả các phần tử đất đá (trừ một phần rất nhỏ kề sát hai đầu lượng nổ) sẽ chuyển động với tốc độ như nhau về hướng và độ lớn. Có thể coi rằng biên thể tích đất đá trong suốt quá trình chuyển dịch song song với vị trí ban đầu của nó trước khi nổ [3], [7].

Tác giả Lê Văn Hùng, Lê Đình Chung đã có các nghiên cứu thí nghiệm hiện trường nhằm đưa ra các thông số nổ mìn để đá nổ phá ra đạt được cấp phối theo yêu cầu [31].

1.3. Các vấn đề tồn tại khi nghiên cứu về công tác nổ mìn trong môi trường đất đá

- Hệ thống cơ sở lý thuyết về tác động nổ nói chung trong các môi trường đất đá tương đối hoàn thiện. Tuy nhiên việc nghiên cứu chủ yếu là lượng nổ tập trung và lượng nổ dài phá đá, còn qui luật phá hủy đất đá của lượng nổ phẳng vẫn còn chưa đề cập một cách sâu sắc và toàn diện.

- Chưa nghiên cứu một cách toàn diện về quá trình hình thành, phát tán trường năng lượng nổ và đặc biệt là quy luật đập vỡ đất đá của lượng nổ phẳng được hình thành từ nhóm lượng nổ dài song song gần nhau nằm trên một mặt phẳng.

- Chưa có sự phân tích, so sánh toàn diện sự ảnh hưởng của 3 dạng lượng nổ cơ bản là tập trung, dài và phẳng đến MĐĐVĐĐ khi cố định khối lượng thuốc nổ.

1.4. Những vấn đề luận án cần tập trung giải quyết

Trên cơ sở phân tích kế thừa, phát triển những kết quả nghiên cứu đã có đối với công tác nổ mìn và xem xét đến yêu cầu thực tế của công tác thi công nổ mìn hiện nay, luận án sẽ tập trung vào giải quyết các vấn đề đó là:

- Nghiên cứu thiết lập trường năng lượng nổ hình thành từ nhóm lượng nổ dài song song gần nhau;
- Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ đến chỉ tiêu thuốc nổ và đến MĐĐVĐĐ;
- Nghiên cứu quy luật đập vỡ đất đá theo khoảng cách của các dạng lượng nổ tập trung, dài, phẳng;
- Nghiên cứu đề xuất phương pháp tính toán kích thước trung bình cỡ hạt phụ thuộc vào hình dạng lượng nổ và điều kiện nổ.

1.5. Kết luận chương 1

Từ việc tổng kết tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước nhận thấy, hệ thống cơ sở lý thuyết về tác động nổ nói chung trong các môi trường đất đá tương đối hoàn thiện. Tuy nhiên việc nghiên cứu chủ yếu là lượng nổ tập trung và lượng nổ dài phá đá, còn qui luật đập vỡ đất đá của lượng nổ dạng phẳng vẫn chưa được đề cập một cách sâu sắc và toàn diện. Hơn nữa, lý thuyết nổ cũng chưa thể mô tả đầy đủ bản chất vật lý của quá trình nổ bằng các hàm toán học thông thường, vì tính chất phức tạp xảy ra trong quá trình tác dụng nổ mà các tác giả thường đưa ra những giả thiết nhằm đơn giản hóa quá trình thiết lập công thức, do đó trong nghiên cứu nổ vẫn sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng các kết quả nghiên cứu lý thuyết. Mặt khác, do đặc tính quá trình nổ chất nổ xảy ra với tốc độ cực lớn, tạo ra một áp suất rất cao vượt xa nhiều lần độ bền đất đá, vì vậy cho đến nay vẫn chưa có một thiết bị nào để đo đạc các thông số sóng nổ trong vùng phá hủy đất đá. Chính vì vậy để giải quyết vấn đề tồn tại đã phân tích ở trên, luận án cần kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết với tính toán bằng phương pháp số và thử nghiệm tại hiện trường, trong đó lấy thử nghiệm thực tế là trọng tâm để giải quyết vấn đề.

Chương 2

NGHIÊN CỨU CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ TÁC DỤNG CƠ HỌC CỦA NỔ TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT ĐÁ

2.1. Lý thuyết phá vỡ đất đá bằng phương pháp nổ

2.1.1. Định luật bảo toàn năng lượng khi phá vỡ đất đá bằng phương pháp nổ

Định luật bảo toàn năng lượng khi phá vỡ được viết như sau [26], [63]:

$$dW_1 + dW_2 = dA_1 + dA_2 + dA_3 \quad (2.1)$$

trong đó: W_1 – động năng của khối đá bị phá vỡ (năng lượng bay của các cục đá); W_2 – nội năng (năng lượng biến dạng đàn hồi và ứng suất bề mặt); dA_1 – số gia năng lượng từ bên ngoài do công của các lực vĩ mô; dA_2 – số gia chung của nhiệt; dA_3 – số gia bên ngoài của năng lượng do các cơ chế vi mô đặc biệt (tương tác với môi trường xâm thực, tác dụng của bức xạ v.v...).

Ở đây, quá trình phá hủy đất đá xảy ra không có biến dạng dẻo rõ rệt. Trong điều kiện thông thường $dA_2 = 0$. Ngoài ra, quá trình phá hủy có thể được coi là đoạn nhiệt và như vậy [63]:

$$dW_1 + dW_2 = dA_1 \quad (2.2)$$

Nội năng toàn phần của nhiệt có thể biểu diễn dưới dạng tổng của hai số hạng $W_2 = W_0' + W_1'$, ở đây W_0' - năng lượng của lực liên kết giữa các nguyên tử; W_1' - năng lượng biến dạng đàn hồi. Nếu biến dạng một thể tích nào đó mà không kèm theo sự phá hủy thì $dW_0' = 0$. Vì rằng lực liên kết có bản chất điện từ nên lực tác dụng giữa các nguyên tử và phân tử được biểu thị theo hàm mũ của khoảng cách giữa các nguyên tử. Bởi vậy, năng lượng liên kết W_0' đối với vật thể thực phụ thuộc rất yếu vào hình dạng hình học của vật thể. Nhưng chính lực liên kết bảo đảm độ bền của vật liệu, và như vậy khi tạo thành đứt vỡ sẽ làm năng lượng liên kết thay đổi một lượng nhất định dW_0' . Các nghiên cứu thực

nghiệm cho phép đặt ra giả thuyết đối với vật liệu giòn [63]:

$$dW_0' = \alpha_1 S \quad (2.3)$$

trong đó: S – diện tích bề mặt mới tạo thành; α_1 – mật độ năng lượng bề mặt của vật liệu được xác định bằng thực nghiệm. Năng lượng đàn hồi tiêu hao cho biến dạng đàn hồi thể tích có thể được chấp nhận tỉ lệ thuận với thể tích $dW_1' = q_1 V$, ở đây V – thể tích khối đá; q_1 – đại lượng phụ thuộc vào đặc trưng cơ học của vật liệu và dạng của trạng thái ứng suất. Như vậy [63]:

$$dW_2 = \alpha_1 S + q_1 V \quad (2.4)$$

Mặt khác $dW_1 = \omega V - b$, ở đây $b = \omega V^*$, ω - hằng số phụ thuộc vào tính chất vật liệu và uy lực liềm nổ; V^* - thể tích không bị phá hủy ở uy lực liềm nổ nhất định. Công của ngoại lực dA_1 được thực hiện khi nổ và $dA_1 = k_1 W_0$, ở đây k_1 – hệ số truyền năng lượng từ thuốc nổ sang đất đá; W_0 – năng lượng liềm nổ. Phương trình cuối cùng nhận được có dạng [63]:

$$k_1 W_0 = \alpha_1 S + q_1 V + \frac{\omega}{V} - b \quad (2.5)$$

2.1.2. Phương trình phân bố cỡ hạt đá sau nổ

Hệ phương trình mô tả định luật bảo toàn năng lượng khi phá vỡ, phương trình phân bố các cục đá và phương trình biểu thị mối liên hệ của bề mặt các cục đá với chỉ số của quy luật phân bố [63]:

$$\begin{cases} k_1 W_0 = \alpha_1 S + q_1 V + \frac{\omega}{V} - b; \\ P_{(x)} = 1 - e^{-\alpha x^\gamma}; \\ \frac{S}{V} = k_\gamma \alpha^\gamma \end{cases} \quad (2.6)$$

Giải hệ phương trình trên, nhận được:

$$\alpha = \left(\frac{k W_0}{\alpha_1 k_\gamma V} + \frac{b}{\alpha_1 k_\gamma V} - \frac{\omega}{\alpha_1 k_\gamma V^2} - \frac{q_1}{\alpha_1 k_\gamma} \right)^\gamma \quad (2.7)$$

$$P_{(x)} = 1 - e^{-[\phi E_c + \psi + \frac{\lambda_1}{V} + \frac{\mu}{V^2} + \alpha_0]^\gamma x^\gamma} \quad (2.8)$$

trong đó: α_0 – hệ số đặc trưng cho độ nứt nẻ tự nhiên của đất đá được quyết định bởi cấu tạo của đường cong thành phần kích cỡ theo ảnh chụp khối đá. Trong công thức nhận được của xác suất phá vỡ, tính chất bền của khối đá, năng lượng biểu kiến, tiêu hao năng lượng để làm bay các cục đá, thế năng biến dạng được thể hiện qua các hằng số ϕ , ψ , λ_1 và μ . Các hằng số này được xác định bằng thực nghiệm từ hệ phương trình [63]:

$$P_i(x_0) = 1 - e^{-[(\phi E_{ci} + \psi + \frac{\lambda_1}{V_i} + \frac{\mu}{V_i^2})^\gamma + \alpha_0] x_0^\gamma}, i = 1, 2, 3, 4. \quad (2.9)$$

Theo mức độ đập vỡ thì đất đá có thể chia thành hai lớp lớn là đất đá bị đập vỡ bình thường ($\gamma = 1$) và đất đá khó đập vỡ ($\gamma = 1,5$).

Đối với đất đá bị đập vỡ bình thường [21], [63]:

$$P_{(x)} = 1 - e^{-(\phi E_c + \psi + \frac{\lambda_1}{V} + \frac{\mu}{V^2} + \alpha_0)x} \quad (2.10)$$

Ký hiệu $\psi + \alpha_0 = \beta_1$. Hệ phương trình để xác định các hằng số có dạng:

$$P_i(x_0) = 1 - e^{-(\phi E_{ci} + \beta_1 + \frac{\lambda_1}{V_i} + \frac{\mu}{V_i^2})x_0} \quad (2.11)$$

Sau khi biến đổi:

$$\phi E_{ci} + \beta_1 + \frac{\lambda_1}{V_i} + \frac{\mu}{V_i^2} = -\frac{1}{x_0} \ln[1 - P_i(x_0)] \quad (2.12)$$

$$\text{Ký hiệu: } -\frac{1}{x_0} \ln[1 - P_i(x_0)] = a_i > 0; \quad \Delta = \begin{vmatrix} E_{c1} & 1 & \frac{1}{V_1} & \frac{1}{V_1^2} \\ E_{c2} & 1 & \frac{1}{V_2} & \frac{1}{V_2^2} \\ E_{c3} & 1 & \frac{1}{V_3} & \frac{1}{V_3^2} \\ E_{c4} & 1 & \frac{1}{V_4} & \frac{1}{V_4^2} \end{vmatrix}$$

Khi đó lời giải được viết dưới dạng:

$$\phi = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} a_1 & 1 & V_1^{-1} & V_1^{-2} \\ a_2 & 1 & V_2^{-1} & V_2^{-2} \\ a_3 & 1 & V_3^{-1} & V_3^{-2} \\ a_4 & 1 & V_4^{-1} & V_4^{-2} \end{vmatrix}; \beta_1 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} E_{c1} & a_1 & V_1^{-1} & V_1^{-2} \\ E_{c2} & a_2 & V_2^{-1} & V_2^{-2} \\ E_{c3} & a_3 & V_3^{-1} & V_3^{-2} \\ E_{c4} & a_4 & V_4^{-1} & V_4^{-2} \end{vmatrix};$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} E_{c1} & 1 & a_1 & V_1^{-2} \\ E_{c2} & 1 & a_2 & V_2^{-2} \\ E_{c3} & 1 & a_3 & V_3^{-2} \\ E_{c4} & 1 & a_4 & V_4^{-2} \end{vmatrix}; \mu = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} E_{c1} & 1 & V_1^{-1} & a_1 \\ E_{c2} & 1 & V_2^{-1} & a_2 \\ E_{c3} & 1 & V_3^{-1} & a_3 \\ E_{c4} & 1 & V_4^{-1} & a_4 \end{vmatrix}$$

Đối với đất đá khó bị đập vỡ [63]:

$$P_i(x_0) = 1 - e^{-[(\phi E_{ci} + \psi + \frac{\lambda_1}{V_i} + \frac{\mu}{V_i^2})^\gamma + \alpha_0] x_0^\gamma}, i = 1, 2, 3, 4. \quad (2.13)$$

Nó được viết dưới dạng khác:

$$\phi E_{ci} + \psi + \frac{\lambda_1}{V_i} + \frac{\mu}{V_i^2} = [-\frac{1}{x_0} \ln(1 - P_i(x_0)) - \alpha_0]^\frac{1}{\gamma} \quad (2.14)$$

Nếu α_0 đã biết trước, thì lời giải của hệ phương trình được cho bởi các công thức sao cho đối với đất đá khó bị đập vỡ có dạng:

$$a_i = [-\frac{1}{x_0} \ln(1 - P_i(x_0)) - \alpha_0]^\frac{1}{\gamma}, i = 1, 2, 3, 4 \quad (2.15)$$

Nếu α_0 không biết trước thì hệ phương trình bậc cao cần phải giải bằng máy tính. Trong tính toán kỹ thuật, có thể đơn giản hóa như sau:

$$P_{(x)} = 1 - e^{-[(\phi E_c + \psi_0)^\gamma + \alpha_0] x^\gamma} \quad (2.16)$$

ở đây: $E_c = \frac{W_0}{V}$; $\phi = \frac{k_1}{\alpha_1 k}$; $\psi_0 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 k}$

Đối với đất đá bị đập vỡ bình thường, phương trình đập vỡ có dạng [63]:

$$P_{(x)} = 1 - e^{-[(\phi E_c + \psi_0) + \alpha_0] x} \quad (2.17)$$

Nếu ký hiệu $\psi_0 + \alpha_0 = \psi$, nhận được:

$$P_{(x)} = 1 - e^{-(\phi E_c + \psi)x} \quad (2.18)$$

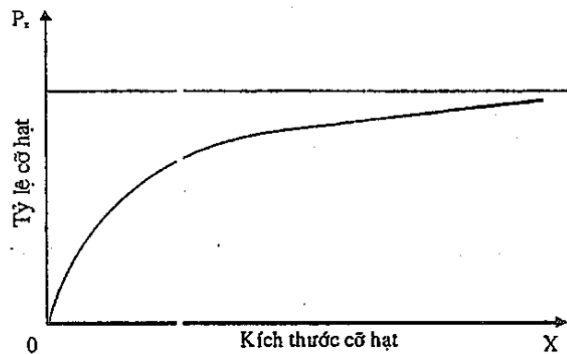
Đối với đất đá khó đập vỡ, quy luật đập vỡ được viết dưới dạng [63]:

$$P_{(x)} = 1 - e^{-[(\phi E_c + \psi)^{1.5} + \alpha_0]x^{1.5}} \quad (2.19)$$

Việc dự báo thành phần cỡ hạt đất đá sau nổ mìn và mô tả sự phân bố cỡ hạt mang đặc trưng xác suất tuân theo quy luật Rosin-Rammler [12], [40], [42]:

$$P_{(x)} = 1 - e^{-\alpha x^\gamma} \quad (2.20)$$

trong đó: $P_{(x)}$ – tỷ lệ cỡ hạt có kích thước $\leq x$; x – kích thước cỡ hạt; α, γ – hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào chi phí năng lượng và tính chất của đất đá. Hệ số α có thể được gọi là chỉ tiêu đập vỡ, giá trị của nó càng lớn thì càng ít tạo ra các cục đá có kích thước nhỏ.

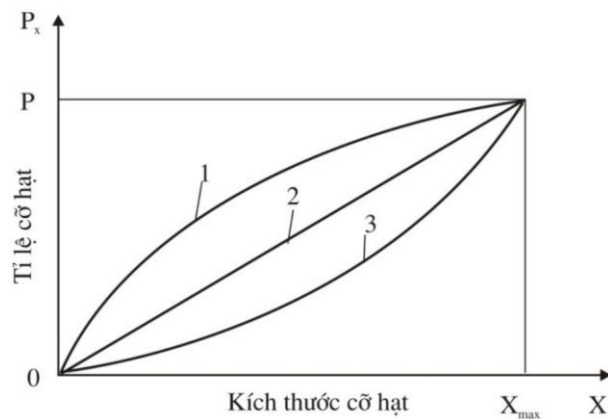


Hình 2.1. Sự phụ thuộc $P_{(x)}$ vào kích thước cỡ hạt x theo Rosin-Rammler.

Trong thực tế khi nổ các loại đất đá có độ khó nổ khác nhau và mức độ đập vỡ khác nhau thì nhiều khi quy luật Rosin-Rammler không phản ánh sát thực tế [12]. Để khắc phục nhược điểm của quy luật Rosin-Rammler, Goden-Andrev thiết lập quy luật phân bố cỡ hạt của đồng đá nổ mìn có dạng sau (phù hợp với đất đá nứt nẻ) [12], [21], [37], [45]:

$$P_{(x)} = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^m \quad (2.21)$$

trong đó: m – hệ số thực nghiệm, phản ánh MĐĐVĐĐ của vụ nổ; x – kích thước cục đá khảo sát; x_{\max} – kích thước cục lớn nhất trong đồng đá nổ ra.



Hình 2.2. Quy luật phân bố cỡ hạt theo Goden – Andrep

Phương trình này phù hợp với thực tế hơn vì khi $x = x_{max}$ thì $P_{(x)} = 1$. Khi $m < 1$ thì đường biểu diễn $P_{(x)}$ có dạng 1 đặc trưng cho đá dễ nổ, $m = 1$ có dạng 2 và $m > 1$ thì có dạng 3 đặc trưng cho đá khó nổ.

2.2. Phương pháp xác định trường năng lượng nổ theo quan điểm phát tán năng lượng truyền thống

Theo lý thuyết thủy động lực học nổ, coi đất đá là môi trường không bị nén ép, tức mật độ không đổi trong quá trình chịu tác dụng nổ. Khi nổ một lượng nổ đặt trong môi trường đất đá, các phần tử đất đá xung quanh lượng nổ sẽ nhận được một trường tốc độ, có phương trình như sau [12], [51]:

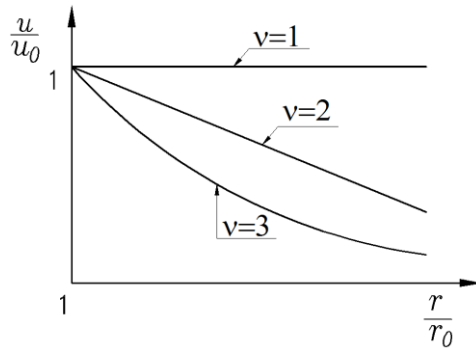
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial r} + \rho \frac{\partial u}{\partial r} + (\nu - 1) \frac{\rho u}{r} = 0 \quad (2.22)$$

Vì môi trường giả thiết là không chịu nén nên: $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$; $\frac{\partial \rho}{\partial r} = 0$. Điều kiện

biên: khi $t = 0$ thì $r = r_o$ và $u = u_o$, do đó:

$$u = u_o \left(\frac{r_o}{r} \right)^{\nu-1} \quad (2.23)$$

trong đó: u – vận tốc phần tử môi trường tại khoảng cách r tính từ tâm nổ; r_o – bán kính lượng nổ; u_o – vận tốc phần tử môi trường tại mặt lượng nổ; ν – chỉ số bậc hình dạng của lượng nổ bằng 3, 2, 1 tương ứng với lượng nổ hình cầu, trụ và phẳng.



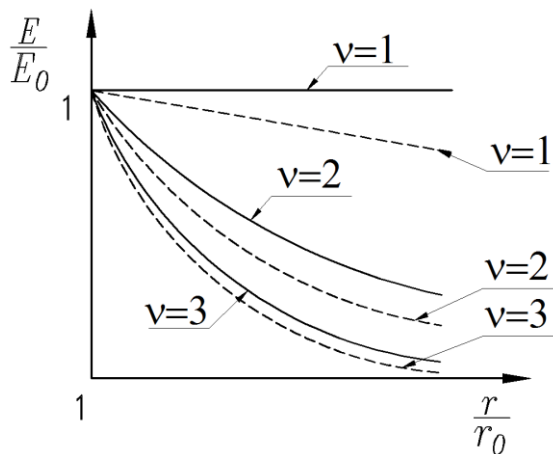
Hình 2.3. Quy luật phân bố tốc độ chuyển động của các hạt đất đá phụ thuộc vào hình dạng lượng nổ theo lý thuyết thủy động lực học nổ.

Phân tích phương trình (2.23) chỉ ra rằng, tốc độ các hạt đất đá nhận được từ vụ nổ giảm dần theo khoảng cách. Mức độ suy giảm tốc độ phụ thuộc vào hình dạng lượng nổ (xem hình 2.3): với lượng nổ hình cầu (tập trung) trị số tốc độ giảm nhanh nhất, tiếp đến là lượng nổ hình trụ, lượng nổ phẳng.

Nếu coi mật độ môi trường là không đổi, công thức (2.23) có thể viết lại như sau:

$$\frac{E}{E_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^{2v-2} \quad (2.24)$$

trong đó: E , E_0 tương ứng là năng lượng môi trường nhận được tại khoảng cách r tính từ tâm nổ và tại bề mặt lượng nổ. Từ công thức (2.24) xây dựng được đồ thị mối quan hệ giữa sự suy giảm năng lượng phụ thuộc vào hình dạng lượng nổ theo khoảng cách từ tâm nổ như hình 2.4.



Hình 2.4. Quy luật phân bố năng lượng của phân tử môi trường phụ thuộc vào hình dạng lượng nổ theo lý thuyết thủy động lực học nổ.
(Đường nét liền thể hiện mức suy giảm năng lượng không xét đến sự tồn

thất năng lượng nổ, còn đường nét đứt có xét đến sự tổn thất do sự hấp thụ năng lượng của môi trường đất đá).

Ưu điểm của phương pháp này:

Quy luật phát tán năng lượng đã chỉ ra rằng sự suy giảm năng lượng nổ theo khoảng cách phụ thuộc vào hình dạng của lượng nổ. Lượng nổ phẳng có sự phân bố mật độ năng lượng nổ không suy giảm theo khoảng cách, lượng nổ trụ sẽ suy giảm tuyến tính theo khoảng cách, lượng nổ cầu suy giảm theo khoảng cách có dạng đường cong bậc 2. Tuy nhiên phương pháp truyền thống mới chỉ xét đến sự tổn thất năng lượng nổ do ảnh hưởng của yếu tố hình học của lượng nổ.

Hạn chế của phương pháp này:

+ Chưa xét đến tổn thất năng lượng làm dịch chuyển và đập vỡ đất đá trong quá trình truyền năng lượng (sóng nổ).

+ Coi mật độ môi trường là không thay đổi trong quá trình nổ.

+ Các lượng nổ nghiên cứu ở đây có cùng kích thước r_0 (tức là có cùng bán kính lượng nổ) nhưng tổng khối lượng thuốc nổ của các dạng lượng nổ khác nhau sẽ khác nhau, dẫn đến thể tích vùng phá hủy đất đá cũng khác nhau.

+ Lượng nổ dài ở đây được hiểu theo nghĩa rất dài (dài đến vô hạn) để tác dụng nổ tại các mặt phẳng vuông góc với lượng nổ là như nhau. Lượng nổ phẳng ở đây được hiểu theo nghĩa là có diện tích rất lớn (vô hạn), vì vậy không bị phát tán năng lượng ra biên, dẫn đến mật độ năng lượng không thay đổi theo khoảng cách. Trong thực tế thì các lượng nổ đều có kích thước hữu hạn dù là lượng nổ dài hay lượng nổ phẳng, vì vậy cần có các nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng lại các nghiên cứu lý thuyết.

Thực tế đất đá khác với chất lỏng lý tưởng, vì vậy đường cong phân bố trường tốc độ hay trường năng lượng nổ của các dạng lượng nổ đều suy giảm nhanh hơn do tổn hao năng lượng trong môi trường. Từ đó nhận thấy các đường

đồ thị mô tả sự suy giảm năng lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau theo khoảng cách trên đồ thị hình 2.4 (đường nét liền) chưa phản ánh sát thực tế mà phải là các đường nét đứt mới phản ánh đúng quá trình truyền năng lượng nổ vào môi trường đất đá.

2.3. Phương pháp xác định trường năng lượng nổ theo lý thuyết thủy động lực học nổ của O.E. Vlaxov

2.3.1. Thế tốc độ của phần tử môi trường

Vị trí của phần tử môi trường được xem xét trong không gian được xác định bởi tọa độ của nó, là các giá trị x, y, z trong hệ tọa độ Descartes. Véc tơ tốc độ được xác định bởi các hình chiếu trên các trục tọa độ, kí hiệu là u, v, w . Ngoài tốc độ phần tử còn cần phải biết khối lượng của chúng, nếu môi trường liên tục là khối lượng của một đơn vị thể tích hay mật độ ρ .

Để giải bài toán này cần đưa ra một số giả thuyết như sau [51]:

- Môi trường đất đá là liên tục, không chịu nén, đồng nhất. Trong trường hợp này, mật độ môi trường được coi là hằng số bao quanh mỗi phần tử chuyển động, ở thời điểm ban đầu mật độ ở tất cả các vị trí có cùng một giá trị. Khi chịu biến dạng bất kỳ, mật độ môi trường sẽ luôn cố định.

- Tác dụng nổ được thực hiện tức thời. Trong điều kiện tác dụng nổ tức thời, các phần tử của môi trường sẽ không kịp dịch chuyển và giữ vị trí như trước khi nổ. Các phần tử này chỉ nhận được tốc độ đầu tiên và chuyển động với tốc độ này sau khi kết thúc thời gian tác dụng nổ trực tiếp.

Theo định luật bảo toàn khối lượng, phương trình liên tục của chuyển động thể hiện mối liên hệ của giá trị và hướng của véc tơ tốc độ tại vị trí bất kỳ tương ứng với sự thay đổi của mật độ môi trường xét trong không gian hệ tọa độ Descartes như sau [10], [51]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.25)$$

trong đó: ρ – mật độ môi trường; u, v, w – tốc độ các phần tử môi trường.

Do đã giả thiết coi môi trường liên tục (nằm ở trạng thái rắn và lỏng) là không chịu nén khi bỏ qua sự thay đổi nhỏ về thể tích của nó, đạo hàm của mật độ theo thời gian được cho bằng không. Khi đó phương trình (2.25) được rút gọn [51]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.26)$$

Hàm φ ở đây được gọi là *thế tốc độ*. Trong trường hợp tổng quát, xem xét lượng nổ có hình dạng là một elipxoit ba trục, các bán trục của nó là a, b và c . Góc tọa độ nằm ở tâm của elipxoit, còn các trục tọa độ trùng với các trục của nó, họ các elipxoit cùng tiêu điểm có phương trình như sau:

$$\frac{x^2}{a^2 + \lambda} + \frac{y^2}{b^2 + \lambda} + \frac{z^2}{c^2 + \lambda} = 1 \quad (2.27)$$

trong đó: $0 \leq \lambda \leq \infty$, mỗi giá trị của λ ứng với một elipxoit. Phương trình (2.27) biểu diễn một họ elipxoit bao quanh bởi không gian vô hạn elipxoit cơ sở. O.E. Vlaxov đã thiết lập thế tốc độ φ của một lượng nổ có dạng elipxoit với các bán trục a, b, c có giá trị bằng [51]:

$$\varphi = A \int_{\lambda}^{\infty} \frac{d\lambda}{\sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} \quad (2.28)$$

trong đó: A là hằng số xác định theo công thức [51]:

$$A = \sqrt{\frac{E}{4\pi\rho H}} ; H = \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} \quad (2.29)$$

ở đây, E là năng lượng của lượng nổ. Trong trường hợp lượng nổ tập trung, ở mức độ đủ chính xác có thể coi elipxoit chuyển thành hình cầu với các bán trục bằng nhau $a = b = c$. Khi đó phương trình (2.28) có dạng [51]:

$$\varphi_{tt} = A_{tt} \int_{\lambda}^{\infty} \frac{d\lambda}{(a^2 + \lambda)^{3/2}} = \frac{2A_{tt}}{\sqrt{a^2 + \lambda}} = \sqrt{\frac{Ea}{2\pi\rho(a^2 + \lambda)}} \quad (2.30)$$

trong đó:

$$A_{tt} = \sqrt{\frac{Ea}{8\pi\rho}} \quad (2.31)$$

Trong trường hợp lượng nỏ dài, khi đó $a = c$, công thức (2.28) có dạng:

$$\varphi_d = \sqrt{\frac{E}{2\pi\rho \cdot \sqrt{b^2 - a^2} \cdot \ln\left(\frac{b + \sqrt{b^2 - a^2}}{a}\right)}} \cdot \ln \frac{\sqrt{b^2 + \lambda} + \sqrt{b^2 - a^2}}{\sqrt{a^2 + \lambda}} \quad (2.32)$$

Trong trường hợp lượng nỏ phẳng, theo O.E. Vlixov [51]:

$$\varphi_p = \sqrt{\frac{E}{2\pi\rho \cdot \sqrt{a^2 - b^2} \cdot \operatorname{arccotg} \frac{b}{\sqrt{a^2 - b^2}}}} \cdot \operatorname{arccotg} \sqrt{\frac{b^2 + \lambda}{a^2 - b^2}} \quad (2.33)$$

2.3.2. Năng lượng môi trường

Khi biết thế tốc độ, không khó để tính động năng của môi trường, giá trị của nó bằng công thực hiện của sản phẩm nỏ. Theo O.E. Vlixov, nếu F là bề mặt lượng nỏ thì năng lượng toàn phần của môi trường sẽ là [51]:

$$E_{tp} = -\frac{\rho}{2} \int \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial n} dF \quad (2.34)$$

Trên bề mặt của lượng nỏ, thế tốc độ có giá trị không đổi φ_l , do đó:

$$E_{tp} = -\frac{\rho\varphi_l}{2} \int \frac{\partial \varphi}{\partial n} dF \quad (2.35)$$

2.3.3. Mật độ năng lượng môi trường

Xét một lượng nỏ có dạng elipxoit có các bán trục: a, b, c . Hệ tọa độ Descartes Oxyz với gốc O đặt tại tâm của lượng nỏ. Một điểm M trong môi trường có tọa độ $M(x,y,z)$. Khi biết thế tốc độ, có thể tính được động năng của

môi trường, động năng này truyền năng lượng vào môi trường. Do đó mật độ năng lượng của môi trường là [51]:

$$E_d = \frac{\rho v^2}{2}; \quad \text{hay} \quad E_d = \frac{\rho}{2} \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 \right] \quad (2.36)$$

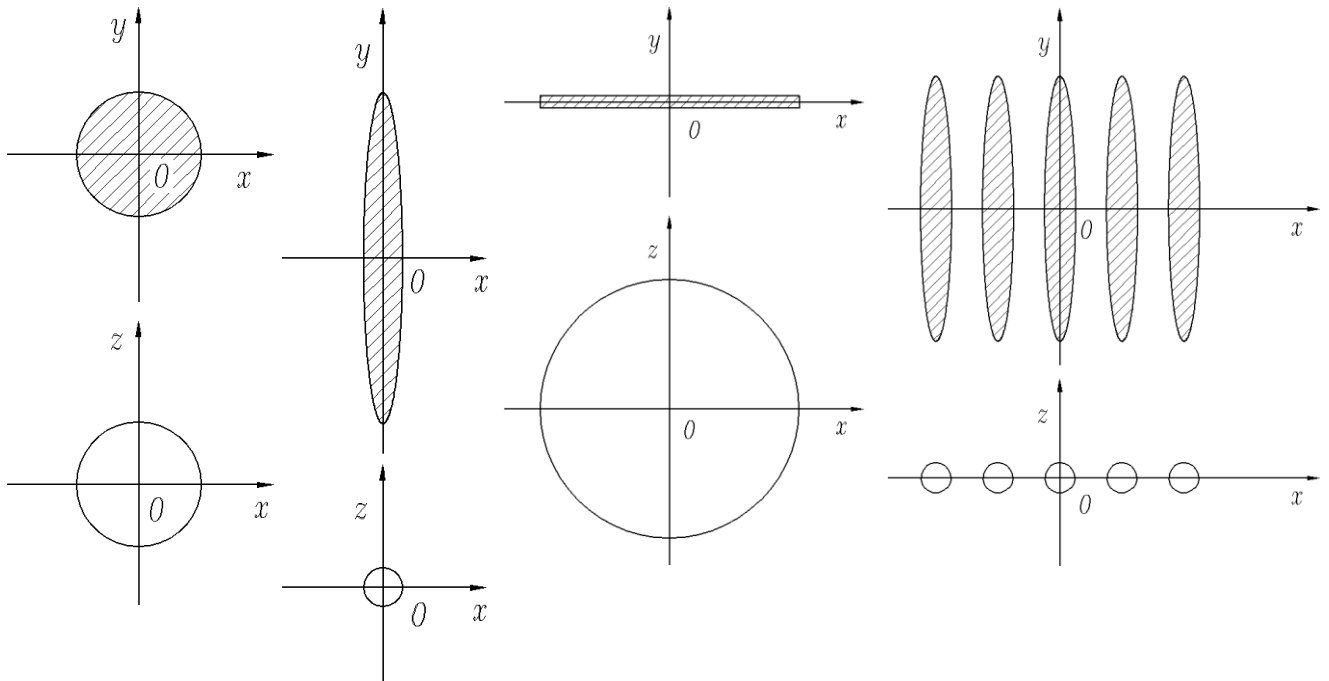
Theo O.E. Vluxov, đối với lượng nỏ dạng elipxoit tổng quát:

$$E_d = \frac{2\rho A^2}{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda) \left[\frac{x^2}{(a^2 + \lambda)^2} + \frac{y^2}{(b^2 + \lambda)^2} + \frac{z^2}{(c^2 + \lambda)^2} \right]} \quad (2.37)$$

trong đó: A là hằng số được xác định tùy theo từng dạng lượng nỏ.

Để thiết lập công thức tính mật độ năng lượng môi trường cho các dạng lượng nỏ khác nhau, quy ước hệ trục tọa độ cho các lượng nỏ như hình 2.5.

Dựa trên quan điểm về lượng nỏ tập trung, lượng nỏ dài, lượng nỏ phẳng như trên, O.E. Vluxov đã thiết lập được mật độ năng lượng tại một điểm trong môi trường như sau [51]:



Lượng nỏ tập trung Lượng nỏ dài Lượng nỏ phẳng Lượng nỏ dạng phẳng

Hình 2.5. Hệ trục quy ước cho các lượng nỏ

- Đối với lượng nỏ tập trung, nếu gọi r là bán kính hình cầu có tâm là tâm

lượng nổ, mật độ năng lượng tại điểm nằm trên hình cầu này là:

$$E_d'' = \frac{2\rho A_u^2}{r^4} \quad (2.38)$$

trong đó: A_u được xác định theo công thức (2.31), thay vào (2.38):

$$E_d'' = \frac{4\pi}{r^4} \frac{Ea}{a} \quad (2.39)$$

- Đối với lượng nổ dài, mật độ năng lượng tại một điểm $M(x,y,z)$ trong môi trường có giá trị là:

$$E_d^d = \frac{\frac{E\sqrt{b^2 - a^2}}{4\pi \ln\left(\frac{b + \sqrt{b^2 - a^2}}{a}\right)}}{(a^2 + \lambda)^2 (b^2 + \lambda) \left[\frac{x^2 + z^2}{(a^2 + \lambda)^2} + \frac{y^2}{(b^2 + \lambda)^2} \right]} \quad (2.40)$$

- Đối với lượng nổ phẳng, mật độ năng lượng tại một điểm $M(x,y,z)$ trong môi trường có giá trị:

$$E_d^p = \frac{\frac{E\sqrt{a^2 - b^2}}{4\pi \operatorname{arccotg} \frac{b}{\sqrt{a^2 - b^2}}}}{(a^2 + \lambda)^2 (b^2 + \lambda) \left[\frac{x^2 + z^2}{(a^2 + \lambda)^2} + \frac{y^2}{(b^2 + \lambda)^2} \right]} \quad (2.41)$$

2.4. Phân tích mối quan hệ giữa quy luật phân bố năng lượng nổ và quy luật phân bố cỡ hạt đá sau nổ

Lý thuyết nổ phá thông thường chỉ đề cập đến bán kính các vùng tác dụng nổ như vùng nén, vùng phá hủy, vùng chân động... mà không đề cập đến mối quan hệ giữa yếu tố năng lượng và kích thước cục đá phá ra. Vì vậy, để làm sáng tỏ vấn đề này cần nghiên cứu phân tích mối quan hệ giữa quy luật phân

bổ năng lượng nổ và quy luật phân bố cỡ hạt đá sau nổ.

2.4.1. Phân tích trên cơ sở lý thuyết thủy động lực học nổ của O. E. Vlastov

Khi biết được quy luật phân bố năng lượng nổ trong môi trường xung quanh lượng nổ cho phép ta có thể đánh giá được kích thước của vùng phá hủy và MĐĐVĐĐ. Việc giải bài toán đập vỡ đất đá yêu cầu phải phân tích chi tiết hơn trường tốc độ u , v , w vì rằng trong trường hợp chung, động năng truyền cho môi trường chỉ bị tiêu hao một phần cho việc phá hủy, phần còn lại làm dịch chuyển các cục đá.

Về giá trị và hướng của tốc độ chuyển động tịnh tiến của phân tử đã cho có thể đánh giá theo vec tơ tốc độ u_0 , v_0 và w_0 của các hạt nằm ở tâm quán tính phân tử này. Bởi vậy để thiết lập cân bằng năng lượng cần xem xét trường tốc độ tương đối $u-u_0$, $v-v_0$ và $w-w_0$. Trong trường hợp nếu trường tốc độ ban đầu gây ra bởi tác dụng nổ thì tốc độ có thể và không có chuyển động quay. Như vậy trường tốc độ tương đối hoàn toàn quyết định sự biến dạng của phân tử [51].

Năng lượng của phân tử môi trường được xác định như sau [51]:

$$E_w = \frac{\rho u^2}{2} + \frac{\rho v^2}{2} + \frac{\rho w^2}{2} = E_{w_x} + E_{w_y} + E_{w_z} \quad (2.42)$$

Biểu diễn phân tử dưới dạng hình lập phương, có các cạnh song song với các trục tọa độ và bằng $2a_h$, như vậy ban đầu tọa độ trùng với tâm quán tính (hình 2.6). Khi đó, khi kéo dọc trục x , tốc độ tuyệt đối của các phân tử của nó được xác định bởi biểu thức chung:

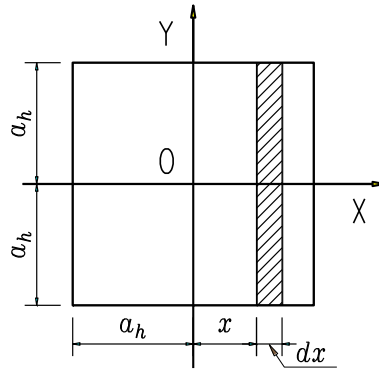
$$u = u_0 + x \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.43)$$

Năng lượng E_{w_x} dùng cho việc kéo dãn hình lập phương [51]:

$$\begin{aligned}
E_{wx} &= \int_{-a_h}^{a_h} \frac{\rho(u-u_0)^2}{2} (2a_h)^2 dx = 4\rho a_h^2 \int_0^{a_h} \left(x \frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 dx \\
&= 4\rho a_h^2 \left(x \frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \int_0^{a_h} x^2 dx = \frac{4}{3} \rho a_h^5 \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2
\end{aligned} \tag{2.44}$$

Như vậy năng lượng biến dạng toàn phần sẽ bằng tổng năng lượng kéo giãn theo ba hướng chính và bằng [51]:

$$E_{tp} = \frac{4}{3} \rho a_h^5 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 \right] \tag{2.45}$$



Hình 2.6. Mô hình biến dạng một đơn vị thể tích phân tử hình lập phương

Mặt khác, nếu kích thước hình lập phương tương ứng với cục đá bị tách rời thì năng lượng tìm được phải bằng công phá hủy môi trường trong thể tích khối lập phương, tức là:

$$E_{tp} = 8a_h^3 A_r \tag{2.46}$$

Ở đây, A_r là kí hiệu cho công riêng phân phá hủy môi trường tính cho một đơn vị thể tích, có liên hệ với tốc độ tới hạn v_{th} từ điều kiện [21], [51]:

$$A_r = \frac{\rho v_{th}^2}{2} \tag{2.47}$$

Từ (2.45) và (2.46) thu được:

$$a_h = \sqrt{\frac{6A_r}{\rho \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 \right]}} \tag{2.48}$$

Trong trường hợp đối xứng [12], [51]:

$$a_h = \frac{v_{th}\sqrt{3}}{\sqrt{\frac{4k^2}{r^6} + \frac{k^2}{r^6} + \frac{k^2}{r^6}}} = \frac{v_{th}r^3}{k\sqrt{2}} \quad (2.49)$$

Hệ số k liên hệ với bán kính lượng nổ bởi hệ thức [51]:

$$k = \sqrt{\frac{Er_0}{2\pi\rho}} = \sqrt{\frac{\frac{4}{3}\pi r_0^3 \rho_m E_0 r_0}{2\pi\rho}} = r_0^2 \sqrt{\frac{2\rho_m E_0}{3\rho}} \quad (2.50)$$

trong đó: E – năng lượng của lượng nổ; r_0 – bán kính lượng nổ; ρ – mật độ môi trường đất đá; E_0 – năng lượng riêng của thuốc nổ.

Công thức (2.49) có thể viết lại dưới dạng sau:

$$a_h = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{E_0\rho_m}} \cdot \sqrt{\rho} v_{th} \cdot \frac{r^3}{r_0^2} \quad (2.51)$$

Nếu kí hiệu $k_{dd} = v_{th} \cdot \sqrt{\rho}$ là hệ số đặc trưng cho loại đất đá và $k_m = \sqrt{\frac{3}{E_0\rho_m}}$

là hệ số đặc trưng cho loại lượng nổ sử dụng thì từ (2.51) công thức tính kích thước trung bình cỡ hạt đất đá ở khoảng cách r tính từ tâm nổ đối với lượng nổ tập trung là:

$$d_{tb} = 2a_h = k_m \cdot k_{dd} \cdot \frac{r^3}{r_0^2} \quad (2.52)$$

Từ công thức (2.52) có nhận xét: Kích thước trung bình cỡ hạt đất đá phá ra ở một khoảng cách nhất định phụ thuộc vào đặc trưng cơ lý của loại đất đá và đặc tính lượng nổ sử dụng. Khi sử dụng thuốc nổ mạnh, thì E_0 lớn, k_m giảm thì d_{tb} giảm và ngược lại. Khi nổ trong môi trường đất đá có độ bền lớn tức là ρ lớn và v_{th} lớn thì k_{dd} sẽ tăng, d_{tb} tăng và ngược lại. Điều này phản ánh đúng các quy luật lý thuyết và các nghiên cứu trước đó. Tuy nhiên hạn chế của lý thuyết này là các nghiên cứu mới dừng lại ở môi trường vô hạn, chưa kể đến

ảnh hưởng của sóng phản xạ khi có mặt thoáng làm tăng mức độ phá vỡ đất đá.

2.4.2. Phân tích trên cơ sở lý thuyết đập vỡ đất đá

Việc xác định kích thước trung bình của các cục đá khi cho rằng hàm xác suất phân bố kích cỡ được cho bởi biểu thức:

$$P(x) = 1 - e^{-\alpha x^\gamma} \quad (2.53)$$

Kích thước trung bình có thể xem như kỳ vọng toán học của một đại lượng ngẫu nhiên nào đó có hàm phân bố đã nêu [63]:

$$d_{tb} = \int_0^{\infty} x \alpha \gamma x^{\gamma-1} e^{-\alpha x^\gamma} dx \quad (2.54)$$

Ký hiệu $\alpha x^\gamma = y$, khi đó:

$$d_{tb} = \int_0^{\infty} \left(\frac{y}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\gamma}} e^{-y} dy = \alpha^{-\frac{1}{\gamma}} \int_0^{\infty} y^{\frac{\gamma+1}{\gamma}-1} e^{-y} dy \quad (2.55)$$

Tích phân trong phương trình này không có gì khác tích phân Euler loại hai và là hàm Gamma được tính theo bảng tra.

$$d_{tb} = \alpha^{-\frac{1}{\gamma}} G\left(\frac{\gamma+1}{\gamma}\right) = \frac{1}{\alpha^{\frac{1}{\gamma}}} G\left(\frac{1}{\gamma}\right) \quad (2.56)$$

Đối với đất đá bị đập vỡ thông thường ($\gamma = 1$):

$$d_{tb} = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\varphi_1 E_c} \quad (2.57)$$

Đối với đất đá dễ bị đập vỡ ($\gamma = 0,75$):

$$d_{tb} = 1,185 \alpha^{-\frac{4}{3}} = 1,185 \cdot \frac{1}{(\varphi_1 E_c)^{4/3}} \quad (2.58)$$

trong đó: E_c là suất tiêu hao năng lượng đập vỡ đất đá.

Nhận xét: các công thức xác định quy luật phân bố cỡ hạt, kích thước trung bình cỡ hạt đã trình bày ở trên đều phụ thuộc vào tiêu hao năng lượng nổ, tuy nhiên hạn chế là chưa nghiên cứu đầy đủ về ảnh hưởng của hình dạng lượng

nổ, ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến quy luật đập vỡ đất đá.

2.5. Kết luận chương 2

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết, nhận thấy lý thuyết thủy động lực học nổ mới chỉ dừng lại ở việc thiết lập trường năng lượng nổ cho các lượng nổ đơn như lượng nổ tập trung, lượng nổ dài, lượng nổ phẳng mà chưa mô tả được trường năng lượng nổ do nhóm các lượng nổ gây ra. Các nghiên cứu lý thuyết của O.E. Vlastov về lượng nổ phẳng đã coi lượng nổ phẳng là tuyệt đối, rất khó ứng dụng trong công tác nổ phá đất đá.

Hiện nay vẫn chưa có lý thuyết tường minh về ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ đến MĐĐVĐĐ, đặc biệt là chưa có quy luật lý thuyết cũng như thực nghiệm về sự phân bố cỡ hạt đá của lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng. Trong công tác nổ phá đất đá, lượng nổ phẳng được sử dụng là nhóm các lượng nổ dài song song nằm gần nhau trên cùng một mặt phẳng. Xét cho cùng, lượng nổ phẳng chỉ là một dạng đặc biệt của nhóm lượng nổ dài song song nằm trên cùng một mặt phẳng khi khoảng cách giữa các lượng nổ dài bằng đường kính lượng nổ, tức là các lượng nổ dài nằm sát nhau. Chính vì vậy cần thiết phải:

+ Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về vùng hiệu quả nổ phá của lượng nổ dạng phẳng.

+ Nghiên cứu thực nghiệm về quy luật đập vỡ đất đá của lượng nổ tập trung, dài và dạng phẳng trong các điều kiện mặt thoáng khác nhau.

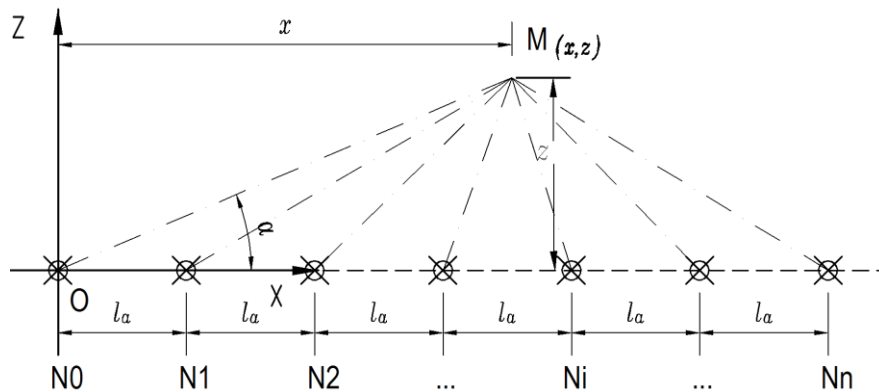
Chương 3

XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN, KHẢO SÁT TÁC DỤNG PHÁ HỦY CỦA LƯỢNG NỔ DẠNG PHẪNG

3.1. Thiết lập trường năng lượng nổ của nhóm lượng nổ dài song song trong môi trường đất đá

3.1.1. Thiết lập trường thế tốc độ xung quanh một nhóm lượng nổ dài song song nằm trong một mặt phẳng

Xét một nhóm các lượng nổ dài N_i ($i = 0 \div n$) có dạng elipxoit tròn xoay với các bán trục a, b, c ($a = c, b \gg a$) đặt song song cách đều nhau khoảng cách l_a trong môi trường có mật độ ρ , với O là gốc hệ tọa độ Descartes Oxyz. Xét 1 điểm M bất kỳ trong môi trường có tọa độ (x, y, z) và hình chiếu của nó trên mặt phẳng Oxz như hình 3.1.



Hình 3.1. Mô hình nhóm các lượng nổ dài N_i và hình chiếu của điểm M

Thế tốc độ do lượng nổ N_i gây ra tại M theo công thức (2.32) có giá trị:

$$\varphi_{M_i} = \sqrt{\frac{E}{2\pi\rho \cdot \sqrt{b^2 - a^2} \cdot \ln\left(\frac{b + \sqrt{b^2 - a^2}}{a}\right)}} \cdot \ln \frac{\sqrt{b^2 + \lambda_i} + \sqrt{b^2 - a^2}}{\sqrt{a^2 + \lambda_i}} \quad (3.1)$$

trong đó λ_i thỏa mãn điều kiện sau:

$$\frac{(x - i.l_a)^2 + z^2}{a^2 + \lambda_i} + \frac{y^2}{b^2 + \lambda_i} = 1; i = 0 \div n \quad (3.2)$$

Do các điểm M đều nằm trên các elipxoit có tâm là tâm của các lượng nổ N_i nên phương trình mặt phẳng tiếp tuyến với mặt elipxoit tại điểm $M(x_0, y_0, z_0)$ là:

$$A_J(x - x_0) + B_J(y - y_0) + C_J(z - z_0) = 0 \quad (3.3)$$

trong đó A_J, B_J, C_J được cho bởi định thức con của ma trận Jacobi. Xem xét mặt cong (3.2) trong miền $U(\alpha, \beta)$ với $0 \leq \alpha, \beta \leq 2\pi$, đặt:

$$\begin{cases} x = i.l_a + \sqrt{a^2 + \lambda_i} \sin \alpha \cos \beta \\ y = \sqrt{b^2 + \lambda_i} \sin \alpha \sin \beta \\ z = \sqrt{a^2 + \lambda_i} \cos \alpha \end{cases}$$

trong đó: $i = 0 \div n$, phương trình mặt tiếp tuyến là:

$$\begin{aligned} & \sqrt{b^2 + \lambda_i} \sin \alpha \cos \beta (x - x_0) + \sqrt{a^2 + \lambda_i} \sin \alpha \sin \beta (y - y_0) \\ & + \sqrt{b^2 + \lambda_i} \cos \alpha (z - z_0) = 0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Véc tơ pháp tuyến đơn vị được cho bởi công thức:

$$n_+ = (A_J, B_J, C_J) / \sqrt{A_J^2 + B_J^2 + C_J^2} \quad (3.5)$$

Từ (3.4) nhận được:

$$\begin{cases} A_J = \sqrt{b^2 + \lambda_i} \sin \alpha \cos \beta = \sqrt{b^2 + \lambda_i} (x_0 - i.l_a); \\ B_J = \sqrt{a^2 + \lambda_i} \sin \alpha \sin \beta = \frac{(a^2 + \lambda_i) y_0}{\sqrt{b^2 + \lambda_i}}; \\ C_J = \sqrt{b^2 + \lambda_i} \cos \alpha = \sqrt{b^2 + \lambda_i} z_0; \end{cases} \quad (3.6)$$

Thế tốc độ do lượng nổ N_i gây ra tại M là:

$$\vec{\varphi}_{M_i} = \frac{\varphi_{M_i}}{\sqrt{A_J^2 + B_J^2 + C_J^2}} (A_J, B_J, C_J) \quad (3.7)$$

Kí hiệu Φ là thế tốc độ tổng hợp do tất cả các lượng nỗ N_i gây ra tại M trong môi trường, được tính như sau:

$$\bar{\Phi}_M = \sum_{i=1}^n \bar{\varphi}_{M_i} = \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_{M_i}}{\sqrt{A_J^2 + B_J^2 + C_J^2}}(A_J, B_J, C_J) \quad (3.8)$$

Biểu thức (3.8) chính là phương trình tổng quát để xác định thế tốc độ của một điểm trong không gian do nhóm lượng nỗ dài song song với nhau và cùng nằm trên một mặt phẳng gây ra. Thế tốc độ do nhóm lượng nỗ gây ra ngoài việc phụ thuộc vào các tham số của lượng nỗ đơn (Q, λ, ρ, a, b), còn phụ thuộc vào khoảng cách giữa các lượng nỗ (l_a) và số lượng lượng nỗ (n).

3.1.2. Mật độ năng lượng môi trường của nhóm lượng nỗ dài song song

Phân tích phương trình tổng quát xác định mật độ năng lượng tại một điểm trong môi trường đối với một lượng nỗ đã được xác định từ công thức (2.36), cho phép tính mật độ năng lượng do nhiều lượng nỗ gây ra, như vậy để xác định được mật độ năng lượng do nhóm các lượng nỗ dài gây ra tại một điểm cần xác định được thế tốc độ tổng hợp của tất cả các lượng nỗ gây ra tại điểm đó. Mật độ năng lượng môi trường tại một điểm do tất cả các lượng nỗ dài gây ra là:

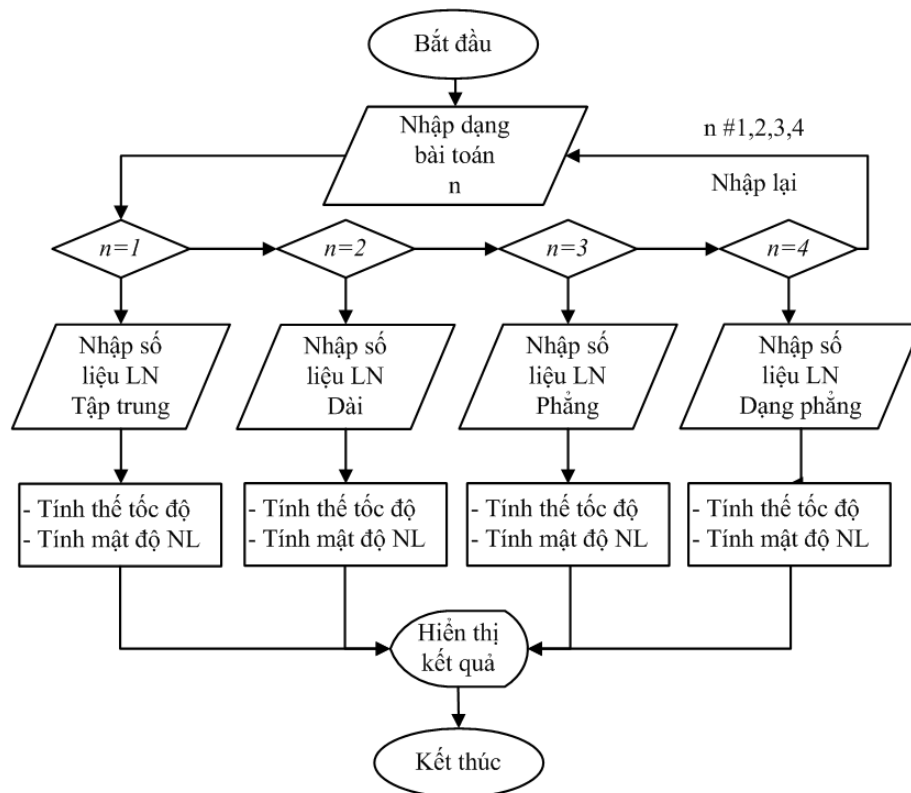
$$E_d^{th} = \frac{\rho}{2} \left[\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 \right] \quad (3.9)$$

Phân tích phương trình xác định trường thế tốc độ (3.8) và phương trình mật độ năng lượng môi trường (3.9) của một nhóm các lượng nỗ dài nhận thấy việc xác định trường thế tốc độ và mật độ năng lượng môi trường bằng tính toán trực tiếp là rất phức tạp. Để có thể thuận tiện trong nghiên cứu, tính toán ứng dụng, khảo sát trường thế tốc độ và mật độ năng lượng môi trường của nhóm lượng nỗ dài cần thiết phải xây dựng một chương trình tính toán.

3.2. Xây dựng và ứng dụng chương trình tính trong nghiên cứu khảo sát trường thế tốc độ và trường năng lượng nổ

3.2.1. Mô tả chương trình

Sử dụng ngôn ngữ lập trình Matlab, dựa trên cơ sở lý thuyết đã trình bày ở trên để xây dựng một chương trình tính trường thế tốc độ và trường năng lượng nổ có tên gọi là “*Truongnangluongno*” [9], [22], [38], [39].



Hình 3.2. Sơ đồ khối của chương trình “*Truongnangluongno*”

Các số liệu đầu vào để tính toán gồm có: thông số của một lượng nổ, số lượng lượng nổ, khoảng cách giữa các lượng nổ, mật độ môi trường. Từ các số liệu này máy tính sẽ xuất ra giá trị trường thế tốc độ hoặc mật độ năng lượng môi trường tại các vị trí mà ta chọn để nghiên cứu. Sơ đồ khối của chương trình trên hình 3.2.

3.2.2. Nhập xuất dữ liệu

- Các số liệu đầu vào gồm có:
- + Các thông số lượng nổ: loại thuốc nổ, kích thước (các bán trục: a, b, c).

- + Mật độ trung bình của chất nổ.
- + Số lượng lượng nổ.
- + Khoảng cách giữa các lượng nổ.
- + Mật độ môi trường.
 - Các số liệu đầu ra:
 - + Thế tốc độ tại các điểm cần nghiên cứu trong môi trường.
 - + Đồ thị các đường đẳng thế trong môi trường.
 - + Mật độ năng lượng tại các điểm cần nghiên cứu trong môi trường.
 - + Đồ thị các đường đẳng năng lượng trong môi trường.

3.2.3. Khả năng của chương trình

Chương trình cho phép tính thế tốc độ tổng hợp do các lượng nổ gây ra tại các điểm nghiên cứu và trường thế tốc độ xung quanh nhóm lượng nổ, cho phép tính mật độ năng lượng trong môi trường tại các điểm nghiên cứu và trường phân bố năng lượng nổ.

3.3. Khảo sát một số bài toán

3.3.1. Khảo sát trường thế tốc độ của nhóm lượng nổ dài đặt song song trong cùng một mặt phẳng

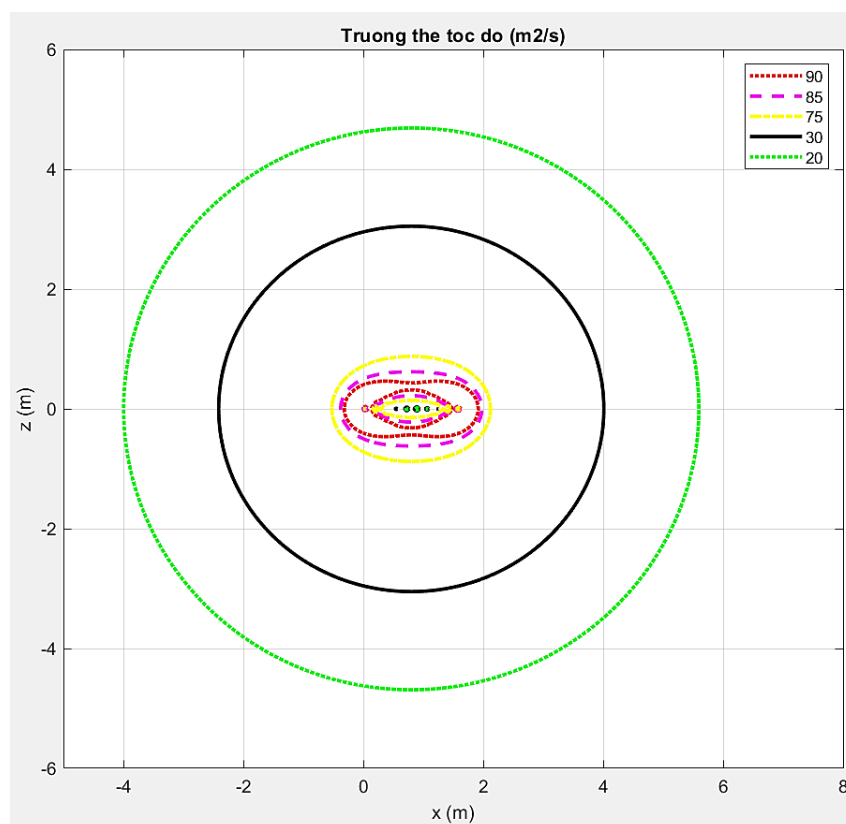
Sử dụng chương trình được lập để khảo sát trường thế tốc độ của một nhóm lượng nổ dài đặt song song trong cùng một mặt phẳng, với các số liệu như sau:

- + Lượng nổ dài có thể coi là một elipxoit tròn xoay với các bán trục $a = c = 0,016$ m; $b = 1$ m.
- + Thuốc nổ khảo sát là loại nhũ tương TNP-1E, có mật độ trung bình của chất nổ: 1150 kg/m³. Năng lượng khi giải phóng 1 kg thuốc nổ là 1000 kcal.
- + Số lượng nổ khảo sát: 11 lượng nổ.
- + Mật độ môi trường: 230 kG.s²/m⁴ (≈ 2300 kg/m³).

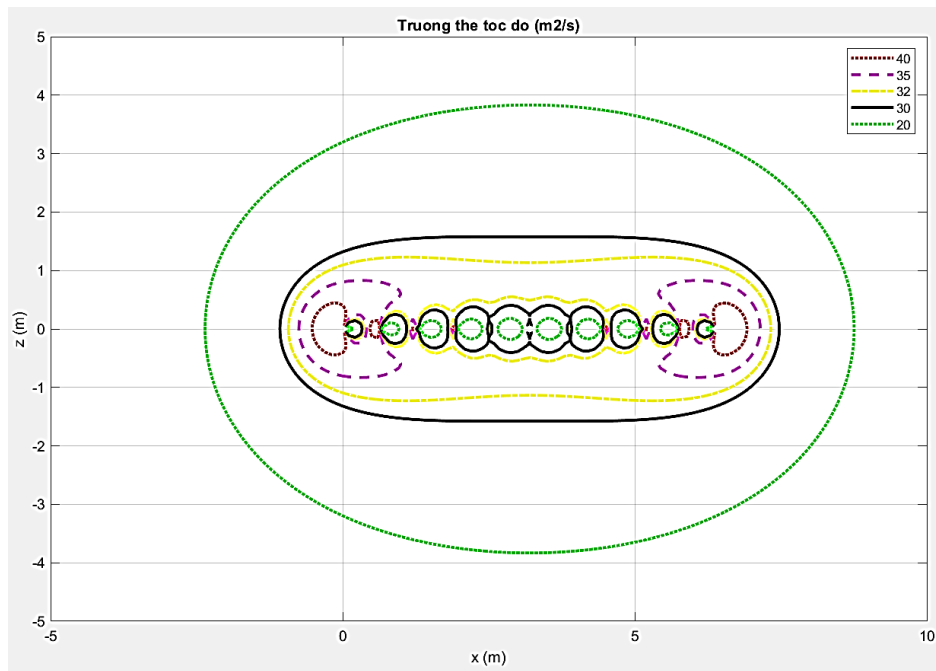
Tiến hành khảo sát tại vị trí mặt phẳng đi qua tâm và vuông góc với trục

lượng nổ dài (mặt phẳng $y = 0$) với 3 trường hợp cơ bản để đánh giá sự biến đổi trường thế tốc độ của nhóm lượng nổ dài. Kí hiệu l_a là khoảng cách giữa các lượng nổ dài, d là đường kính lượng nổ dài, xét các trường hợp:

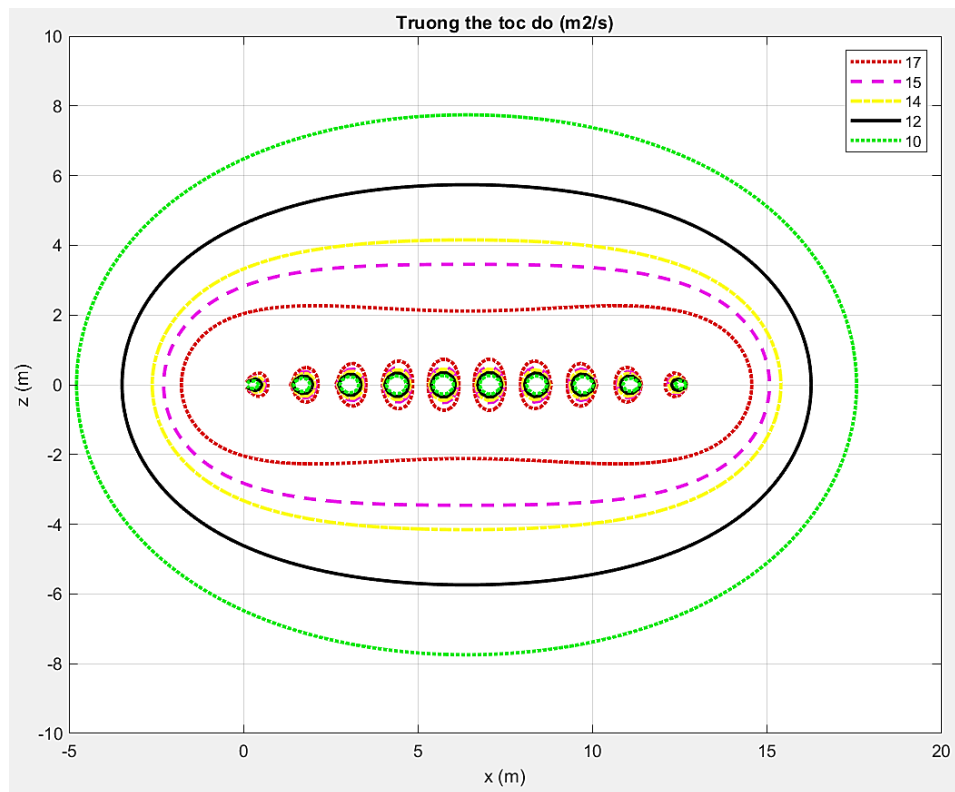
- Trường hợp 1: $l_a/d = 5$, các lượng nổ đặt rất gần nhau, khi đó nhóm lượng nổ dài sẽ có dạng gần giống với lượng nổ phẳng, khoảng cách giữa các lượng nổ là: 0,16 m. Kết quả khảo sát được thể hiện trên hình 3.3.
- Trường hợp 2: $l_a/d = 20$, các lượng nổ đặt cách xa hơn so với trường hợp 1 nhưng vẫn ở mức hợp lý để đảm bảo hình thành vùng sóng nổ phẳng, khoảng cách giữa các lượng nổ là 0,64 m. Kết quả khảo sát được thể hiện trên hình 3.4.
- Trường hợp 3: $l_a/d = 40$, các lượng nổ đặt cách xa hơn so với trường hợp 2 sao cho ảnh hưởng giữa các lượng nổ trong vùng nổ gần là không đáng kể, khoảng cách giữa các lượng nổ là 1,28 m. Kết quả khảo sát được thể hiện trên hình 3.5.



Hình 3.3. Trường thế tốc độ của nhóm 11 lượng nổ dài, cách nhau 0,16 m



Hình 3.4. Trường thế tốc độ của nhóm 11 lưỡng nỏ dài, cách nhau 0,64 m



Hình 3.5. Trường thế tốc độ của nhóm 11 lưỡng nỏ dài, cách nhau 1,28 m

Nhận xét: Như vậy thế tốc độ của một nhóm lưỡng nỏ dài song song cách

đều nhau ngoài việc phụ thuộc vào các yếu tố của một lượng nổ dài thì còn phụ thuộc vào khoảng cách giữa các lượng nổ và số lượng lượng nổ. Khi các lượng nổ dài được kết hợp lại bằng cách đặt song song cách đều nhau trên cùng một mặt phẳng (mặt phẳng nổ) thì trường thế tốc độ do nhóm các lượng nổ này gây ra có đặc điểm sau:

- Nếu khoảng cách giữa các lượng nổ nhỏ:

+ Khi số lượng lượng nổ không lớn hay kích thước của mặt phẳng nổ nhỏ thì các đường đẳng thế trong trường thế gần giống với trường hợp lượng nổ tập trung.

+ Khi số lượng lượng nổ lớn, kích thước của mặt phẳng nổ lớn gấp nhiều lần đường kính lượng nổ thì các đường đẳng thế trong trường thế sẽ gần giống với trường hợp của lượng nổ dẹt (lượng nổ phẳng).

- Nếu khoảng cách giữa các lượng nổ lớn:

+ Khi khoảng cách giữa các lượng nổ tăng dần thì thế tốc độ sẽ giảm dần và ngược lại, ở một khoảng cách phù hợp sẽ hình thành vùng các đường đẳng thế song song với mặt phẳng nổ. Trong bài khảo sát này khi tỉ lệ $l_a/d = 5$, đường đẳng thế $\varphi = 30 \text{ m}^2/\text{s}$ có dạng hình cầu, khi tỉ lệ $l_a/d = 20$ có dạng hình elip bao quanh nhóm lượng nổ dài, khi tỉ lệ $l_a/d = 40$ sẽ chỉ hình thành xung quanh các lượng nổ dài đơn.

+ Khi khoảng cách giữa các lượng nổ lớn đến một mức độ nào đó thì chỉ xuất hiện các đường đẳng thế xung quanh lượng nổ, đường đẳng thế của mặt phẳng nổ có giá trị rất nhỏ hay nói cách khác ảnh hưởng của các lượng nổ là không đáng kể.

3.3.2. Khảo sát trường phân bố năng lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau

Sử dụng chương trình được lập để tính toán mật độ năng lượng của một điểm bất kỳ trong môi trường, tiến hành khảo sát trường phân bố năng lượng

nổ và thể tích vùng có khả năng bị phá hủy với bốn dạng lượng nổ có số liệu như sau:

Thuốc nổ khảo sát là loại nhũ tương TNP-1E, có mật độ trung bình của chất nổ: 1150 kg/m^3 . Khảo sát trong môi trường vô hạn với 2 loại đất đá khác nhau có mật độ môi trường là $230 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$ và $280 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$ ($\approx 2800 \text{ kg/m}^3$) Các lượng nổ khảo sát có cùng khối lượng giống nhau.

- Lượng nổ tập trung: có dạng hình cầu, bán kính r .
- Lượng nổ dài: coi là một elipxoit tròn xoay với các bán trục a, b, c .
- Lượng nổ phẳng: coi là một elipxoit dẹt xoay với các bán trục a, b, c .
- Lượng nổ dạng phẳng là nhóm các lượng nổ dài gồm n lượng nổ dài đặt song song trong cùng một mặt phẳng, cách đều nhau một khoảng cách l_a . Một lượng nổ dài trong nhóm coi là một elipxoit tròn xoay với các bán trục a, b, c .

Để tính mức năng lượng tới hạn mà tại đó môi trường có khả năng bị phá hủy, dựa vào chỉ tiêu thuốc nổ om tra trong bảng [21] tương ứng với loại đất đá đó, tính được năng lượng giới hạn như sau:

Với môi trường có mật độ là $230 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$, $q_o = 0,4 \text{ kg/m}^3$:

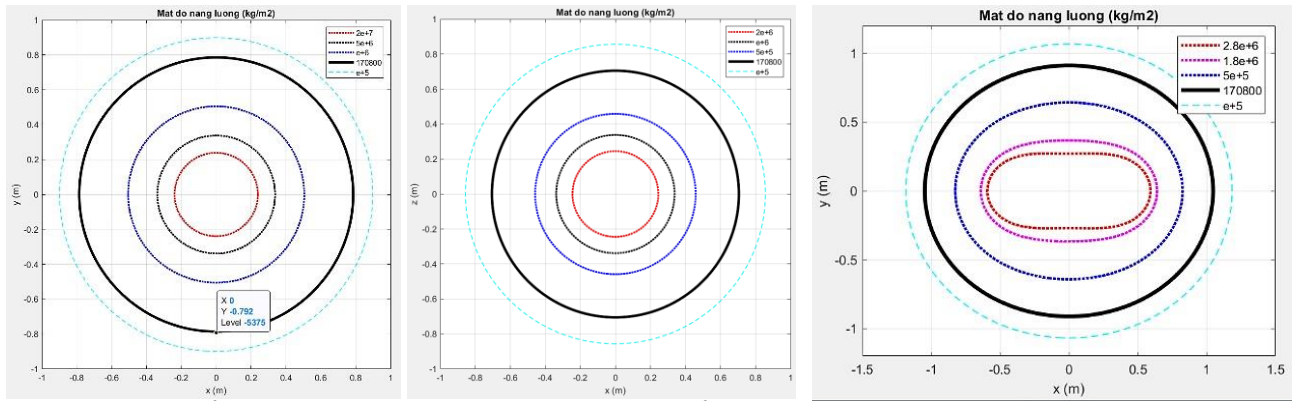
$$E_{th} = q_o \cdot E_0 = 0,4 \cdot 427 \cdot 1000 = 170800 \text{ (kG/m}^2\text{)}$$

Với môi trường có mật độ là $280 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$, $q_o = 0,6 \text{ kg/m}^3$:

$$E_{th} = q_o \cdot E_0 = 0,6 \cdot 427 \cdot 1000 = 256200 \text{ (kG/m}^2\text{)}$$

trong đó: q_o – chỉ tiêu thuốc nổ om; E_0 – năng lượng riêng của thuốc nổ.

Khảo sát sự phân bố năng lượng nổ tại mặt phẳng đi qua tâm của các lượng nổ ($y = 0$). Kết quả khảo sát trường phân bố năng lượng nổ được thể hiện trên hình 3.6 và hình 3.7. Các thông số của lượng nổ khảo sát và kích thước của vùng có khả năng bị phá hủy được thể hiện ở bảng PL. 1, bảng PL. 2. Đường màu đen trên các hình vẽ có mức năng lượng 170800 kG/m^2 là giới hạn vùng có khả năng bị phá hủy.

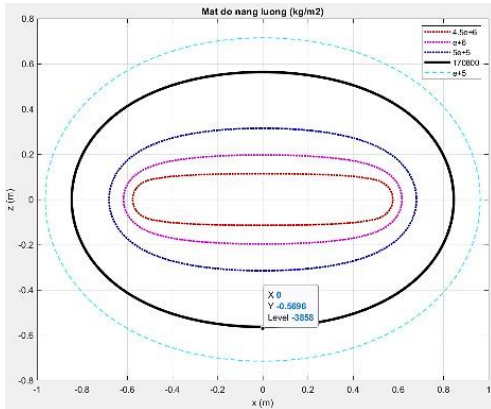


a) Lượng nổ tập trung

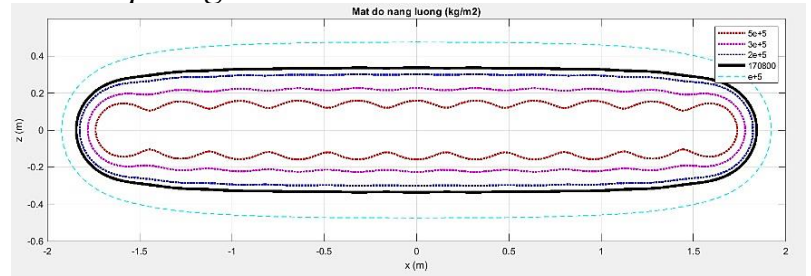
b) Lượng nổ dài

c) Lượng nổ phẳng

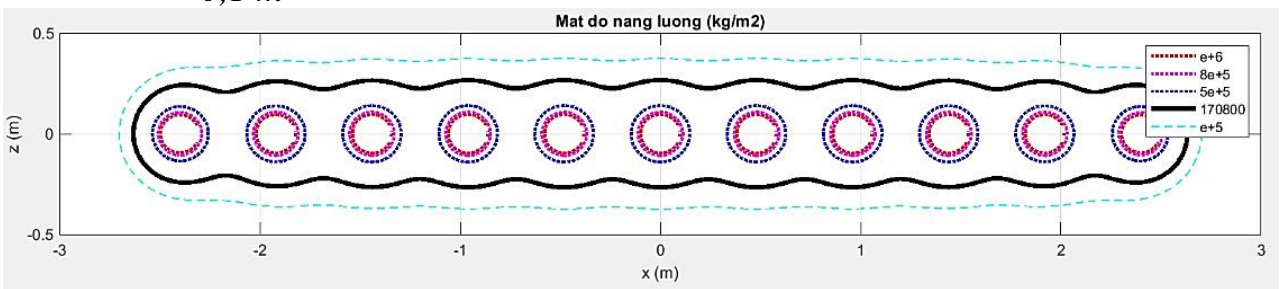
Hình 3.6. Mật độ năng lượng của lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và lượng nổ phẳng



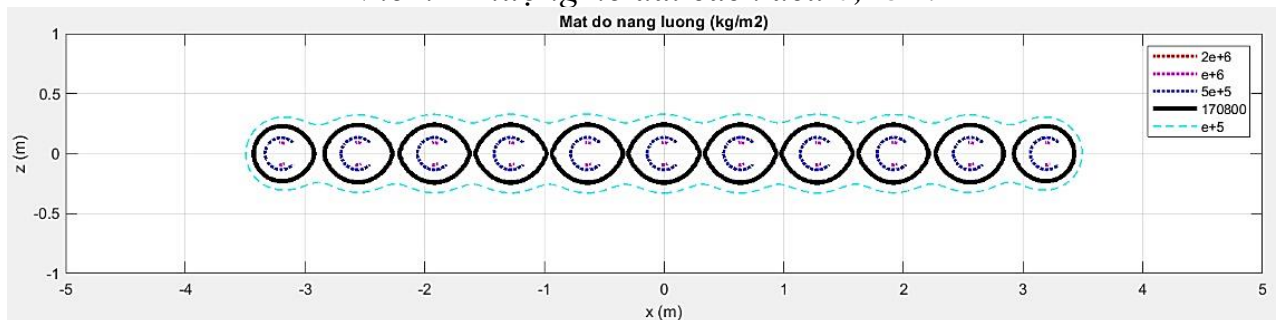
Nhóm 11 lượng nổ dài cách đều 0,1 m



Nhóm 11 lượng nổ dài cách đều 0,32 m

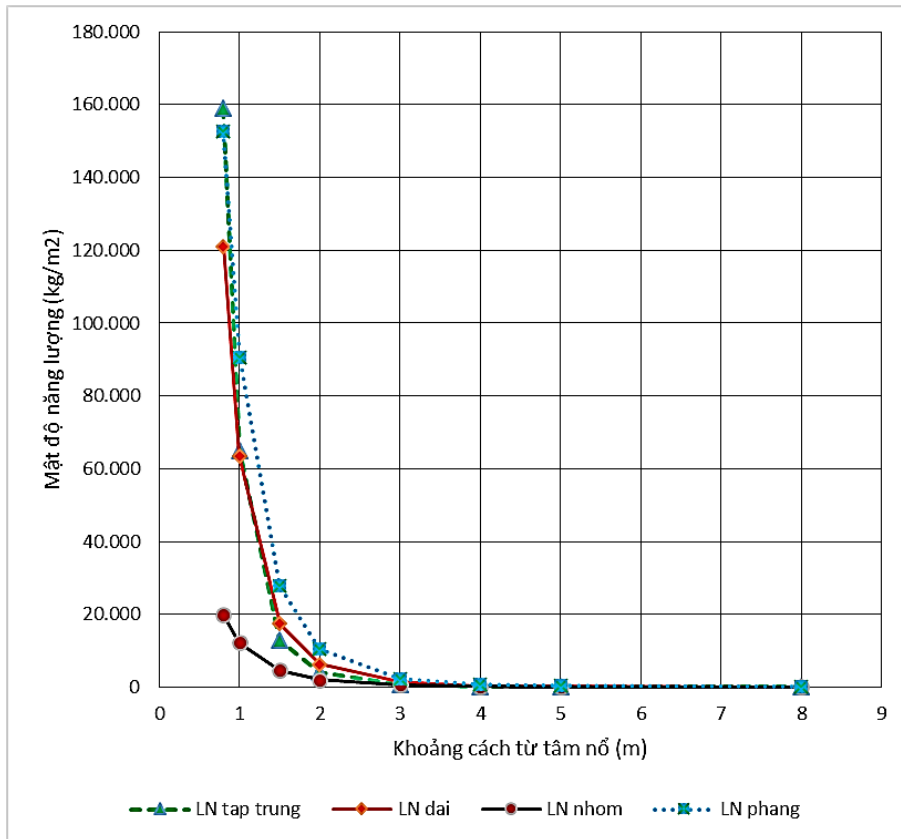


Nhóm 11 lượng nổ dài cách đều 0,48 m

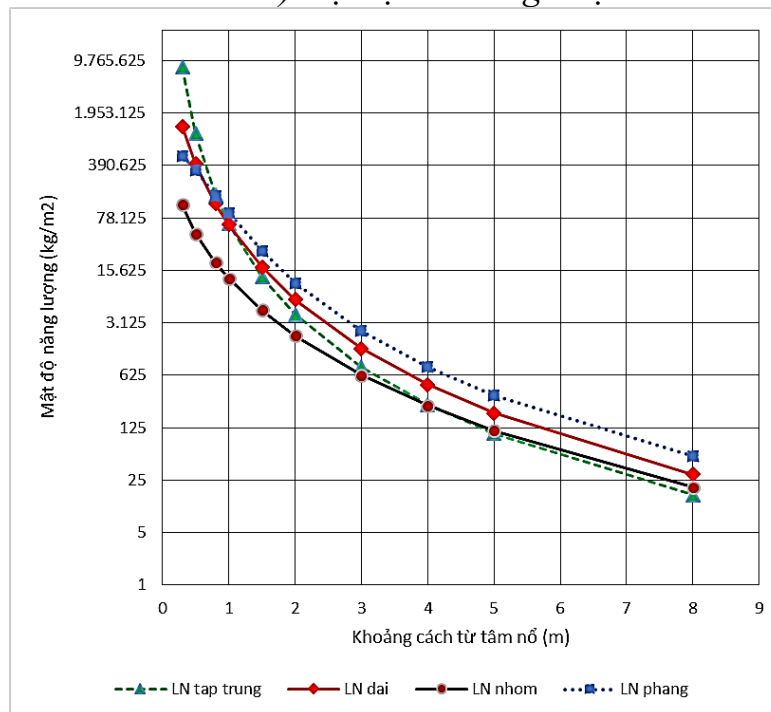


Nhóm 11 lượng nổ dài cách đều 0,64 m

Hình 3.7. Mật độ năng lượng của nhóm lượng nổ dài song song



a) Hệ trục có cùng tỉ lệ



b) Hệ trục tỉ lệ logarithmic

Hình 3.8. Sự thay đổi mật độ năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ

Nhận xét: Từ các đồ thị hình 3.6, hình 3.7, hình 3.8 và bảng số liệu bảng PL. 1, bảng PL. 2, bảng PL. 3, khi nghiên cứu sự phát tán năng lượng nổ từ tâm nổ ra môi trường xung quanh của các dạng lượng nổ có cùng khối lượng thuốc nổ trong cùng một điều kiện nổ, có một số nhận xét như sau:

Đối với lượng nổ tập trung, năng lượng nổ phát tán theo dạng hình cầu, do đó trên mặt phẳng $y = 0$ sự phát tán năng lượng sẽ có dạng các đường tròn đồng tâm, sự suy giảm năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ là lớn nhất (đồ thị hình 3.8).

Đối với lượng nổ dài, năng lượng nổ phát tán theo dạng các elipxoit tròn xoay đồng tâm, trên mặt phẳng $y = 0$ sự phát tán năng lượng sẽ có dạng các đường tròn đồng tâm, sự suy giảm năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ là ít hơn so với lượng nổ tập trung (đồ thị hình 3.8).

Đối với lượng nổ phẳng, năng lượng nổ phát tán theo dạng các elipxoit dẹt xoay đồng tâm, trên mặt phẳng $z = 0$ sự phát tán năng lượng sẽ có dạng các đường elip đồng tâm, sự suy giảm năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ là ít hơn so với lượng nổ tập trung và lượng nổ dài (đồ thị hình 3.8). Tuy nhiên lượng nổ phẳng có thể coi là trường hợp đặc biệt của lượng nổ dài khi có 2 bán trục lớn hơn rất nhiều bán trục còn lại, do đó tùy theo kích thước của lượng nổ phẳng mà sự phát tán năng lượng sẽ gần giống với lượng nổ tập trung khi kích thước của 3 cạnh gần bằng nhau hoặc lượng nổ dài khi kích thước 1 cạnh lớn hơn nhiều 2 cạnh còn lại.

Đối với nhóm lượng nổ dài thì sự phát tán năng lượng của các lượng nổ đơn trong nhóm giống như trường hợp lượng nổ dài, ngoài ra tùy thuộc số lượng lượng nổ và khoảng cách giữa các lượng nổ mà sự phát tán năng lượng của lượng nổ nhóm sẽ gần giống với trường hợp của lượng nổ tập trung, dài, hoặc phẳng. Khi các lượng nổ dài được bố trí ở khoảng cách hợp lý thì ở một vị trí

nhất định sẽ hình thành các đường (mặt) đẳng năng lượng song song với nhau và song song với mặt phẳng chứa lượng nổ. Đây là vùng hình thành sóng nổ phẳng, sóng này có đặc điểm là suy giảm chậm hơn so với sóng nổ trụ và cầu (đồ thị hình 3.7, hình 3.8).

Các kết quả khảo sát trong bảng PL. 1, bảng PL. 2 cho thấy khi cùng sử dụng một khối lượng thuốc nổ trong cùng điều kiện nổ thì vùng có khả năng bị phá hủy của lượng nổ tập trung là nhỏ nhất, lượng nổ dài lớn hơn lượng nổ tập trung, lượng nổ phẳng tùy theo tỉ lệ kích thước giữa chiều rộng và chiều dày lượng nổ sẽ lớn hơn lượng nổ dài và lượng nổ tập trung, lượng nổ dạng phẳng (nhóm lượng nổ dài song song) tùy theo tỉ lệ giữa khoảng cách lượng nổ và đường kính lượng nổ sẽ lớn hơn lượng nổ dài và lượng nổ tập trung. Như vậy với lượng nổ phẳng hoặc lượng nổ dạng phẳng khi tỉ lệ kích thước giữa chiều rộng và chiều dày lượng nổ hoặc tỉ lệ giữa khoảng cách lượng nổ và đường kính lượng nổ ở mức hợp lý thì thể tích vùng phá hủy lớn nhất hay đạt được hiệu quả nổ cao nhất (chỉ tiêu thuốc nổ nhỏ nhất). Để có thể phân tích quy luật chung, cần đưa vào thông số đồng dạng là khoảng cách tương đối l_a/d , là tỉ lệ giữa khoảng cách giữa các lượng nổ (l_a) và đường kính lượng nổ (d).

3.3.3. Khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ khoảng cách tương đối lượng nổ l_a/d đến vùng phá hủy

Để nghiên cứu quy luật phá hủy đất đá khi thay đổi khoảng cách giữa các lượng nổ trong nhóm lượng nổ dài, sử dụng chương trình được lập để tiến hành khảo sát vùng có khả năng bị phá hủy với lượng nổ dạng phẳng là một nhóm gồm 11 lượng nổ dài nằm song song trong cùng một mặt phẳng, cách đều nhau khoảng cách l_a , lượng nổ dài coi là một elipxoit tròn xoay có 2 loại với các bán trục là: $a = c = 0,016$ m, $b = 5$ m và $a = c = 0,03$ m, $b = 5$ m. Thuốc nổ khảo sát là loại nhũ tương TNP-1E, có mật độ trung bình của chất nổ: 1150 kg/m^3 . Khảo sát trong môi trường vô hạn với 3 loại đất đá khác nhau có mật độ là: 150

$\text{kG.s}^2/\text{m}^4$ (đất đá mềm, dễ phá vỡ), $230 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$ (đất đá có độ cứng trung bình, đập vỡ bình thường) và $280 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$ (đất đá cứng, khó đập vỡ).

Mức năng lượng tới hạn mà tại đó môi trường có khả năng bị phá hủy, tính tương tự như phân 3.3.2 cho loại đất đá còn lại.

Với môi trường có mật độ là $150 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$ ($\approx 1500 \text{ kg/m}^3$), $q_0=0,3 \text{ kg/m}^3$, mức năng lượng tới hạn là:

$$E_{th-1} = q_0 \cdot E_0 = 0,3 \cdot 427.1000 = 128100 \text{ (kG/m}^2\text{)}$$

Với môi trường có mật độ là $230 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$ thì $E_{th-2} = 170800 \text{ (kG/m}^2\text{)}$, mật độ là $280 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$ thì $E_{th-3} = 256200 \text{ (kG/m}^2\text{)}$.

Tiến hành khảo sát với 2 loại đường kính lượng nổ là: $d = 0,032 \text{ m}$ và $d = 0,06 \text{ m}$ để tính thể tích vùng có khả năng phá hủy. Thể tích vùng phá hủy được tính cho 1 m dài vùng phá hủy theo chiều dài lượng nổ theo công thức sau:

$$V_{ph} = S_{ph} \cdot l_{ph} \text{ (m}^3\text{)}$$

trong đó: V_{ph} – thể tích vùng có khả năng bị phá hủy; S_{ph} – diện tích mặt cắt ngang vùng phá hủy (m^2), do lượng nổ rất dài nên để tiện tính toán, lấy diện tích tại mặt cắt $y = 0$; l_{ph} – chiều dài vùng phá hủy, lấy bằng 1 m.

Kết quả khảo sát được thể hiện trong bảng 3.1, bảng 3.2 như sau:

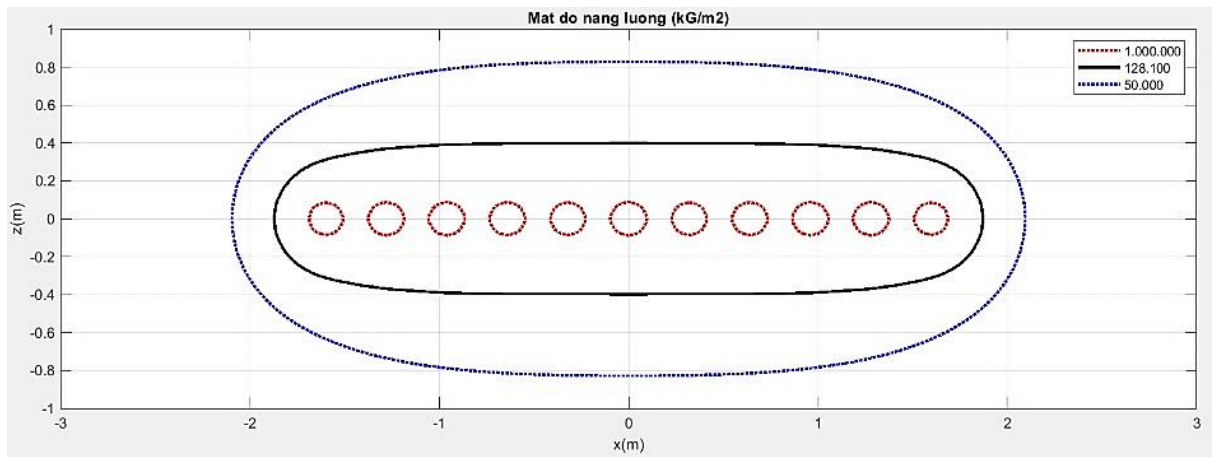
Bảng 3.1. Sự phụ thuộc V_{ph} vào l_a/d đối với lượng nổ có $d=0,032 \text{ m}$

E_{th-1}	l_a/d	1	10	13	14	15	17	20	25	30	35
	V_{ph} (m^3)	1,75	2,69	2,92	2,95	2,93	2,82	2,58	2,10	1,99	1,92
E_{th-2}	l_a/d	1	10	11	12	13	14	15	20	25	35
	V_{ph} (m^3)	1,33	2,26	2,28	2,34	2,25	2,23	2,17	1,73	1,50	1,45
E_{th-3}	l_a/d	1	5	9	10	11	13	15	20	25	35
	V_{ph} (m^3)	0,90	1,17	1,57	1,60	1,53	1,43	1,34	1,05	0,96	0,91

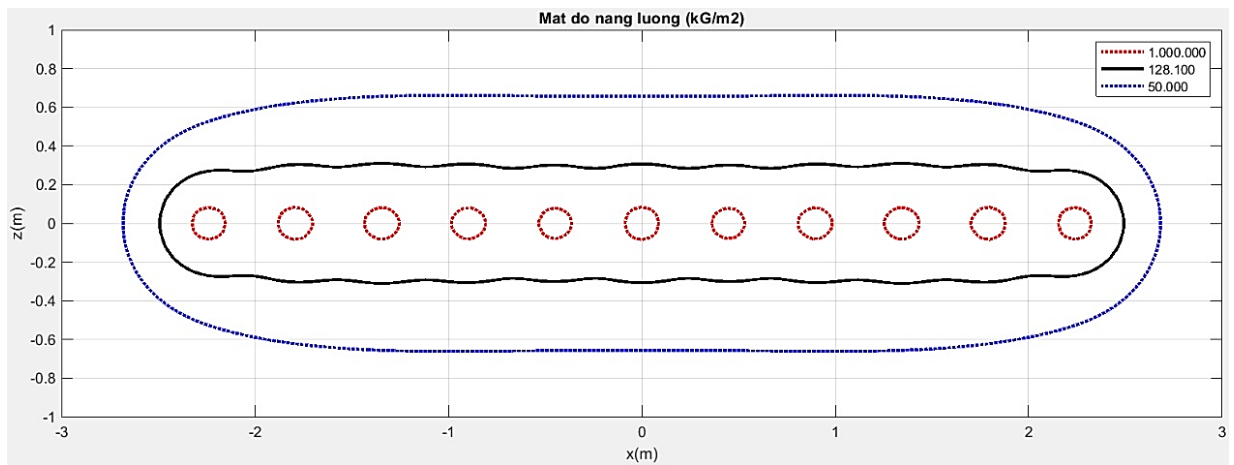
Bảng 3.2. Sự phụ thuộc V_{ph} vào l_a/d đối với lượng nổ có $d=0,06\text{ m}$

E_{th-1}	l_a/d	1	10	14	15	16	20	25	30	35	
	V_{ph} (m^3)	6,44	9,58	10,26	10,29	10,09	8,79	7,46	7,12	7,04	
E_{th-2}	l_a/d	1	10	12	13	14	15	17	20	25	35
	V_{ph} (m^3)	4,94	7,47	7,80	8,06	7,79	7,62	7,06	5,82	5,55	5,27
E_{th-3}	l_a/d	1	5	9	10	11	13	15	20	25	35
	V_{ph} (m^3)	3,40	4,26	5,52	5,56	5,49	5,22	4,62	3,86	3,66	3,56

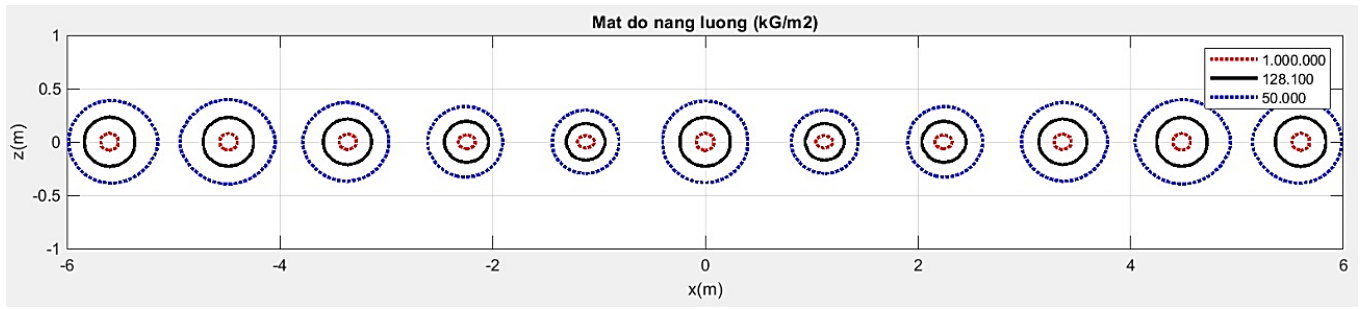
Từ 2 bảng số liệu bảng 3.1, bảng 3.2, xây dựng được đồ thị về ảnh hưởng của khoảng cách tương đối l_a/d đến vùng phá hủy với các loại đất đá khác nhau.



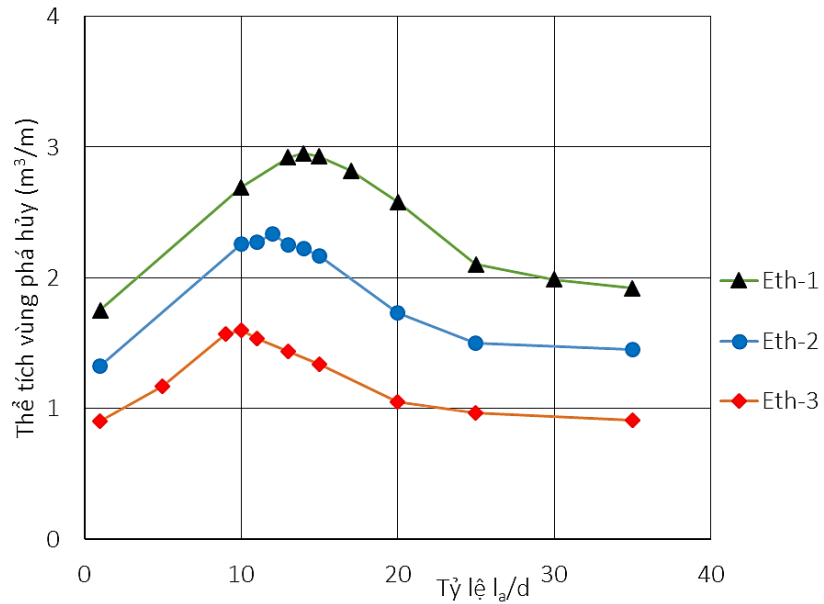
Hình 3.9. Mặt cắt vùng phá hủy của lượng nổ dạng phẳng khi $l=10d$
($\rho = 150\text{ kG.s}^2/m^4$, $d = 0,032\text{ m}$)



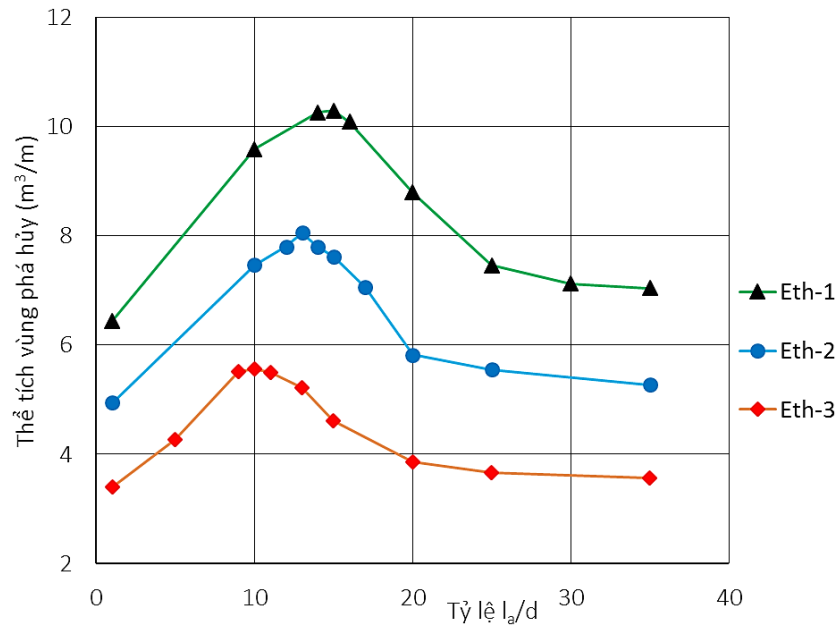
Hình 3.10. Mặt cắt vùng phá hủy của lượng nổ dạng phẳng khi $l = 14d$
($\rho = 150\text{ kG.s}^2/m^4$, $d = 0,032\text{ m}$)



Hình 3.11. Mặt cắt vùng phá hủy của lượng nổ dạng phẳng khi $l = 25d$
 ($\rho = 150 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$, $d = 0,032 \text{ m}$)



Hình 3.12. Ảnh hưởng của tỉ lệ l_a/d đến V_{ph} với lượng nổ có $d=0,032 \text{ m}$



Hình 3.13. Ảnh hưởng của tỉ lệ l_a/d đến V_{ph} với lượng nổ có $d=0,06 \text{ m}$

Phân tích hình 3.12, hình 3.13 chỉ ra rằng khi khoảng cách giữa các lượng nổ trong nhóm tăng dần từ $1d$ (các lượng nổ đặt sát nhau) thì vùng phá hủy cũng tăng lên đến một giá trị nhất định mà ở đó vùng phá hủy là lớn nhất, sau đó khi khoảng cách giữa các lượng nổ vẫn tăng lên thì vùng phá hủy sẽ giảm đi đến một giá trị nào đó thì không thay đổi. Các lượng nổ dài trong nhóm lúc này tác dụng như những lượng nổ dài độc lập, vùng phá hủy của từng lượng nổ độc lập với nhau, hình 3.9 thể hiện vùng phá hủy khi các lượng nổ trong nhóm có sự tác dụng tương hỗ với nhau, giống với trường hợp của lượng nổ phẳng, hình 3.10 thể hiện vùng phá hủy đạt giá trị lớn nhất, các lượng nổ đơn trong nhóm tác dụng tương hỗ với nhau vừa đủ để tạo thành vùng phá hủy có dạng phẳng, trên hình vẽ nhận thấy vùng biên phá hủy của từng lượng nổ bắt đầu có sự co thắt lại, hình 3.11 thể hiện vùng phá hủy là của các lượng nổ đơn đã tách rời nhau, dù có thay đổi khoảng cách giữa các lượng nổ thì diện tích vùng phá hủy cũng không thay đổi.

Như vậy trong thực tế để nâng cao hiệu quả nổ khi sử dụng lượng nổ dạng phẳng thì cần lựa chọn tỉ lệ l_a/d một cách hợp lý để đạt hiệu quả cao nhất. hình 3.12, hình 3.13 là kết quả khảo sát với 2 loại đường kính lượng nổ và 3 môi trường đất đá khác nhau, nhận thấy khi mật độ môi trường tăng (đất đá cứng hơn) thì tỉ lệ l_a/d sẽ giảm đi và ngược lại, điều này phù hợp với các nghiên cứu lý thuyết và thực tế. Với các loại đất đá và thuốc nổ thông thường, với các điều kiện nổ như trong bài khảo sát thì tỉ lệ l_a/d hợp lý nằm trong khoảng từ $10 \div 25$.

Nếu biết trước các thông số lượng nổ và đặc điểm môi trường (năng lượng tới hạn), sử dụng phần mềm được lập này có thể tính sơ bộ khoảng cách giữa các lượng nổ trong nhóm để nâng cao hiệu quả khi nổ mìn.

3.4. Kết luận Chương 3

Hệ thống lý thuyết nổ nói chung, đặc biệt lý thuyết thủy động lực học nổ trong đất đá mới chỉ đề cập trường thế tốc độ và trường năng lượng nổ của lượng nổ đơn, trong khi đó ngoài thực tiễn đã ứng dụng rộng rãi hệ thống lượng

nổ trong lỗ khoan song song với nhau. Sự thiếu hụt lý luận này đã làm hạn chế quá trình điều khiển tối ưu chất lượng đập vỡ đất đá ngoài thực tiễn. Chính vì vậy việc nghiên cứu nhóm lượng nổ dài song song nằm trên cùng một mặt phẳng (lượng nổ dạng phẳng) là một nhiệm vụ khoa học có tính cấp thiết.

Trên cơ sở lý thuyết thủy động lực học và tác dụng nổ trong đất đá của lượng nổ dài, luận án đã nghiên cứu, thiết lập sự phụ thuộc của trường thế tốc độ và mật độ năng lượng môi trường của lượng nổ dạng phẳng (nhóm lượng nổ dài song song) vào đặc tính môi trường đất đá và các thông số khoảng cách giữa các lượng nổ. Sự phụ thuộc này là cơ sở lý luận để tính toán vùng phá hủy và kích thước trung bình cỡ hạt cục đá phá ra của lượng nổ dạng phẳng.

Sử dụng chương trình được lập đã tiến hành khảo sát trường thế tốc độ, trường năng lượng nổ xung quanh lượng nổ dạng phẳng với một điều kiện đất đá và điều kiện nổ nhất định. Kết quả khảo sát cho thấy, thế tốc độ và mật độ năng lượng của nhóm lượng nổ dài cũng giảm dần khi ra xa giống như trường hợp lượng nổ đơn, khi khoảng cách giữa các lượng nổ dài trong nhóm hợp lý, sẽ hình thành vùng có trường thế tốc độ và trường năng lượng nổ gần với mặt phẳng. Đây chính là vùng sóng nổ phẳng có tác dụng tốt cho điều khiển chất lượng đập vỡ đồng đều của đất đá.

Khi nổ lượng nổ dạng phẳng thì hiệu quả nổ phụ thuộc vào khoảng cách tương đối giữa các lượng nổ. Các kết quả khảo sát đã chỉ ra rằng khi tỉ số $l_a/d = 10 \div 25$ (hay khoảng cách giữa các lượng nổ $l_a = (10 \div 25)d$) tùy từng loại đất đá và điều kiện nổ thì hiệu quả phá vỡ đất đá sẽ đạt giá trị lớn nhất. Tuy nhiên các nghiên cứu lý thuyết này đều dựa trên các giả thiết nhất định, trong đó đã bỏ qua ảnh hưởng của một số yếu tố nhằm đơn giản hóa các phương trình toán học, vì vậy không thể tránh khỏi sai số so với thực tế nên cần thiết phải tiến hành nghiên cứu thực nghiệm để so sánh với các kết quả nghiên cứu lý thuyết.

Chương 4

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Quá trình nổ diễn ra trong thời gian rất ngắn, áp lực ở vùng gần tâm nổ rất lớn, nên cho đến nay, các phương pháp giải tích rất khó mô tả chính xác bản chất vật lý của quá trình nổ. Do vậy, người ta thường đưa vào các giả thiết lý tưởng hóa hoặc bỏ qua một số ảnh hưởng của các tham số dẫn đến kết quả chưa thật chính xác, thậm chí sai lệch vài lần so với thực tế. Một số công trình nghiên cứu tìm ra các hệ số hay hàm số thực nghiệm trong những điều kiện khác nhau, vì vậy việc sử dụng các công thức thực nghiệm mà không hiểu rõ điều kiện áp dụng cũng có thể dẫn đến các kết quả có sai số lớn.

Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, đã tiến hành thí nghiệm nổ trên mô hình thu nhỏ để tìm ra các quy luật thực nghiệm trong điều kiện thực tế. Các thí nghiệm nổ mình được tiến hành tại thao trường Hòa Lạc, một cơ sở của Học viện KTQS và các bãi đá tại Vân Đồn, Quảng Ninh. Quá trình thí nghiệm tại thao trường được tiến hành tỉ mỉ, cẩn thận, việc thí nghiệm nổ cũng rất khó khăn và không phải lúc nào cũng thành công, vừa thử nghiệm vừa nghiên cứu rút kinh nghiệm. Sau nhiều lần điều chỉnh nội dung và phương pháp thí nghiệm, trải qua hàng chục đợt thí nghiệm trong đó có 7 đợt đáp ứng được mục đích nghiên cứu nên lấy được số liệu phục vụ nghiên cứu là:

+ Đợt 1: Tháng 3 năm 2017: thí nghiệm nổ mẫu bê tông trong môi trường có 5 mặt thoáng để nghiên cứu MĐĐVĐĐ.

+ Đợt 2: Tháng 12 năm 2017: thí nghiệm nổ mẫu bê tông trong môi trường kín, không có mặt thoáng để nghiên cứu MĐĐVĐĐ.

+ Đợt 3: Tháng 01 năm 2018: thí nghiệm nổ mẫu bê tông trong môi trường có 5 mặt thoáng phụ để nghiên cứu MĐĐVĐĐ.

+ Đợt 4: Tháng 4 năm 2018: thí nghiệm bổ sung thêm các mẫu bê tông của đợt 2, 3.

+ Đợt 5: Tháng 8 năm 2019: thí nghiệm nổ các mẫu bê tông có xét đến ảnh hưởng của chiều sâu lớp nước để nghiên cứu MĐĐVĐĐ.

+ Đợt 6: Tháng 9 năm 2019: thí nghiệm nổ thực tế trong lỗ khoan các bãi đá tại Vân Đồn, Quảng Ninh.

+ Đợt 7: Tháng 7 năm 2020: thí nghiệm nổ các mẫu bê tông có một mặt thoáng (chôn ngầm trong bê tông) để nghiên cứu MĐĐVĐĐ.

Các số liệu để nghiên cứu thí nghiệm trên mô hình thu nhỏ là kết quả của 35 bài thí nghiệm, chi tiết các bài thí nghiệm trong bảng PL. 8, bảng PL. 12, bảng PL. 16. Các bài thí nghiệm nổ thực tế tại công trường trong bảng 4.13 (6 bài thí nghiệm) để đánh giá kết quả nghiên cứu.

4.1. Mô tả phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

4.1.1. Phân tích lựa chọn phương pháp thí nghiệm chung

Nghiên cứu thực nghiệm trong công tác nổ mìn phá vỡ đất đá có nhiều phương pháp khác nhau, tuy nhiên để có thể thực hiện nghiên cứu quy luật phân bố cỡ hạt đá sau nổ có thể sử dụng ba phương pháp cơ bản như: phương pháp nguyên hình, phương pháp tương tự, phương pháp tương đương.

Ngoài ra, trong công tác nổ, khi nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình mạch điện gọi là phương pháp điện giải tích thủy động lực học hay cũng được gọi là phương pháp tương tự.

Phương pháp thực nghiệm nguyên hình sẽ cho kết quả sát thực nhất, tuy nhiên do chi phí thí nghiệm lớn nên không phù hợp với các nghiên cứu tìm quy luật do phải thí nghiệm với số lượng mẫu lớn. Phương pháp tương tự mặc dù độ sát thực không được như phương pháp nguyên hình, tuy nhiên nó rất thuận lợi trong công tác nghiên cứu, đặc biệt cho phép khảo sát trong một phạm vi rộng và thay đổi quy mô vụ nổ với chi phí thấp, vì vậy nó được áp dụng khá phổ biến trong nghiên cứu nổ. Phương pháp này khắc phục được một phần hạn chế của phương pháp nguyên hình, tuy nhiên việc phải chế tạo các lượng nổ rất

nhỏ có độ chính xác cao nên đòi hỏi phải có các đơn vị có chuyên môn, kỹ thuật cao gia công, chế tạo. Phương pháp tương đương ngoài ưu điểm cơ bản giống như phương pháp tương tự, phương pháp này có chi phí thấp nhất và đặc biệt có thể thực hiện được thí nghiệm ở trong phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, năng lượng nổ điện cũng chỉ tương đương với năng lượng nổ của lượng nổ thực trong những điều kiện nhất định chứ không hoàn toàn thay thế được lượng nổ thực, đặc biệt là khi xét đến ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ thì nổ điện rất khó tạo được hình dạng lượng nổ như lượng nổ thực. Chính vì những lý do trên, phương pháp mô hình tương tự với lượng nổ thu nhỏ được lựa chọn trong nghiên cứu thực nghiệm về quy luật phân bố cỡ hạt và quy luật thay đổi cỡ hạt khi nổ mìn trong đất đá.

4.1.2. Mô tả mẫu thí nghiệm và vật tư, trang thiết bị thí nghiệm chung

a) Mẫu thí nghiệm

- Trên cơ sở tham khảo nguyên tắc lựa chọn vật liệu, mẫu thí nghiệm phục vụ nghiên cứu nổ phá đất đá của các nghiên cứu trước đây, chọn mẫu thí nghiệm sử dụng vữa xi măng cát mịn. Kích thước của mẫu: 200x200x200 mm. Quá trình chế tạo mẫu đúc sẵn các lỗ để liên kết lượng nổ trong mẫu, xem hình 4.1. Việc lấy mẫu và thí nghiệm tuân thủ theo tiêu chuẩn TCVN 3105-1993 về lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử.



Hình 4.1. Mẫu thí nghiệm tại hiện trường

- Đặc tính, quy cách của mẫu thí nghiệm và các thông số vật tư, trang thiết

bị thí nghiệm mô tả trong bảng PL. 4, bảng PL. 5, bảng PL. 6, bảng PL. 7.

b) Vật tư, trang thiết bị phục vụ thí nghiệm

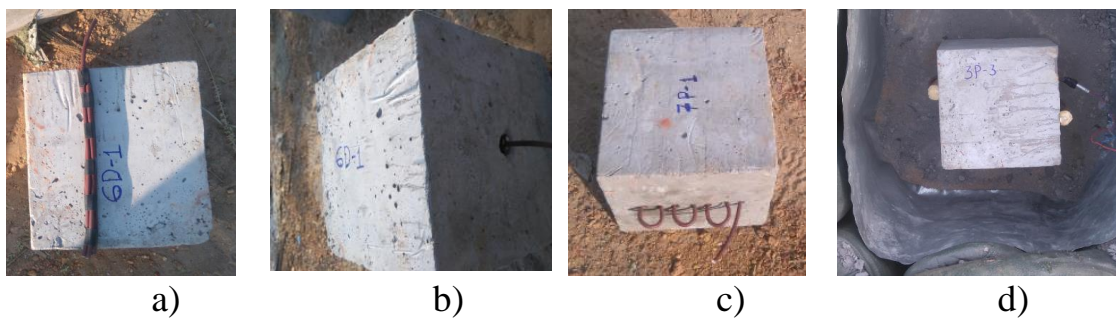
- Thuốc nổ: Các lượng nổ trong bài thí nghiệm sử dụng thuốc nổ Pentrit (TEN). Mẫu nổ lượng nổ tập trung sử dụng loại thuốc nổ chế thức sẵn theo khối lượng yêu cầu của bài thí nghiệm được nhà máy Z121/BQP chế tạo phục vụ cho việc thí nghiệm. Mẫu nổ lượng nổ dài thì ghép các dây nổ lại (loại 12 g/m), đặt vào trục của mẫu gây nổ bằng kíp số 8. Mẫu nổ lượng nổ dạng phẳng sử dụng dây nổ bố trí trong các lỗ $\Phi 6$, khoảng cách giữa các dây là 2 cm, đảm bảo khi nổ sẽ tạo ra sóng nổ phẳng, gây nổ bằng kíp số 8, xem hình 4.3, hình 4.4.



Hình 4.2. Thuốc nổ và dây nổ dùng trong thí nghiệm



Hình 4.3. Bố trí lượng nổ và kíp nổ với mẫu sử dụng lượng nổ tập trung



Hình 4.4. Bố trí lượng nổ với mẫu sử dụng lượng nổ dài và dạng phẳng

- Thiết bị gây nổ gồm có máy điểm hỏa, máy đo điện trở kíp và kiểm tra thông mạch, gây nổ bằng kíp điện nổ tức thời (kíp số 8). Quá trình gây nổ tuân thủ đúng các quy định về an toàn của công tác nổ (QCVN 02:2008/BCT).

- Các mẫu trước khi thí nghiệm đều được cân khối lượng để phân tích số liệu sau này và đo vận tốc sóng âm bằng máy siêu âm V-Meter MK IV.



a) b) c)

Hình 4.5. Đo thông số mẫu tại hiện trường

a – Cân khối lượng mẫu trước khi nổ; b, c – Đo vận tốc sóng âm



a) b) c) d)

Hình 4.6. Dụng cụ xác định khối lượng nhóm cục đá sau nổ
a – Bộ sàng tiêu chuẩn; b, c, d – Cân khối lượng cỡ hạt đá sau khi nổ

- Công cụ phục vụ lấy số liệu thí nghiệm gồm: các loại cân để đo khối lượng nhóm cục đá sau nổ có cùng nhóm kích cỡ, bộ sàng tiêu chuẩn để phân loại nhóm kích cỡ cục đá sau nổ.

4.1.3. Quy trình thí nghiệm

- Chuẩn bị mô hình:

+ Chuẩn bị mặt bằng, lắp đặt các biển báo, căng dây cảnh giới.

+ Tập kết các mẫu thí nghiệm vào vị trí.

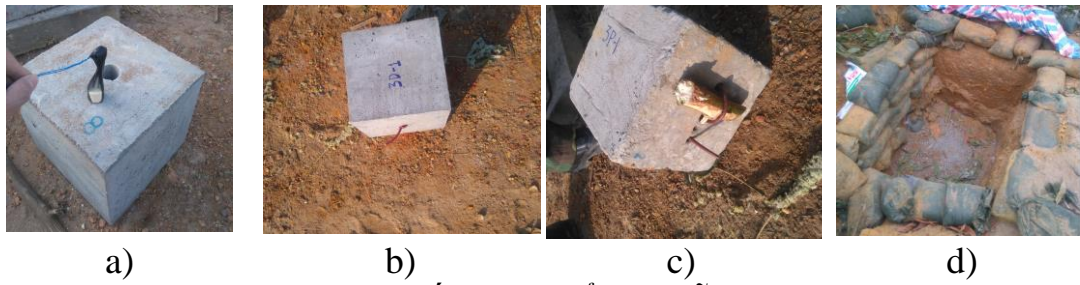
- + Bố trí khu vực riêng chứa thuốc nổ, kíp nổ.
- + Bố trí khu vực ẩn nấp (sử dụng công sự dã chiến hoặc hầm ẩn nấp).
- Chuẩn bị thí nghiệm:
 - + Các bộ phận cảnh giới vào vị trí, trong quá trình thí nghiệm luôn có lực lượng canh gác, cảnh giới đảm bảo những người không có nhiệm vụ không tiến vào khu vực thí nghiệm.
 - + Chuẩn bị lượng nổ theo yêu cầu của bài thí nghiệm, kiểm tra các kíp nổ rồi tiến hành liên kết kíp nổ, lượng nổ vào mẫu thí nghiệm.
 - + Đưa các mẫu thí nghiệm vào vị trí.
 - Tiến hành thí nghiệm.
 - + Kiểm tra thông mạch.
 - + Các bộ phận vào vị trí ẩn nấp và tiến hành nổ.
 - + Thu thập kết quả thí nghiệm của mẫu rồi tiếp tục đưa mẫu khác vào.
 - Kết thúc thí nghiệm:
 - + Thu dọn, vệ sinh công trường.
 - + Các mẫu thí nghiệm được bảo quản để xử lý số liệu sau này.

4.2. Nội dung và kết quả nghiên cứu thực nghiệm

4.2.1. Thí nghiệm nổ trên mô hình trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng)

4.2.1.1. Mô tả mô hình thí nghiệm

Sử dụng các mẫu vữa xi măng – cát có thông số vật liệu và quy cách mẫu như bảng PL. 4, bảng PL. 5. Các mẫu lượng nổ tập trung sử dụng lượng nổ chế thức sẵn, lượng nổ dài ghép các dây nổ lại (loại 12 g/m), với lượng nổ dạng phẳng sử dụng dây nổ bố trí trong các lỗ $\Phi 6$, khoảng cách giữa các dây là 2 cm, đảm bảo khi nổ sẽ tạo ra sóng nổ phẳng. Bố trí các dạng lượng nổ như trong bảng PL. 8 phần Phụ lục. Hình ảnh thí nghiệm và lấy số liệu như hình 4.7, hình 4.8, hình 4.9.



a) b) c) d)

Hình 4.7. Liên kết lượng nổ với mẫu thí nghiệm.

*a – Lượng nổ tập trung; b – Lượng nổ dài; c – Lượng nổ dạng phẳng;
d – Hố đào để nổ mẫu thí nghiệm.*



Hình 4.8. Sàng và cân khối lượng các thành phần hạt



Hình 4.9. Phân loại thành phần hạt của các mẫu thí nghiệm

Các mẫu thí nghiệm được bố trí trong hố đào, có chèn bao cát xung quanh để hạn chế quá trình đập vỡ thứ cấp, phía trên chắn bằng tấm lưới thép để ngăn

đất đá văng ra ngoài. Mẫu thí nghiệm được đặt trên bề mặt của một tấm bê tông đúc sẵn ở dưới đáy của hố đào, như vậy khi nổ các mẫu thí nghiệm sẽ tương ứng với trường hợp có 5 mặt thoáng. Các mẫu thí nghiệm loại này được gọi là *mẫu loại C*.

Công cụ phục vụ lấy số liệu thí nghiệm gồm: cân đồng hồ loại 5 kg, cân tiểu ly để cân khối lượng nhóm cục đá sau nổ có cùng nhóm kích cỡ, bộ sàng tiêu chuẩn để phân loại nhóm kích cỡ cục đá sau nổ.

Phương pháp xác định kích thước trung bình của cục mẫu sau nổ sẽ dựa theo số liệu sàng mẫu và trọng lượng tương ứng với từng mắt sàng, được tính theo công thức sau:

$$d_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i d_i}{100}, m \quad (4.1)$$

trong đó: d_i - kích thước trung bình của cấp cỡ hạt thứ i , m; α_i - tỉ lệ cấp cỡ hạt thứ i trong đồng, % ($\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n = 100$); n - số cấp cỡ hạt phân chia, $n = 10$.

4.2.1.2. Quy trình thí nghiệm

- Tiến hành nổ các mẫu thí nghiệm với khối lượng thuốc nổ tăng dần từ thấp đến cao theo Bảng PL. 8. Trong thí nghiệm này mỗi dạng lượng nổ tiến hành nổ với 6 khối lượng thuốc nổ khác nhau (tương ứng với 6 chỉ tiêu thuốc nổ), mỗi loại mẫu thí nghiệm ứng với một dạng lượng nổ được tiến hành nổ 3 lần để lấy kết quả trung bình.

- Phân loại kích thước hạt sau khi nổ bằng bộ sàng tiêu chuẩn.

- Xác định khối lượng từng loại cỡ hạt bằng cân tiểu ly với độ chính xác 1 g.

- Xác định tỉ lệ phần trăm từng cỡ hạt, xác định kích thước hạt trung bình.

4.2.1.3. Kết quả thí nghiệm

Kết quả đo được sau nổ là tỉ lệ phần trăm các loại cỡ hạt thu được khi nổ mô hình thí nghiệm ở trên. Trong thí nghiệm này, phân chia làm 10 cỡ hạt theo

cỡ sàng gồm: <2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-70; >70 (mm) được thể hiện trong bảng PL. 9, bảng PL. 10, bảng PL. 11 phần Phụ lục.

Sau khi có được tỉ lệ % cỡ hạt với từng mẫu thí nghiệm, tính được kích thước trung bình cỡ hạt sau nỏ của từng mẫu theo công thức (4.1) và lập bảng d_{tb} tương ứng với các dạng lượng nỏ khác nhau khi cùng sử dụng một khối lượng thuốc nỏ (hay cùng một chỉ tiêu thuốc nỏ).

Bảng 4.1. Kích thước trung bình cỡ hạt khi nỏ các lượng nỏ khác nhau (m)

d_{tb} tương ứng với dạng lượng nỏ (m)	Chỉ tiêu thuốc nỏ (kg/m^3)					
	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
Lượng nỏ tập trung	0,0542	0,0424	0,0392	0,0273	0,0243	0,0195
Lượng nỏ dài	0,0477	0,0322	0,0283	0,0225	0,0211	0,0203
Lượng nỏ dạng phẳng	0,0315	0,0275	0,0254	0,0241	0,0231	0,0220

Sau khi có được tỉ lệ phần trăm của từng cỡ hạt trong mẫu, lập bảng $P_{(x)}$ của từng mẫu tương ứng với các khối lượng thuốc nỏ khác nhau.

Bảng 4.2. $P_{(x)}$ khi nỏ các mẫu C, lượng nỏ tập trung (ĐVT: %)

Kích thước cỡ hạt x (mm)	<2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Cỡ hạt trung bình (mm)	1,25	3,75	7,50	15	25	35	45	55	65	80	
Kích thước cỡ hạt tương đối, x/x_{max}	0,016	0,047	0,094	0,188	0,313	0,438	0,563	0,688	0,813	1	
Khối lượng thuốc nỏ	4,8 g	2,85	5,70	9,70	13,85	19,85	26,90	39,50	49,20	65,65	100
	7,2 g	4,30	8,05	13,90	24,95	34,30	43,60	56,55	73,00	86,40	100
	9,6 g	10,75	13,94	19,07	27,41	39,81	50,99	61,61	74,16	87,99	100
	12,0 g	13,60	23,05	34,46	45,26	54,56	64,16	74,66	82,26	90,86	100
	14,4 g	15,10	28,30	40,80	53,00	62,25	77,45	83,75	89,35	97,55	100
	16,8 g	16,60	32,40	43,78	60,58	77,08	85,88	91,18	94,68	97,88	100

Bảng 4.3. $P_{(x)}$ khi nổ các mẫu C, lượng nổ dài (ĐVT: %)

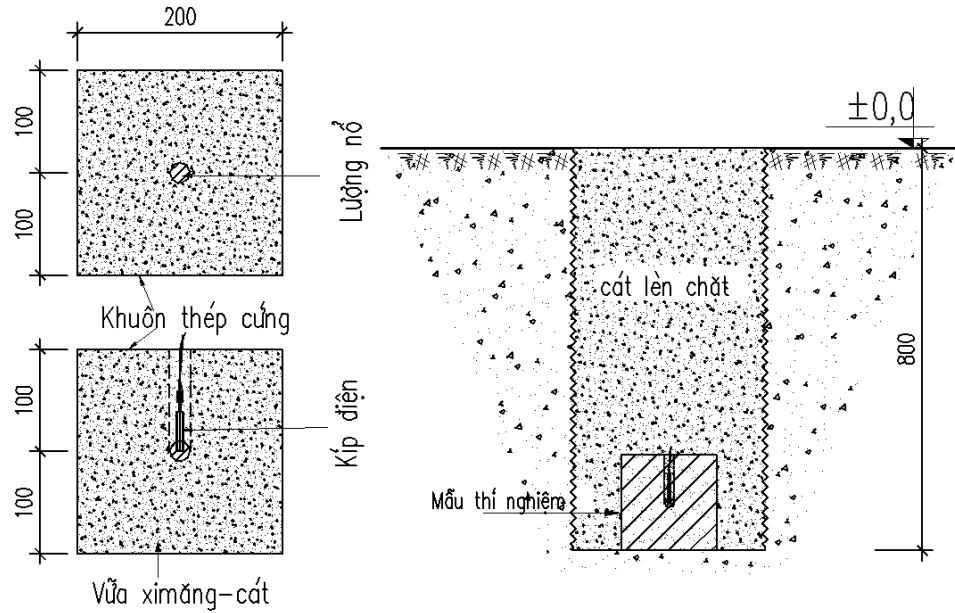
Kích thước cỡ hạt x (mm)	<2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Cỡ hạt trung bình (mm)	1,25	3,75	7,50	15	25	35	45	55	65	80	
Kích thước cỡ hạt tương đối, x/x_{max}	0,016	0,047	0,094	0,188	0,313	0,438	0,563	0,688	0,813	1	
Khối lượng thuốc nổ	4,8 g	3,04	6,05	11,56	16,56	27,27	36,89	54,33	62,84	75,73	100
	7,2 g	9,34	13,78	21,08	33,40	47,92	56,13	74,05	93,67	99,40	100
	9,6 g	15,28	21,45	30,84	41,08	54,62	66,87	84,31	90,20	96,94	100
	12,0 g	15,95	27,25	41,05	54,35	64,95	77,45	86,65	93,45	95,97	100
	14,4 g	18,93	27,15	38,22	54,72	69,76	83,97	89,06	97,31	100	100
	16,8 g	16,20	32,40	43,00	59,20	75,10	84,30	90,60	93,80	96,90	100

Bảng 4.4. $P_{(x)}$ khi nổ các mẫu C, lượng nổ dạng phẳng (ĐVT: %)

Kích thước cỡ hạt x (mm)	<2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Cỡ hạt trung bình (mm)	1,25	3,75	7,50	15	25	35	45	55	65	80	
Kích thước cỡ hạt tương đối, x/x_{max}	0,016	0,047	0,094	0,188	0,313	0,438	0,563	0,688	0,813	1	
Khối lượng thuốc nổ	4,8 g	9,07	19,63	29,77	42,03	55,03	65,10	73,20	82,70	90,30	100
	7,2 g	15,15	22,94	32,96	47,51	61,79	71,23	81,61	87,25	92,45	100
	9,6 g	19,40	28,93	39,63	50,18	60,48	73,68	83,83	89,73	94,78	100
	12,0 g	13,40	26,40	39,64	52,99	63,59	77,24	85,44	91,49	96,79	100
	14,4 g	21,30	29,19	41,82	56,43	69,39	77,88	86,35	90,90	93,43	100
	16,8 g	22,83	31,19	40,29	58,58	69,67	80,36	88,24	91,92	95,87	100

4.2.2. Thí nghiệm nổ trên mô hình trong môi trường vô hạn

4.2.2.1. Mô tả mô hình thí nghiệm



Hình 4.10. Mô hình thí nghiệm mẫu loại A



Hình 4.11. Hình ảnh mẫu thí nghiệm loại A tại hiện trường



Hình 4.12. Bố trí mẫu thí nghiệm và kết quả thí nghiệm

Sử dụng các mẫu vữa xi măng – cát có thông số vật liệu và quy cách mẫu như bảng PL. 4, bảng PL. 5. Quy cách bố trí các dạng lượng nổ tương tự như bài thí nghiệm nổ trong môi trường có 5 mặt thoáng. Các mẫu được đặt vừa khít trong khuôn thép cứng, có chèn vữa xi măng – cát để mẫu liên kết chặt với khuôn thép và có thể coi là mẫu nổ trong MTVH, không có mặt thoáng. Khi nổ thí nghiệm dạng mẫu này được chôn dưới hố cát ở độ sâu 80 cm, đầm chặt để đảm bảo hiệu ứng nổ ngầm. Các mẫu thí nghiệm loại này được gọi là *mẫu loại A*. Bố trí các dạng lượng nổ như trong bảng PL. 12 phần Phụ lục.

4.2.2.2. Quy trình thí nghiệm.

Tiến hành nổ các mẫu thí nghiệm với khối lượng thuốc nổ tăng dần từ thấp đến cao theo Bảng PL. 12. Mỗi loại mẫu ứng với một khối lượng thuốc nổ được tiến hành nổ 3 lần, lấy kết quả trung bình để đánh giá.



Hình 4.13. Cưa các mẫu thí nghiệm sau nổ



a)

b)

c)

Hình 4.14. Xác định khoảng cách giữa các vết nứt với các mẫu loại A
 a, b – Mẫu sử dụng lượng nổ tập trung và lượng nổ dài;
 c – Mẫu sử dụng lượng nổ dạng phẳng

Sau khi nổ, tiến hành cưa khuôn thép và mẫu bê tông qua tâm của mẫu, để nghiên cứu các vết nứt. Phương pháp xác định kích thước trung bình của cục đá sau nổ ở vị trí r so với tâm nổ sẽ dựa theo khoảng cách trung bình giữa các vết nứt ở cùng khoảng cách r đó.

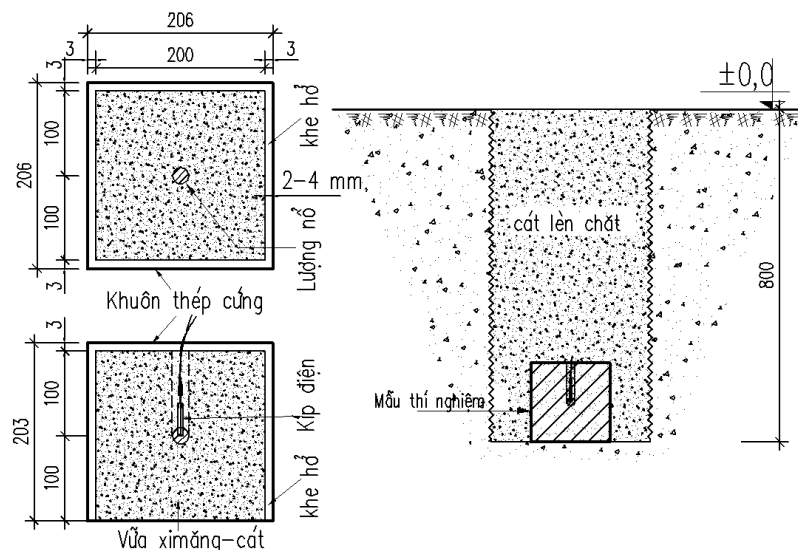
Với các mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ tập trung và lượng nổ dài sau khi cưa mẫu, vạch các đường tròn đồng tâm trên mặt cắt mẫu và xác định khoảng cách giữa các vết nứt cắt qua đường tròn đồng tâm đó. Với các mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dạng phẳng, sau khi cưa mẫu, vạch các đường thẳng song song với mặt phẳng đi qua tâm các lượng nổ dài trên mặt cắt mẫu và xác định khoảng cách giữa các vết nứt cắt qua các đường thẳng đó. Quá trình cưa mẫu và cách xác định khoảng cách giữa các vết nứt được thể hiện trên hình 4.13 và hình 4.14.

4.2.2.3. Kết quả thí nghiệm

Kết quả đo kích thước trung bình cỡ hạt đá (d_{tb}) theo khoảng cách từ tâm nổ (r) với các mẫu thí nghiệm mô hình loại A sử dụng các dạng lượng nổ khác nhau được mô tả ở bảng PL. 13, bảng PL. 14, bảng PL. 15 trong phần Phụ lục.

4.2.3. Thí nghiệm nổ trên mô hình trong môi trường có mặt thoáng phụ

4.2.3.1. Mô tả thí nghiệm



Hình 4.15. Mô hình thí nghiệm mẫu loại B



Hình 4.16. Hình ảnh mẫu thí nghiệm loại B tại hiện trường

Sử dụng các mẫu vữa xi măng – cát có thông số vật liệu và quy cách mẫu như bảng PL. 4, bảng PL. 5. Quy cách bố trí các dạng lượng nổ tương tự như bài thí nghiệm nổ trong môi trường có 5 mặt thoáng. Các mẫu thí nghiệm trong bài này được đặt trong khuôn thép cứng như trong bài thí nghiệm nổ trong môi trường vô hạn nhưng có khe hở giữa mẫu và khuôn thép ở 5 bề mặt của mẫu là $\delta = 2\div 4$ mm, như vậy có thể coi là mẫu được nổ trong điều kiện có 05 mặt thoáng phụ. Các mẫu thí nghiệm loại này được gọi là *mẫu loại B*. Dạng mẫu này được chôn dưới hố đào ở độ sâu 80 cm, lấp cát lên và đầm chặt để đảm bảo hiệu ứng nổ ngầm.

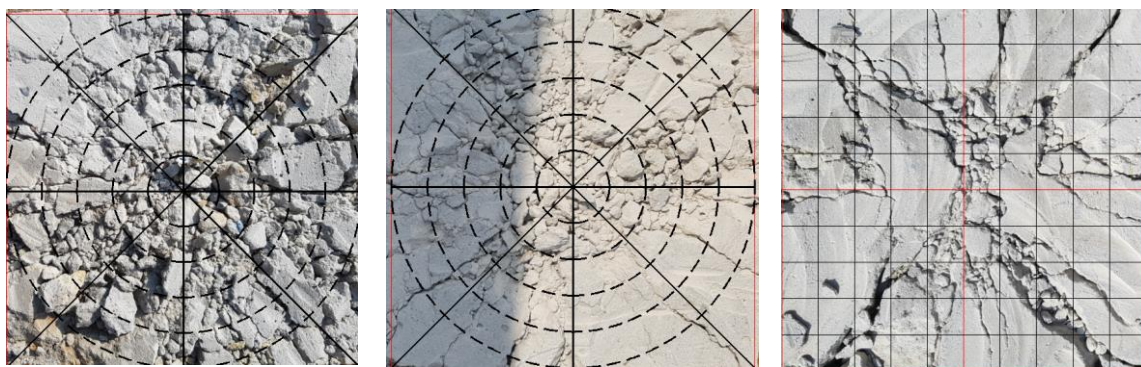
4.2.3.2. Quy trình thí nghiệm

Tiến hành nổ các mẫu thí nghiệm với khối lượng thuốc nổ tăng dần từ thấp đến cao như trong bảng PL. 16 phần Phụ lục. Mỗi loại mẫu ứng với một khối lượng thuốc nổ được tiến hành nổ 3 lần, lấy kết quả trung bình để đánh giá.

Sau khi nổ, tiến hành cưa khuôn thép và mẫu bê tông qua tâm của mẫu, để nghiên cứu các vết nứt và các cỡ hạt. Phương pháp xác định kích thước trung bình của cục đá sau nổ ở vị trí r so với tâm nổ bằng cách chọn trước giá trị r và lân cận của nó, sau đó lấy kích thước trung bình của tất cả các cục đá nằm ở vị trí cách tâm nổ một khoảng cách thỏa mãn điều kiện trên.

Với các mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ tập trung và lượng nổ dài sau khi cưa mẫu, kẻ các đường thẳng qua tâm mẫu thí nghiệm như hình 4.17 (a, b), xác định kích thước các hạt đá nằm trên các đường kẻ đó và khoảng cách từ các

hạt đó đến tâm của mẫu.



a) Mẫu sử dụng lượng nổ tập trung

b) Mẫu sử dụng lượng nổ dài

c) Mẫu sử dụng lượng nổ dạng phẳng

Hình 4.17. Xác định khoảng cách giữa các vết nứt với các mẫu loại B

Như vậy trên một mẫu thí nghiệm có 8 vạch chia qua tâm mẫu. Với các mẫu sử dụng lượng nổ dạng phẳng, sau khi cưa mẫu, vạch các đường thẳng song song với mặt phẳng đi qua tâm các lượng nổ dài trên mặt cắt mẫu và xác định kích thước các hạt đá nằm trên các đường thẳng đó như hình 4.17 c. Kích thước cỡ hạt có thể là kích thước của hạt đó nằm trên đường thẳng hoặc khoảng cách giữa 2 vết nứt gần nhau cắt qua đường thẳng đó.

4.2.3.3. Kết quả thí nghiệm

Kết quả đo kích thước trung bình cỡ hạt đá (d_{tb}) theo khoảng cách từ tâm nổ (r) với các mẫu loại B sử dụng các dạng lượng nổ khác nhau được thể hiện trong các bảng PL. 17, bảng PL. 18, bảng PL. 19 phần Phụ lục.

4.3. Thiết lập các quy luật thực nghiệm

4.3.1. Quy luật về sự phụ thuộc kích thước trung bình của cỡ hạt đá sau nổ vào chỉ tiêu thuốc nổ

Từ số liệu ở bảng 4.1 xây dựng được đồ thị về mối quan hệ giữa kích thước cục đá trung bình sau nổ vào chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng với ba dạng lượng nổ khác nhau là lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng, xem hình 4.18. Xử lý số liệu theo phương pháp bình phương tối thiểu, cho phép rút ra qui luật về sự phụ thuộc xấp xỉ kích thước trung bình của cục đá mẫu sau

nổ vào chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng với các dạng lượng nổ khác nhau.

Đối với các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ tập trung:

$$d_{tb} = 0,0386.q^{-0,807}; R^2 = 0,9473 \quad (4.2)$$

Đối với các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ dài:

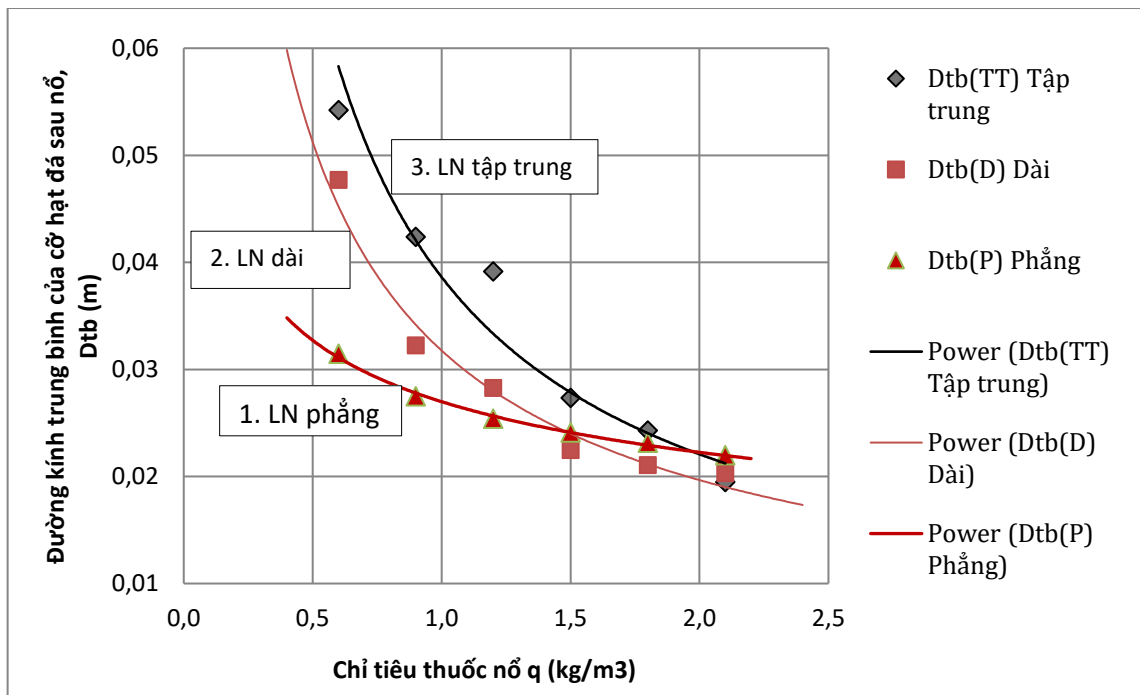
$$d_{tb} = 0,0318.q^{-0,691}; R^2 = 0,9719 \quad (4.3)$$

Đối với các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ dạng phẳng:

$$d_{tb} = 0,027.q^{-0,278}; R^2 = 0,9947 \quad (4.4)$$

trong đó: d_{tb} – kích thước trung bình của cục đá mẫu sau nổ, m;

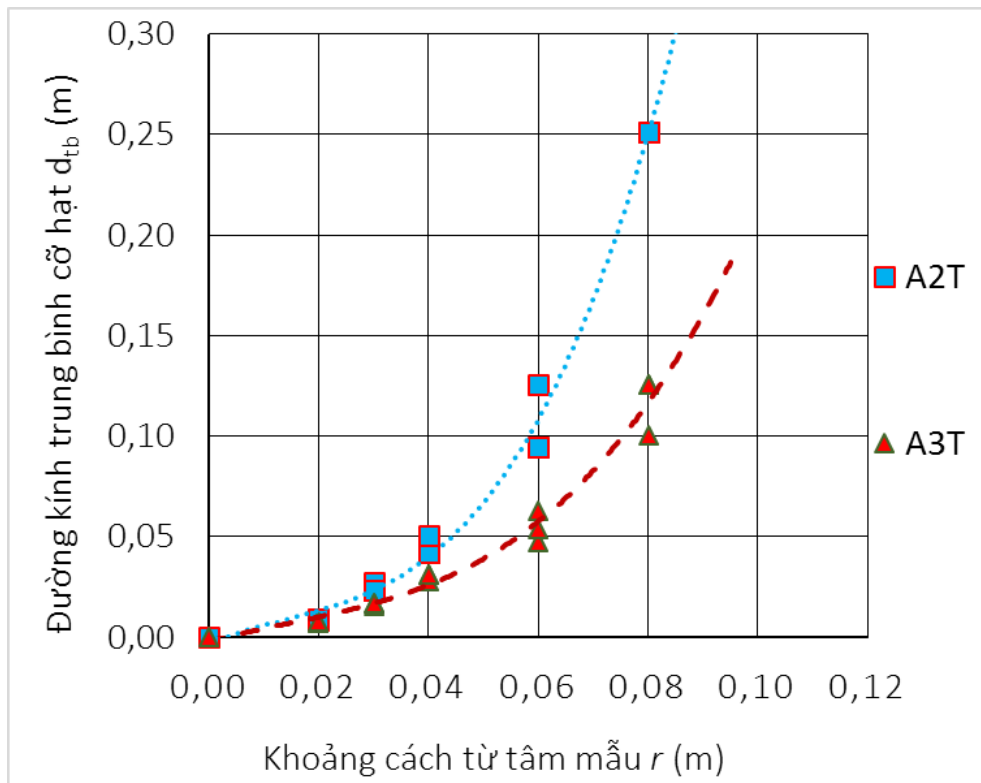
q – chỉ tiêu thuốc nổ đơn vị, kg/m^3 .



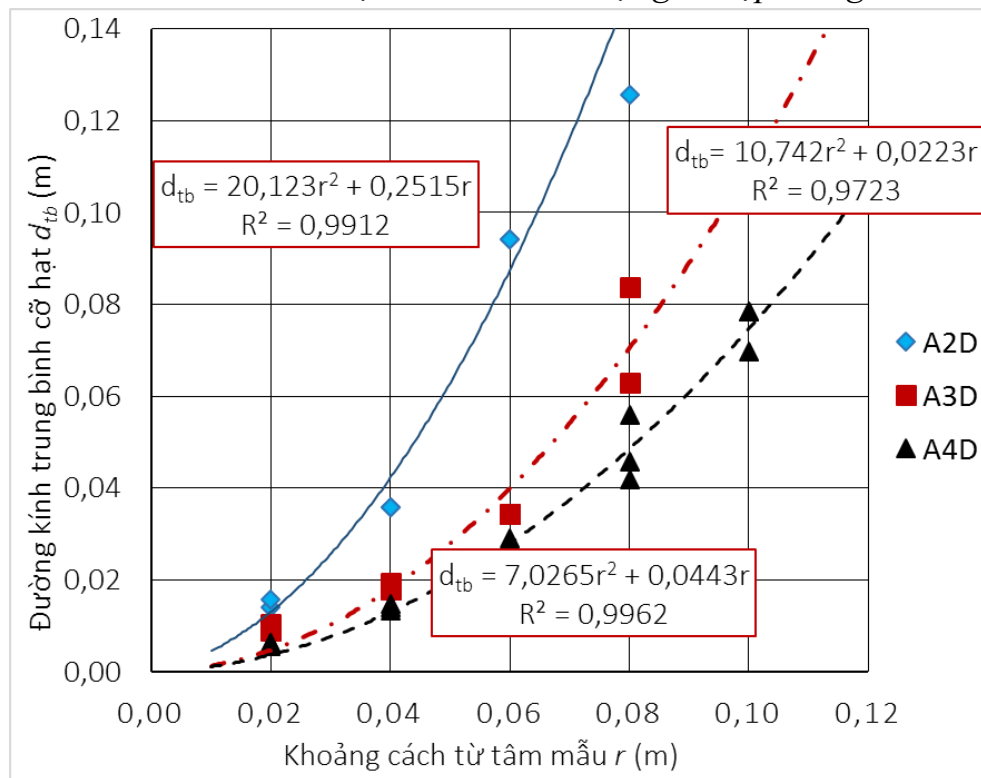
Hình 4.18. Sự phụ thuộc d_{tb} của cỡ hạt đá sau nổ vào chỉ tiêu thuốc nổ với 3 dạng lượng nổ tập trung, dài và dạng phẳng.

4.3.2. Thiết lập quy luật thực nghiệm về phân bố kích thước cục đá phá ra theo khoảng cách tính từ tâm nổ

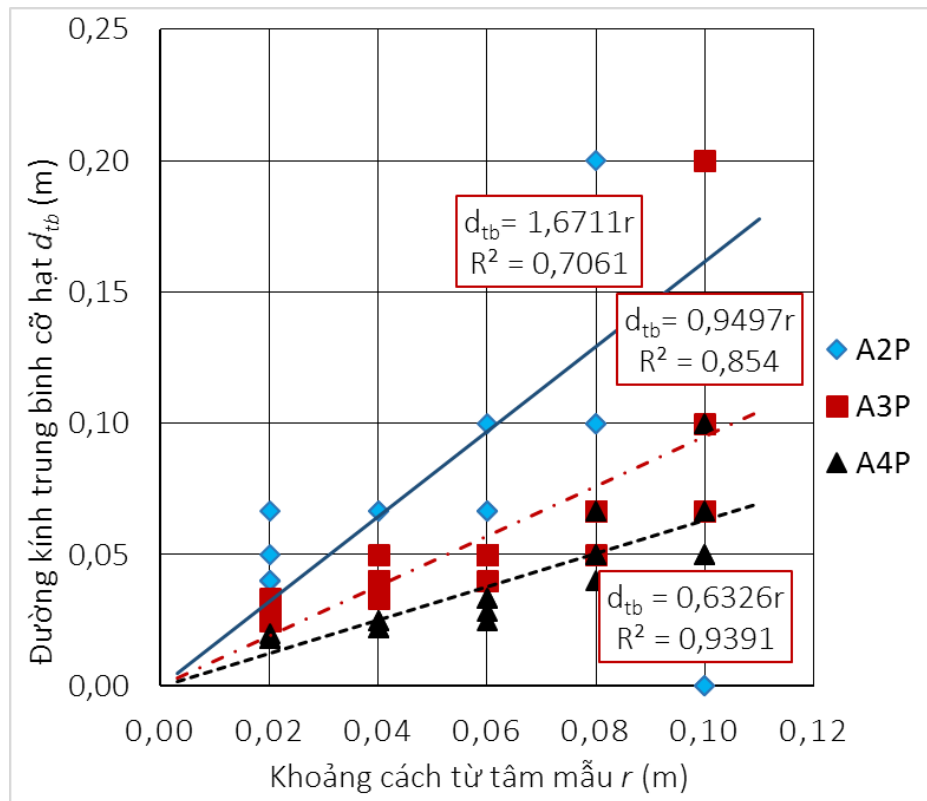
Từ số liệu ở Bảng PL. 13, Bảng PL. 14, Bảng PL. 15, xây dựng được đồ thị về mối quan hệ giữa d_{tb} và r như ở hình 4.19, hình 4.20, hình 4.21.



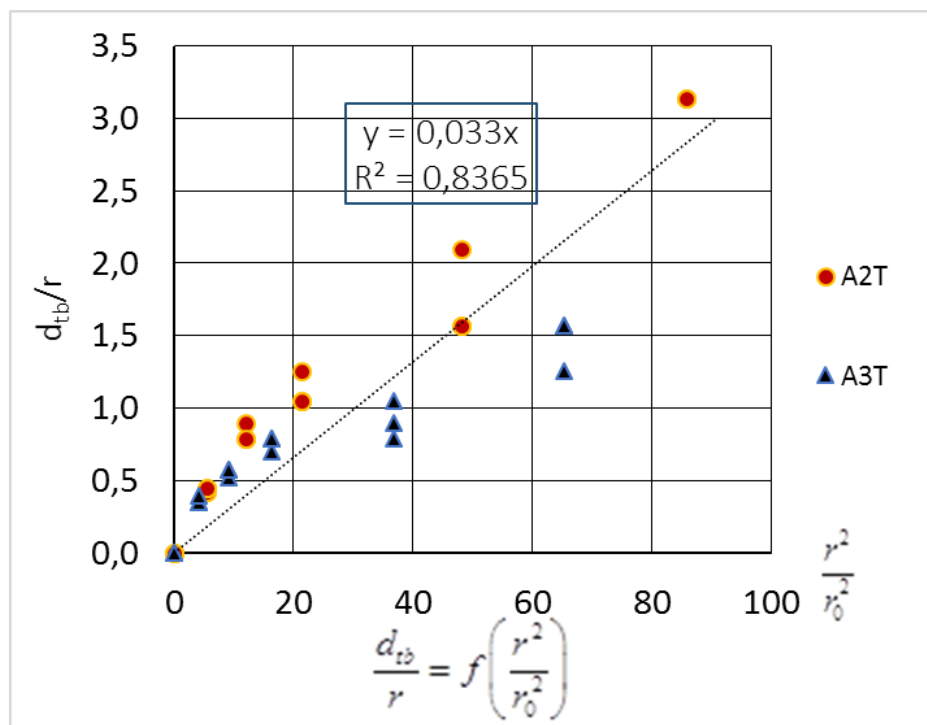
Hình 4.19. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nỏ của các mẫu loại A khi nỏ với lượng nỏ tập trung



Hình 4.20. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nỏ của các mẫu loại A khi nỏ với lượng nỏ dài



Hình 4.21. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ của các mẫu loại A khi nổ với lượng nổ dạng phẳng



Hình 4.22. Sự phụ thuộc của kích thước cục đá tương đối d_{tb}/r vào khoảng cách tương đối của các mẫu loại A sử dụng lượng nổ tập trung

Từ đồ thị hình 4.19 và phân tích các số liệu thu được nhận thấy kết quả thí nghiệm thu được phù hợp với trường hợp nổ trong môi trường vô hạn. Vì vậy sử dụng lý thuyết thủy động lực học nổ của O.E. Vlasov cho phép biểu diễn công thức (2.52) về dạng không thứ nguyên và biểu diễn mối quan hệ này trên đồ thị hình 4.22:

$$\frac{d_{tb}}{r} = k_m \cdot k_{dd} \cdot \frac{r^2}{r_0^2} \quad (4.5)$$

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu cho phép thiết lập sự phụ thuộc của kích thước cục đá phá ra theo khoảng cách chung cho cả hai trường hợp với lượng nổ 4,8 g (mẫu A2T) và 7,2 g (mẫu A3T), từ công thức (4.5) thiết lập được quy luật trên hình 4.19 có dạng:

$$\frac{d_{tb}}{r} = 0,033 \cdot \frac{r^2}{r_0^2}, R^2 = 0,8365 \quad (4.6)$$

Từ công thức (4.5) và (4.6), suy ra:

$$k_m \cdot k_{dd} = 0,033$$

Thay lại vào công thức (4.5) thu được:

$$+ \text{Mẫu A2T:} \quad d_{tb} = 442 \cdot r^3 \quad (4.7)$$

$$+ \text{Mẫu A3T:} \quad d_{tb} = 337 \cdot r^3 \quad (4.8)$$

Các mẫu loại A sử dụng lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng thu được kết quả về sự phụ thuộc kích thước trung bình cỡ hạt vào khoảng cách tính từ tâm nổ như trên đồ thị hình 4.20, hình 4.21. Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu thu được các công thức thực nghiệm như sau:

- Các mẫu loại A sử dụng lượng nổ dài:

$$+ \text{Mẫu A2D:} \quad d_{tb} = 20,123r^2 + 0,2515r; R^2 = 0,9912 \quad (4.9)$$

$$+ \text{Mẫu A3D:} \quad d_{tb} = 10,742r^2 + 0,0223r; R^2 = 0,9723 \quad (4.10)$$

+ Mẫu A4D: $d_{tb} = 7,0265r^2 + 0,0443r ; R^2 = 0,9962$ (4.11)

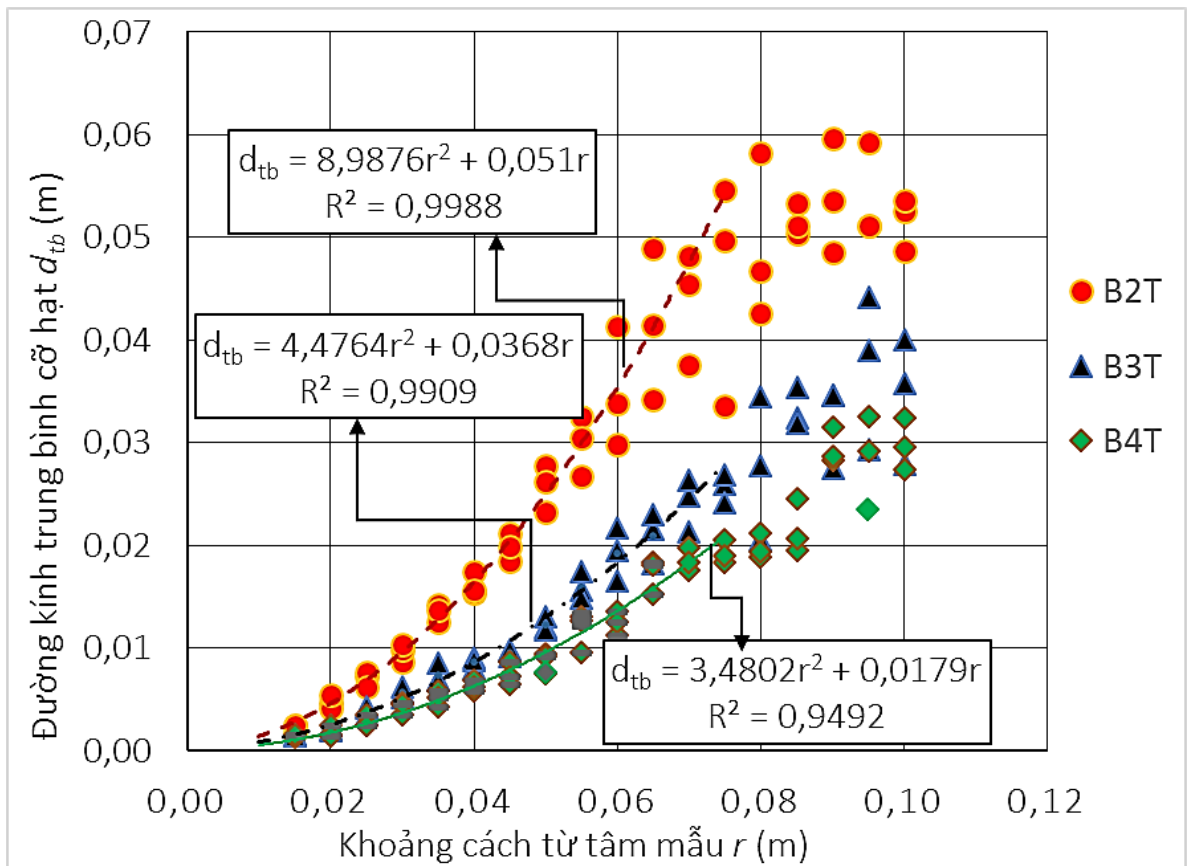
- Các mẫu loại A sử dụng lượng nổ dạng phẳng:

+ Mẫu A2P: $d_{tb} = 1,6711r ; R^2 = 0,7061$ (4.12)

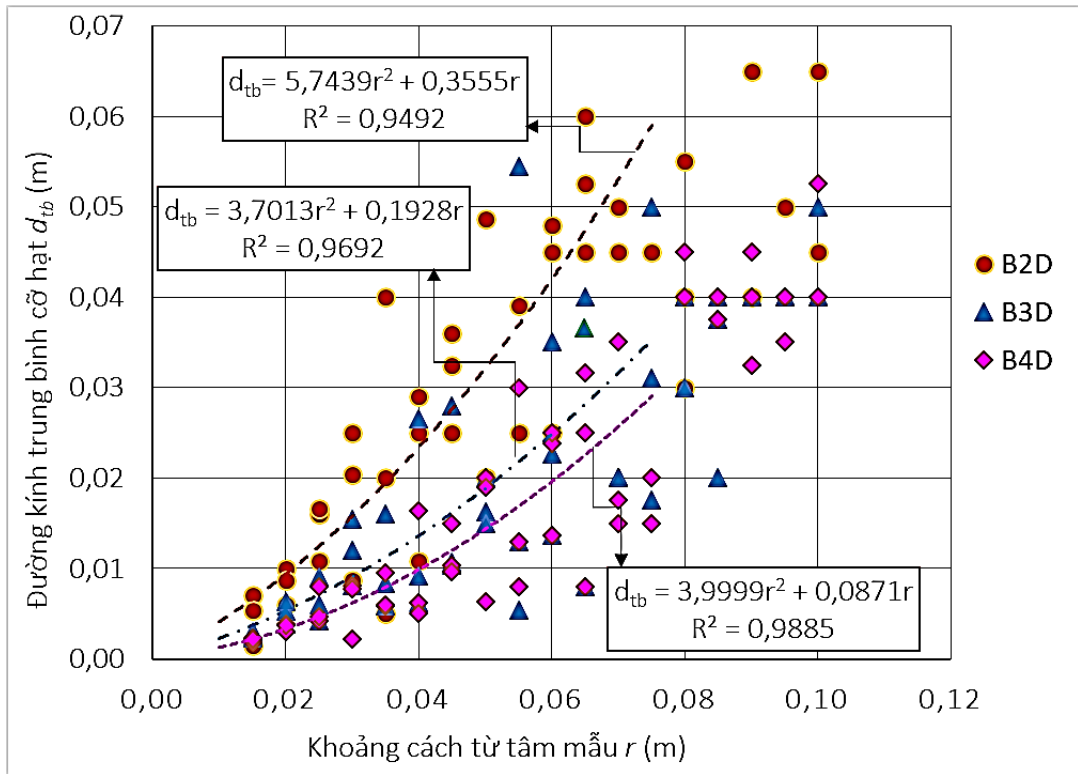
+ Mẫu A3P: $d_{tb} = 0,9497r ; R^2 = 0,854$ (4.13)

+ Mẫu A4P: $d_{tb} = 0,6326r ; R^2 = 0,9391$ (4.14)

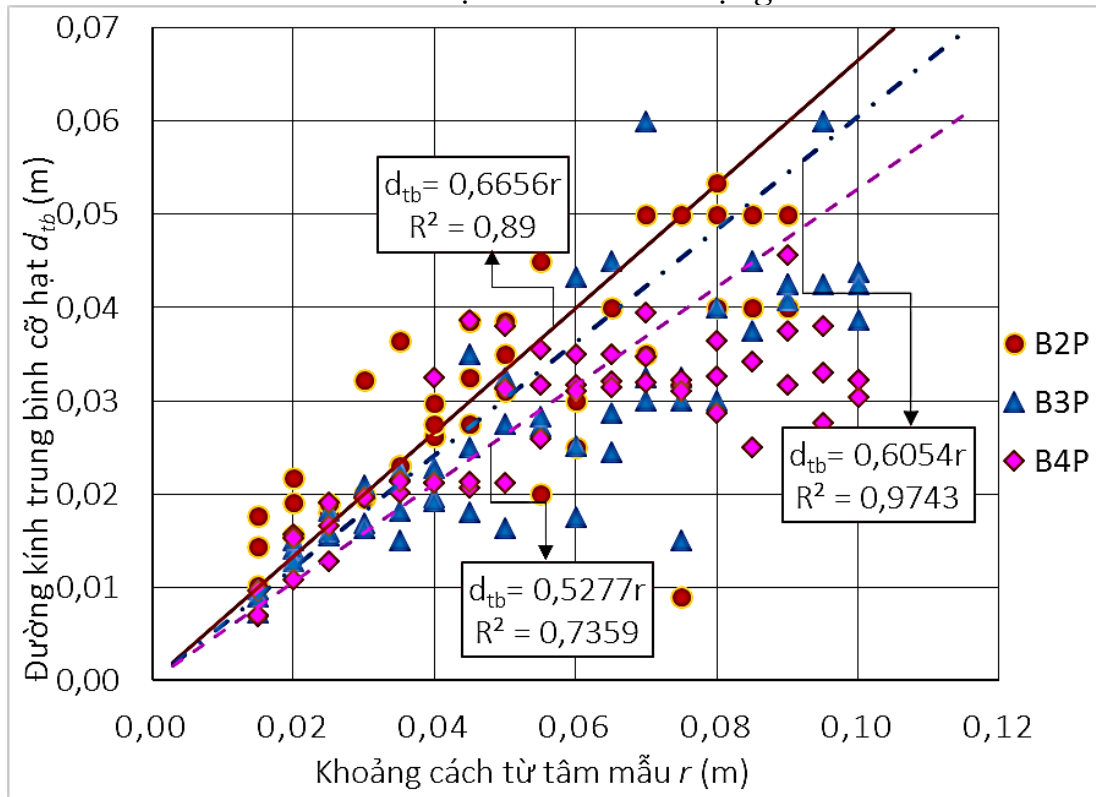
Các kết quả thí nghiệm đối với các mẫu loại B được thể hiện chi tiết trong bảng PL. 20, bảng PL. 21, bảng PL. 22 trong phần Phụ lục. Từ các số liệu này, xây dựng được đồ thị về mối quan hệ giữa kích thước trung bình cục đá d_{tb} vào khoảng cách r tính từ tâm nổ của các mẫu loại B như trên hình 4.23, hình 4.24, hình 4.25.



Hình 4.23. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ của các mẫu loại B khi nổ với lượng nổ tập trung



Hình 4.24. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ của các mẫu loại B khi nổ với lượng nổ dài



Hình 4.25. Sự phụ thuộc thực tế của d_{tb} vào khoảng cách từ tâm nổ của các mẫu loại B khi nổ với lượng nổ dạng phẳng

Từ các đồ thị ở trên nhận thấy ở khoảng cách từ tâm mẫu đến khoảng $2/3$ bán kính mẫu thì kích thước trung bình cỡ hạt phân bố theo quy luật tăng dần theo khoảng cách, tuy nhiên ở vị trí $2/3$ bán kính mẫu đến biên mẫu thì kích thước cục đá phá ra có sự xáo trộn mà không tăng theo quy luật. Do đó, trong phạm vi của bài thí nghiệm chỉ nghiên cứu kích thước cỡ hạt ở các vùng có quy luật ổn định, tức là các vùng có $0 \leq r \leq 0,065 \text{ m}$, sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu cho phép thiết lập qui luật phụ thuộc thực tế của kích thước trung bình cục đá theo khoảng cách từ tâm nỏ có dạng như sau:

- Các mẫu loại B sử dụng lượng nỏ tập trung:

$$+ \text{Mẫu B2T: } d_{tb} = 8,9876r^2 + 0,051r ; R^2 = 0,9988 \quad (4.15)$$

$$+ \text{Mẫu B3T: } d_{tb} = 4,4764r^2 + 0,0368r ; R^2 = 0,9909 \quad (4.16)$$

- Các mẫu loại B sử dụng lượng nỏ dài:

$$+ \text{Mẫu B2D: } d_{tb} = 5,7439r^2 + 0,3555r ; R^2 = 0,9492 \quad (4.17)$$

$$+ \text{Mẫu B3D: } d_{tb} = 3,7013r^2 + 0,1928r ; R^2 = 0,9692 \quad (4.18)$$

$$+ \text{Mẫu B4D: } d_{tb} = 3,9999r^2 + 0,0871r ; R^2 = 0,9885 \quad (4.19)$$

- Các mẫu loại B sử dụng lượng nỏ dạng phẳng:

$$+ \text{Mẫu B2P: } d_{tb} = 0,6656r ; R^2 = 0,89 \quad (4.20)$$

$$+ \text{Mẫu B3P: } d_{tb} = 0,6054r ; R^2 = 0,9743 \quad (4.21)$$

$$+ \text{Mẫu B4P: } d_{tb} = 0,5277r ; R^2 = 0,7359 \quad (4.22)$$

Từ các số liệu trong các bảng và đồ thị trên nhận thấy:

- Đối với các mẫu nỏ ngầm trong điều kiện có mặt thoáng phụ (mẫu loại B), do ảnh hưởng của mặt thoáng phụ đã làm cho kích thước cục đá phá ra nhỏ hơn mẫu loại A ở cùng một khoảng cách tính từ tâm nỏ. Ở khoảng cách từ tâm mẫu đến $2/3$ bán kính mẫu thì kích thước trung bình cỡ hạt phân bố theo quy luật tăng dần theo khoảng cách, tuy nhiên ở vị trí $2/3$ bán kính mẫu đến biên

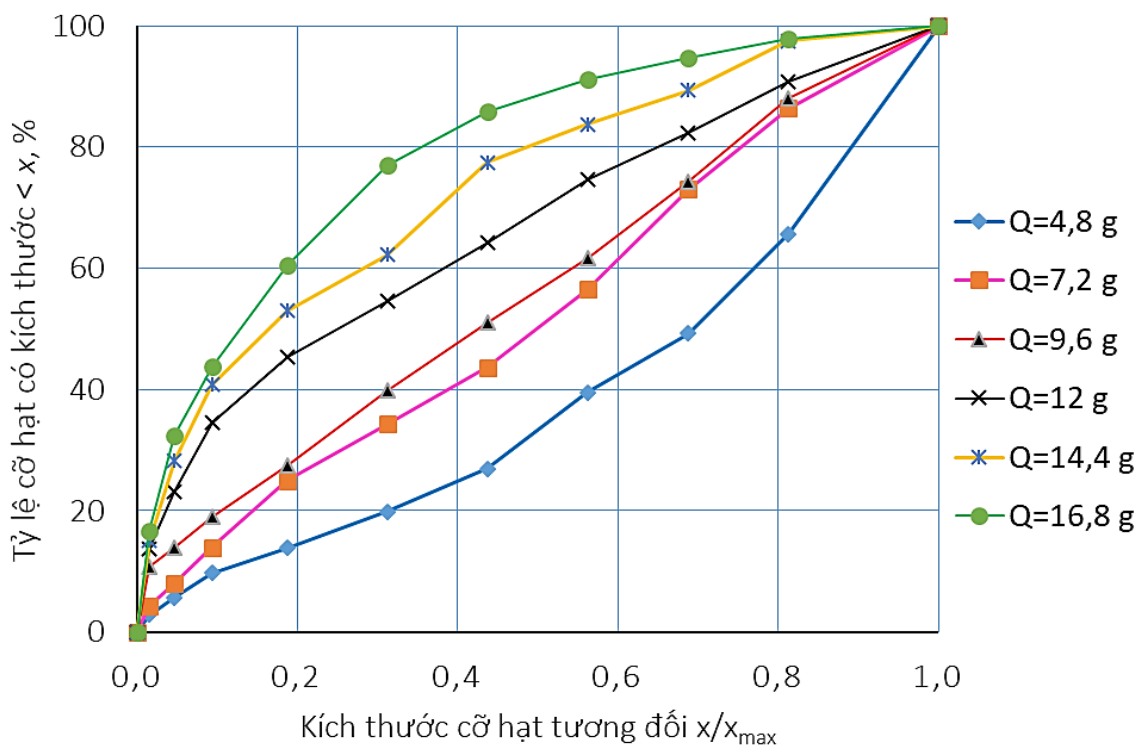
mẫu thì kích thước cục đá phá ra giảm dần không tăng theo quy luật. Điều này có thể giải thích rằng, mặt thoáng phụ làm xuất hiện sóng phản xạ làm tăng tác dụng đập vỡ. Đặc biệt khi càng gần mặt thoáng, ảnh hưởng của sóng phản xạ càng lớn;

- Đối với các mẫu nổ trong điều kiện ngầm không có mặt thoáng (mẫu loại A) kích thước cục đá theo khoảng cách từ tâm nổ luôn lớn hơn trường hợp có mặt thoáng phụ. Điều này được giải thích là với điều kiện nổ của mẫu này không có tác dụng của sóng phản xạ, mà chỉ có tác dụng của sóng tới.

4.3.3. Quy luật thực nghiệm về phân bố cỡ hạt sau nổ

4.3.3.1. Đối với lượng nổ tập trung

Đối với các mẫu loại C, từ số liệu ở bảng 4.2 xây dựng được đồ thị về quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mìn đối với mẫu lượng nổ tập trung như hình 4.26.



Hình 4.26. Dạng thực tế của quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mìn lượng nổ tập trung

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, cho phép rút ra qui luật về

sự phụ thuộc $P_{(x)}$ vào kích thước cỡ hạt tương đối x/x_{max} , trong đó $x_{max} = 0,08m$, tương ứng với chỉ tiêu thuộc nỏ khác nhau là:

$$+ Q = 4,8 \text{ g (} q = 0,6 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C2T}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{0,9636}, R^2 = 0,8974 \quad (4.23)$$

$$+ Q = 7,2 \text{ g (} q = 0,9 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C3T}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{0,8028}, R^2 = 0,9894 \quad (4.24)$$

$$+ Q = 9,6 \text{ g (} q = 1,2 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C4T}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{0,6231}, R^2 = 0,9438 \quad (4.25)$$

$$+ Q = 12 \text{ g (} q = 1,5 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C5T}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{0,4777}, R^2 = 0,9974 \quad (4.26)$$

$$+ Q = 14,4 \text{ g (} q = 1,8 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C6T}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{0,4206}, R^2 = 0,9842 \quad (4.27)$$

$$+ Q = 16,8 \text{ g (} q = 2,1 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C7T}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{0,378}, R^2 = 0,9508 \quad (4.28)$$

Đối với các mẫu loại A, B, để xác định tỉ lệ % cỡ hạt có kích thước $x < r$ cho trước trong mẫu sử dụng lượng nỏ tập trung có bán kính R , sử dụng công thức:

$$P_{(x < r)} = \frac{V_{r3}}{V_0} \quad (4.29)$$

trong đó: V_{r3} : thể tích hình cầu có bán kính r , m^3 , $V_{r3} = \frac{4}{3}\pi r^3$;

V_0 : thể tích nguyên mẫu bán kính R , m^3 , $V_0 = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Chọn $x_{max} = 0,08 \text{ m}$ và thay số vào các công thức (4.7), (4.8), (4.15), (4.16) thu được kết quả so sánh trong bảng 4.5.

Từ bảng 4.5, sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, thiết lập được các công thức về tỉ lệ phần trăm $P_{(x)}$, tương ứng với các lượng nỏ trên là:

- Các mẫu loại A:

$$+ \text{A2T (Q = 4,8 g): } P_{A2T}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{2,418}, R^2 = 0,5435 \quad (4.30)$$

$$+ \text{A3T (Q = 7,2 g): } P_{A3T}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{2,2639}, R^2 = 0,5905 \quad (4.31)$$

Bảng 4.5. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ tập trung khi nổ trong điều kiện khác nhau (ĐVT: %)

Cỡ hạt trung bình (m)		0,0075	0,015	0,035	0,055	0,080
Kích thước cỡ hạt tương đối, x/x_{\max}		0,094	0,188	0,438	0,688	1,000
$P_{(x)}$ Mẫu loại A	A2T (4,8 g)	0,77	1,54	3,6	5,66	100
	A3T (7,2 g)	1,01	2,03	4,73	7,43	100
$P_{(x)}$ Mẫu loại B	B2T (4,8 g)	0,82	2,52	9,65	19,54	100
	B3T (7,2 g)	2,31	7,14	27,37	55,46	100

- Các mẫu loại B:

$$+ \text{B2T (Q = 4,8 g): } P_{B2T}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{2,1761}, R^2 = 0,9215 \quad (4.32)$$

$$+ \text{B3T (Q = 7,2 g): } P_{B3T}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{1,5852}, R^2 = 0,9999 \quad (4.33)$$

4.3.3.2. Đối với lượng nổ dài

Đối với các mẫu loại C, từ số liệu ở bảng 4.3 sẽ xây dựng được đồ thị về quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mìn đối với mẫu lượng nổ dài như hình 4.27.

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, cho phép rút ra qui luật về sự phụ thuộc $P_{(x)}$ vào kích thước cỡ hạt tương đối x/x_{\max} , trong đó $x_{\max} = 80$ mm, tương ứng với chỉ tiêu thuốc nổ khác nhau là:

$$+ Q = 4,8 \text{ g (} q = 0,6 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C2D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,908}, \quad R^2 = 0,9743 \quad (4.34)$$

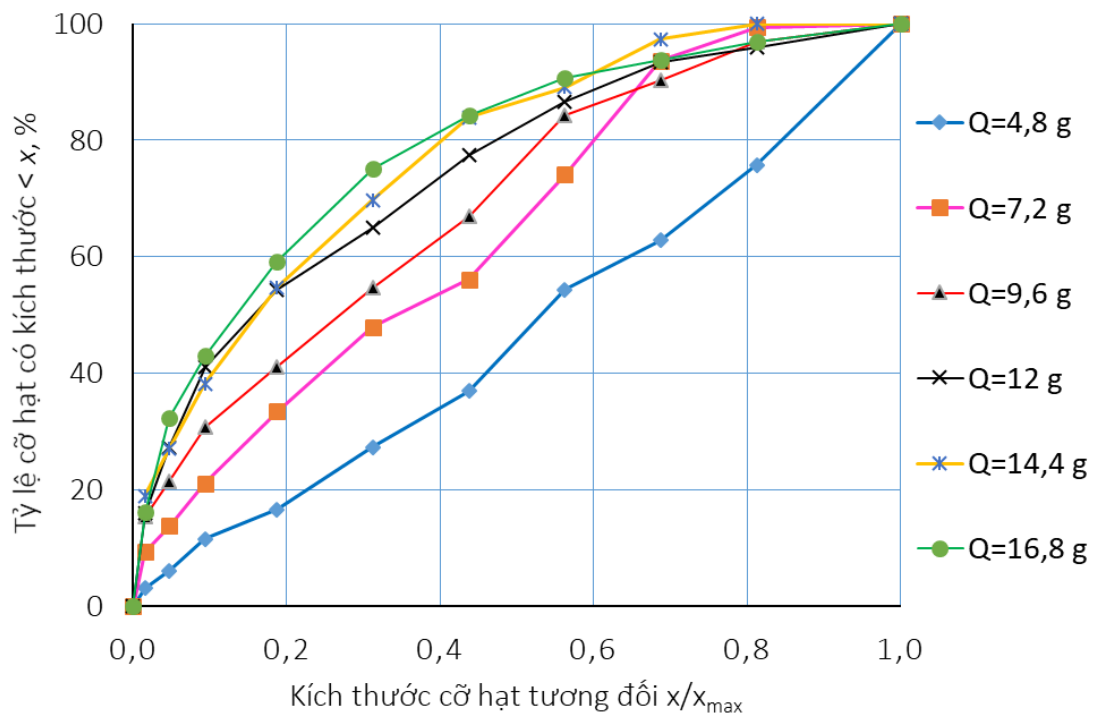
$$+ Q = 7,2 \text{ g (} q = 0,9 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C3D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,6109}, \quad R^2 = 0,9835 \quad (4.35)$$

$$+ Q = 9,6 \text{ g (} q = 1,2 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C4D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,4779}, \quad R^2 = 0,9872 \quad (4.36)$$

$$+ Q = 12 \text{ g (} q = 1,5 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C5D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,4139}, \quad R^2 = 0,983 \quad (4.37)$$

$$+ Q = 14,4 \text{ g (} q = 1,8 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C6D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,3945}, \quad R^2 = 0,9751 \quad (4.38)$$

$$+ Q = 16,8 \text{ g (} q = 2,1 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C7D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,3843}, \quad R^2 = 0,9563 \quad (4.39)$$



Hình 4.27. Dạng thực tế của quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mẫu lượng nổ dài

Đối với các mẫu loại A, B, để xác định tỉ lệ phần trăm cỡ hạt có kích thước $x < r$ cho trước trong mẫu sử dụng lượng nổ dài có bán kính R , vẫn sử

dụng công thức (4.29):

$$P_{(x < r)} = \frac{V_{r2}}{V_0}$$

trong đó: V_{r2} – thể tích hình trụ có bán kính r , m^3 , $V_{r2} = \pi r^2 h$; V_0 – thể tích nguyên mẫu bán kính R , m^3 , $V_0 = \pi R^2 h$; h – Chiều cao hình trụ.

Chọn $x_{max} = 0,08$ m và thay số vào các công thức (4.9), (4.10), (4.11), (4.17), (4.18), (4.19) có bảng so sánh sau:

Bảng 4.6. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ dài khi nổ trong điều kiện khác nhau (ĐVT: %)

Cỡ hạt trung bình (m)		0,0075	0,015	0,035	0,055	0,080
Kích thước cỡ hạt tương đối, x/x_{max}		0,094	0,188	0,438	0,688	1,000
$P_{(x)}$ Mẫu loại A	A2D (4,8 g)	1,62	3,68	9,56	15,66	23,43
	A3D (7,2 g)	3,76	7,70	18,31	28,98	42,37
	A4D (9,6 g)	5,13	10,85	26,55	42,48	62,54
$P_{(x)}$ Mẫu loại B	B2D (4,8 g)	1,61	4,83	16,37	29,96	48,36
	B3D (7,2 g)	3,94	10,62	32,43	56,65	88,59
	B4D (9,6 g)	6,66	15,34	40,43	66,59	100,00

Từ bảng 4.6, sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, thiết lập được các công thức về tỉ lệ phần trăm $P_{(x)}$, tương ứng với các lượng nổ trên là:

- Các mẫu loại A:

$$+ \text{A2D (Q = 4,8 g): } P_{A2D}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,9417}, R^2 = 0,7915 \quad (4.40)$$

$$+ \text{A3D (Q = 7,2 g): } P_{A3D}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,5088}, R^2 = 0,6211 \quad (4.41)$$

$$+ \text{A4D (Q = 9,6 g): } P_{A4D}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,3181}, R^2 = 0,8967 \quad (4.42)$$

- Các mẫu loại B:

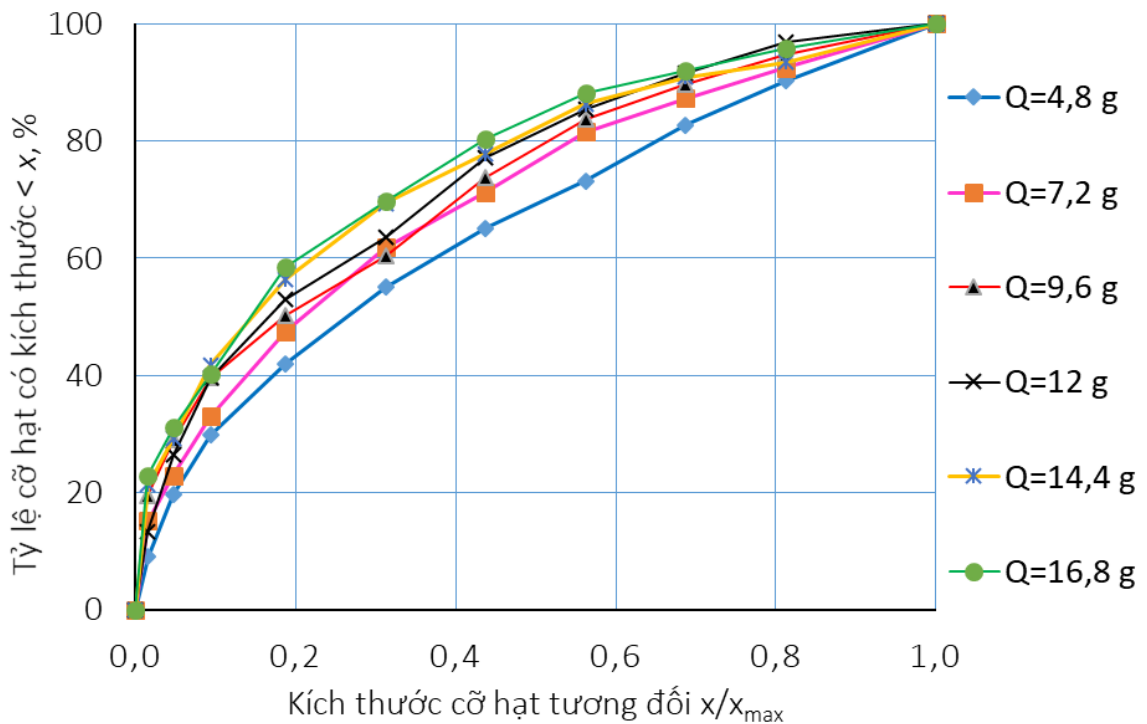
$$+ \text{B2D (Q = 4,8 g): } P_{B2D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{1,8202}, R^2 = 0,8802 \quad (4.43)$$

$$+ \text{B3D (Q = 7,2 g): } P_{B3D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{1,3601}, R^2 = 0,997 \quad (4.44)$$

$$+ \text{B4D (Q = 9,6 g): } P_{B4D}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{1,1326}, R^2 = 0,9995 \quad (4.45)$$

4.3.3.3. Đối với lượng nổ dạng phẳng

Đối với các mẫu loại C, từ số liệu ở bảng 4.4 xây dựng được đồ thị về quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mìn đối với mẫu lượng nổ dạng phẳng như hình 4.28.



Hình 4.28. Dạng thực tế của quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mìn lượng nổ dạng phẳng

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, cho phép rút ra quy luật về sự phụ thuộc $P(x)$ vào kích thước cỡ hạt tương đối x/x_{\max} , trong đó $x_{\max} = 80$ mm, tương ứng với chỉ tiêu thuốc nổ khác nhau là:

$$+ Q = 4,8 \text{ g (} q = 0,6 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C2P}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,5478}, R^2 = 0,9944 \quad (4.46)$$

$$+ Q = 7,2 \text{ g (} q = 0,9 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C3P}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,4586}, R^2 = 0,9958 \quad (4.47)$$

$$+ Q = 9,6 \text{ g (} q = 1,2 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C4P}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,4402}, R^2 = 0,9771 \quad (4.48)$$

$$+ Q = 12 \text{ g (} q = 1,5 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C5P}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,3975}, R^2 = 0,9968 \quad (4.49)$$

$$+ Q = 14,4 \text{ g (} q = 1,8 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C6P}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,3718}, R^2 = 0,9901 \quad (4.50)$$

$$+ Q = 16,8 \text{ g (} q = 2,1 \text{ kg/m}^3\text{): } P_{C7P}(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{0,358}, R^2 = 0,9869 \quad (4.51)$$

Đối với các mẫu loại A, B, để xác định tỉ lệ % cỡ hạt có kích thước $x < r$ cho trước trong mẫu sử dụng lượng nỏ dạng phẳng, sử dụng công thức (4.29) dưới dạng sau:

$$P_{(x < r)} = \frac{V_{r1}}{V_0}$$

trong đó: V_{r1} – thể tích khối mẫu có kích thước $2r \times l \times h$, m^3 , $V_{r1} = 2rlh$; V_0 – thể tích nguyên mẫu có kích thước $2R \times l \times h$, m^3 , $V_0 = 2Rlh$; h – Chiều cao mẫu; l – chiều dài mẫu; r, R – khoảng cách tính từ tâm mẫu (mặt phẳng đi qua tâm mẫu).

Chọn $x_{\max} = 0,08 \text{ m}$ và thay số vào các công thức (4.12), (4.13), (4.14), (4.20), (4.21), (4.22) có kết quả so sánh như bảng 4.7. Từ bảng 4.7, sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu thiết lập được các công thức về $P_{(x)}$, tương ứng với các mẫu thí nghiệm.

Bảng 4.7. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ dạng phẳng khi nổ trong điều kiện khác nhau (ĐVT: %)

Cỡ hạt trung bình (m)		0,0075	0,015	0,035	0,055	0,080
Kích thước cỡ hạt tương đối, x/x_{max}		0,094	0,188	0,438	0,688	1,000
$P_{(x)}$ Mẫu loại A	A2P (4,8 g)	2,96	5,92	13,82	21,71	31,58
	A3P (7,2 g)	5,21	10,42	24,31	38,20	55,56
	A4P (9,6 g)	7,82	15,65	36,51	57,38	83,46
$P_{(x)}$ Mẫu loại B	B2P (4,8 g)	7,43	14,87	34,69	54,51	79,28
	B3P (7,2 g)	8,17	16,34	38,13	59,93	87,17
	B4P (9,6 g)	9,38	18,75	43,75	68,75	100,00

- Các mẫu loại A:

$$+ \text{A2P (Q = 4,8 g): } P_{A2P}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,6548}, R^2 = 0,81 \quad (4.52)$$

$$+ \text{A3P (Q = 7,2 g): } P_{A3P}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,3338}, R^2 = 0,9107 \quad (4.53)$$

$$+ \text{A4P (Q = 9,6 g): } P_{A4P}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,1027}, R^2 = 0,9969 \quad (4.54)$$

- Các mẫu loại B:

$$+ \text{B2P (Q = 4,8 g): } P_{B2P}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,1319}, R^2 = 0,8243 \quad (4.55)$$

$$+ \text{B3P (Q = 7,2 g): } P_{B3P}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,078}, R^2 = 0,9413 \quad (4.56)$$

$$+ \text{B4P (Q = 9,6 g): } P_{B4P}(x) = \left(\frac{x}{x_{max}} \right)^{1,0199}, R^2 = 0,9993 \quad (4.57)$$

Nhận xét:

Từ các kết quả về quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ với ba dạng lượng nổ như trên nhận thấy rằng quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá

sau nổ với các chỉ tiêu thuốc nổ khác nhau có dạng tổng quát của phương trình (2.21). Để có thể ứng dụng các qui luật trên trong việc điều khiển chất lượng đập vỡ đất đá theo hướng thay đổi chỉ tiêu thuốc nổ, cần phải nghiên cứu thực nghiệm xác định được hệ số m phụ thuộc nhiều vào chỉ tiêu thuốc nổ, nghĩa là xác định được hàm số $m = f(q)$.

4.3.4. Thiết lập qui luật thực nghiệm về sự phụ thuộc của MĐĐVĐĐ vào chỉ tiêu thuốc nổ

Với các mẫu thí nghiệm loại C, giá trị của hệ số thực nghiệm m nhận được từ phương trình (4.23) đến (4.51) được tổng hợp phản ánh trong bảng 4.8

Bảng 4.8. Hệ số m khi nổ mẫu loại C

Chỉ tiêu thuốc nổ q (kg/m ³)	Hệ số m		
	Tập trung	Dài	Dạng phẳng
0,6	0,9636	0,9080	0,5478
0,9	0,8028	0,6109	0,4586
1,2	0,6231	0,4779	0,4402
1,5	0,4777	0,4139	0,3975
1,8	0,4206	0,3945	0,3718
2,1	0,3780	0,3843	0,3580

Phân tích số liệu trong bảng 4.8 theo phương pháp bình phương tối thiểu, cho phép rút ra qui luật sự phụ thuộc của hệ số đặc trưng cho quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ m vào chỉ tiêu thuốc nổ được phản ánh trên hình 4.29 và các phương trình (4.58), (4.59), (4.60).

- Đối với lượng nổ tập trung:

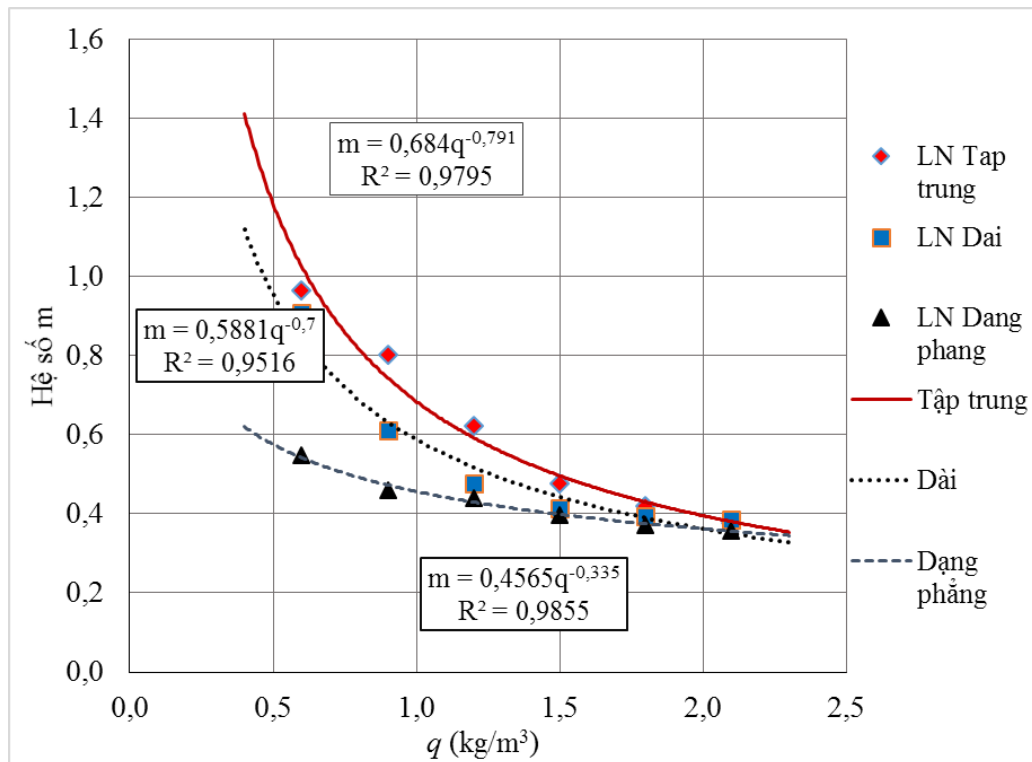
$$m = 0,684.q^{-0,791}, R^2 = 0,9795 \quad (4.58)$$

- Đối với lượng nổ dài:

$$m = 0,5881q^{-0,7}, R^2 = 0,9516 \quad (4.59)$$

- Đối với lượng nổ dạng phẳng:

$$m = 0,4565q^{-0,335}, R^2 = 0,9855 \quad (4.60)$$



Hình 4.29. Hệ số đặc trưng cho quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ

Từ đồ thị trên hình 4.29 có thể nhận thấy rằng khi nổ một loại đất đá ở trong cùng điều kiện thì khi tăng chỉ tiêu thuốc nổ, hệ số mũ đặc trưng cho quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ (m) giảm dần, có nghĩa là cỡ hạt đập vỡ vụn hơn và ngược lại. Phân tích các qui luật thực nghiệm từ (4.58) đến (4.60) nhận thấy tốc độ biến đổi của trị số m chỉ phụ thuộc vào chỉ số mũ của chỉ tiêu thuốc nổ (q), mà không phụ thuộc vào các trị số đứng trước q (0,684 với lượng nổ tập trung; 0,5881 với lượng nổ dài; 0,4565 với lượng nổ dạng phẳng). Các trị số đó trong trường hợp này có thể coi như một hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào độ bền mẫu (hay loại đất đá) và các điều kiện khác của vụ nổ như hình dạng lượng nổ, số lượng mặt thoáng...

Phân tích các phương trình từ (4.58) đến (4.60) với cùng điều kiện nổ cho phép có thể biểu diễn các phương trình này về dạng tổng quát như sau:

$$m = A_s q^{-\eta} \quad (4.61)$$

Trong công thức trên A_s coi là hệ số đặc trưng cho độ bền đất đá và các

điều kiện ngoài chỉ tiêu thuốc nổ, không đổi đối với mỗi điều kiện nổ, còn η là chỉ số đặc trưng cho mức độ ảnh hưởng của chỉ tiêu thuốc nổ đến MĐĐVĐĐ sau nổ. Thay (4.61) vào (2.21) nhận được dạng tổng quát về qui luật phụ thuộc của cỡ hạt vào chỉ tiêu thuốc nổ:

$$P_{(x)} = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^{A_s \cdot q^{-\eta}} \tag{4.62}$$

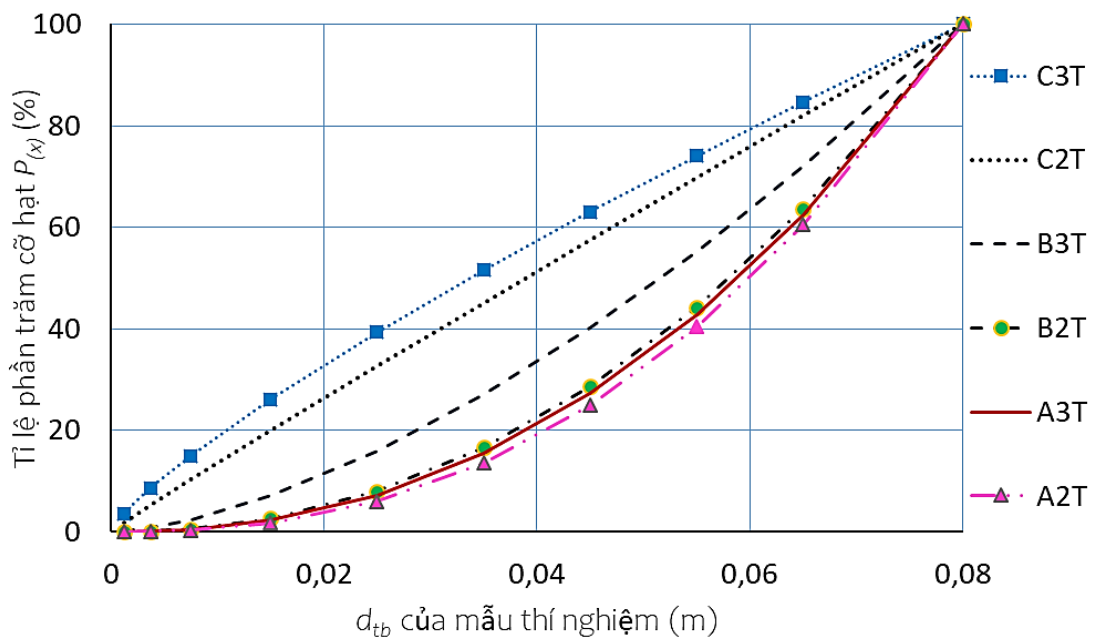
Với dạng vật liệu sử dụng trong bài thí nghiệm này, các hệ số A_s và η tương ứng với từng loại lượng nổ như sau:

Bảng 4.9. Hệ số đặc trưng A_s và η

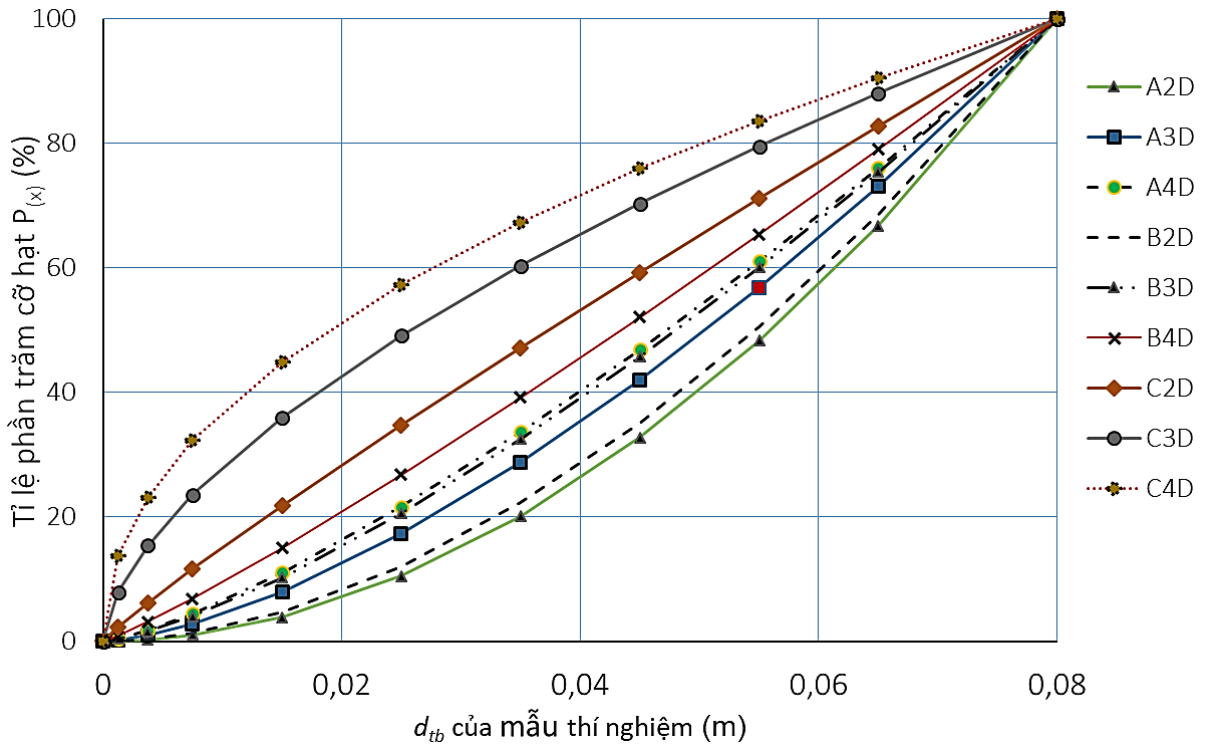
Hình dạng lượng nổ	Hệ số A_s	Hệ số η
Tập trung	0,6840	0,791
Dài	0,5881	0,700
Dạng phẳng	0,4565	0,335

4.4. So sánh đánh giá ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến MĐĐVĐĐ

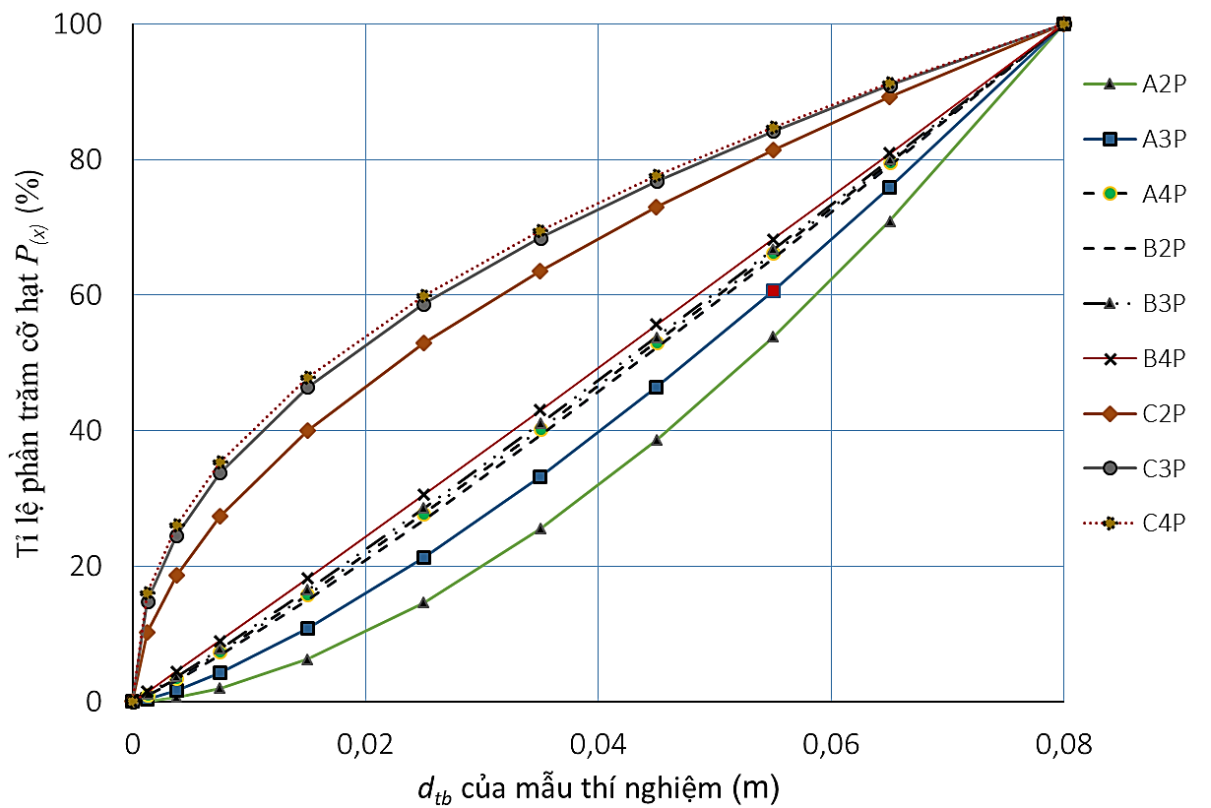
4.4.1. Ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến quy luật phân bố cỡ hạt



Hình 4.30. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ tập trung khi nổ trong điều kiện MTVH, MTMTP, MTHH



Hình 4.31. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ dài khi nổ trong điều kiện MTVH, MTMTP, MTHH



Hình 4.32. So sánh $P_{(x)}$ với các mẫu sử dụng lượng nổ dạng phẳng khi nổ trong điều kiện MTVH, MTMTP, MTHH

- Các mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ tập trung:

Từ các công thức (4.23), (4.24), (4.30), (4.31), (4.32), (4.33) xây dựng được đồ thị so sánh tỉ lệ $P_{(x)}$ khi nổ trong 3 điều kiện khác nhau như hình 4.30.

- Các mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dài:

Từ các công thức (4.34) đến (4.36), từ (4.40) đến (4.45) xây dựng được đồ thị so sánh tỉ lệ $P_{(x)}$ khi nổ trong 3 điều kiện khác nhau như hình 4.31.

- Các mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dạng phẳng:

Từ các công thức (4.46) đến (4.48), từ (4.52) đến (4.57) xây dựng được đồ thị so sánh tỉ lệ phần trăm cỡ hạt khi nổ trong 3 điều kiện khác nhau như hình 4.32.

Để so sánh, đánh giá hiệu quả của mặt thoáng đến MĐDVĐĐ, chọn mẫu loại A (nổ trong MTVH) làm chuẩn để so sánh $P_{(x)}$ của các mẫu nổ trong các môi trường khác lớn hơn bao nhiêu phần trăm khi cùng sử dụng một khối lượng thuốc nổ, kết quả như bảng 4.10.

Bảng 4.10. So sánh hiệu quả ảnh hưởng của mặt thoáng đến phân bố $P_{(x)}$ khi nổ các mẫu thí nghiệm với các dạng lượng nổ khác nhau

Loại lượng nổ	Khối lượng thuốc nổ (g)	Tỉ lệ phần trăm cỡ hạt $P_{(x)}$ lớn hơn mẫu nổ trong MTVH, %	
		MTMTP	MTHH
Tập trung	4,8	7,62	74,07
	7,2	26,25	81,05
Dài	4,8	4,31	54,18
	7,2	6,30	55,74
	9,6	8,70	56,85
Dạng phẳng	4,8	24,53	71,52
	7,2	12,31	60,00
	9,6	4,10	46,00

Nhận xét:

Phân tích đồ thị so sánh $P_{(x)}$ thu được với các mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng trong các điều kiện nổ khác nhau đã chỉ ra rằng, tỉ lệ phân trăm cỡ hạt $P(x < x_0)$ trong điều kiện mẫu có 5 mặt thoáng sẽ lớn nhất, tiếp đến là có mặt thoáng phụ và trong điều kiện không có mặt thoáng sẽ nhỏ nhất. Điều đó nói lên rằng với cùng một lượng thuốc nổ khi tiến hành nổ trong điều kiện càng có nhiều mặt thoáng thì chất lượng đập vỡ sẽ càng tốt hơn, đất đá sẽ bị đập vụn hơn.

4.4.2. Ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm

Để tính kích thước trung bình cỡ hạt của các mẫu thí nghiệm nổ trong MTVH, MTMTP có thể xác định d_{tb} như sau [12]:

$$d_{tb} = \int_0^{\infty} x d(P_{(x)}) \quad (4.63)$$

trong đó: $P_{(x)}$: xác suất các cục có kích thước $< x$; x : kích thước cục trong đồng đá nổ. Để xác định $P_{(x)}$, gọi r là khoảng cách từ tâm mẫu thí nghiệm đến vị trí cục có kích thước x , R là khoảng cách từ tâm mẫu đến biên của mẫu thí nghiệm. R được chọn sao cho cả 3 loại mẫu có cùng thể tích.

+ Lượng nổ tập trung: $R = 0,124$ m

+ Lượng nổ dài: $R = 0,1128$ m

+ Lượng nổ dạng phẳng: $R = 0,1$ m

Khi đó $P_{(x)}$ được xác định với các dạng lượng nổ như sau:

$$P_{(x)} = \frac{r^{\nu}}{R^{\nu}} \quad (4.64)$$

trong đó: ν – chỉ số phụ thuộc hình dạng của lượng nổ, $\nu = 3$ (lượng nổ tập trung); $\nu = 2$ (lượng nổ dài); $\nu = 1$ (lượng nổ dạng phẳng).

Đối với các mẫu thí nghiệm nổ trong MTHH (mô hình mẫu thí nghiệm loại C) sử dụng các công thức (4.2), (4.3), (4.4) để tính kích thước cỡ hạt trung

bình. Áp dụng công thức (4.63) tính toán đối với các mẫu thí nghiệm nổ trong MTVH, MTMTP của các dạng lượng nổ tập trung, lượng nổ dài, lượng nổ dạng phẳng thu được kết quả như bảng 4.11.

Bảng 4.11. Tính d_{tb} của các mẫu thí nghiệm trong các môi trường khác nhau

Dạng lượng nổ	Khối lượng thuốc nổ (g)	Kích thước trung bình cỡ hạt (m)		
		MTVH	MTMTP	MTHH
Tập trung	4,8	0,2210	0,0878	0,0583
	7,2	0,1685	0,0448	0,0420
	9,6	0,0685	0,0338	0,0333
Dài	4,8	0,1469	0,0633	0,0453
	7,2	0,0700	0,0380	0,0342
	9,6	0,0480	0,0320	0,0280
Dạng phẳng	4,8	0,0836	0,0333	0,0311
	7,2	0,0475	0,0303	0,0278
	9,6	0,0316	0,0264	0,0257

Bảng 4.12. So sánh hiệu quả ảnh hưởng của mặt thoáng đến d_{tb} khi nổ với các dạng lượng nổ khác nhau

Dạng lượng nổ	Khối lượng thuốc nổ (g)	Tỉ lệ chênh lệch d_{tb} (%)		
		MTVH	MTMTP	MTHH
Tập trung	4,8	0	60,29	73,62
	7,2	0	73,43	75,06
	9,6	0	50,64	51,36
Dài	4,8	0	56,94	69,20
	7,2	0	45,66	51,15
	9,6	0	33,39	41,63
Dạng phẳng	4,8	0	60,17	62,76
	7,2	0	36,25	41,45
	9,6	0	16,58	18,86

Để so sánh, đánh giá hiệu quả của mặt thoáng, chọn mẫu loại A (nổ trong MTVH) làm chuẩn (100%) để so sánh kích thước trung bình cỡ hạt của các

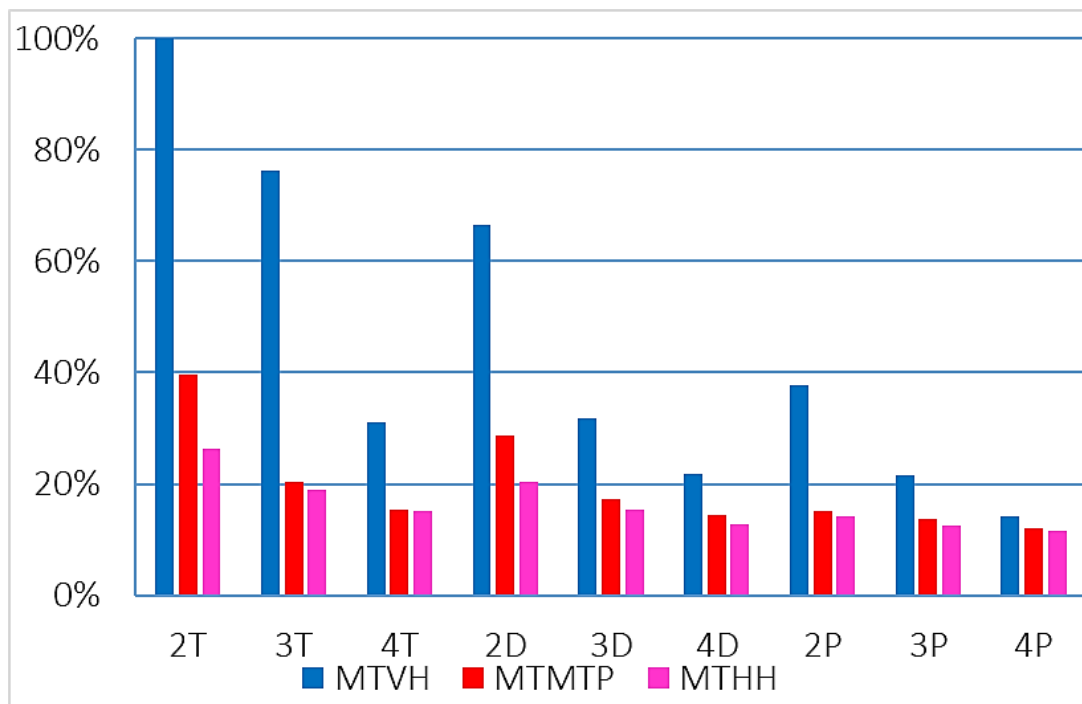
mẫu nổ trong các môi trường khác nhỏ hơn bao nhiêu % (hay giảm bao nhiêu %) khi cùng sử dụng một khối lượng thuốc nổ. Công thức so sánh d_{tb} mẫu nổ trong MTMTP, MTHH với mẫu nổ trong MTVH:

$$d_{tb}^{B/A} = \frac{d_{tb}^A - d_{tb}^B}{d_{tb}^A} \cdot 100\% \quad (4.65)$$

$$d_{tb}^{C/A} = \frac{d_{tb}^A - d_{tb}^C}{d_{tb}^A} \cdot 100\% \quad (4.66)$$

Các kết quả tính toán được thể hiện trong bảng 4.12.

Nếu coi kích thước trung bình cỡ hạt của lượng nổ tập trung khi nổ trong MTVH là 100% thì kích thước trung bình cỡ hạt của các lượng nổ khác khi nổ trong các môi trường khác nhau được so sánh tương đối trong hình 4.33.



Hình 4.33. So sánh tương đối kích thước trung bình cỡ hạt của các dạng lượng nổ khác nhau khi nổ trong các môi trường khác nhau

4.5. Thực nghiệm nổ thực tế tại công trường

Các bài thí nghiệm được tiến hành trên mô hình thu nhỏ và sử dụng lượng nổ nhỏ nên không thể tránh khỏi những sai số do ảnh hưởng của mô hình thí nghiệm, vật liệu chế tạo mẫu thí nghiệm, các điều kiện nổ khác... Để kiểm

chứng các kết quả nghiên cứu lý thuyết và sự phù hợp của các kết quả thí nghiệm trên mô hình thu nhỏ, cần phải tiến hành nổ thực nghiệm tại công trường với mẫu nguyên dạng thực tế, tức là thí nghiệm theo phương pháp nguyên hình. Các thí nghiệm được tiến hành với lượng nổ dạng phẳng (nhóm các lỗ khoan song song gần nhau) để nghiên cứu ảnh hưởng của khoảng cách tương đối giữa các lượng nổ đến thể tích vùng phá hủy, chỉ tiêu thuốc nổ và quy luật phân bố thành phần cỡ hạt của đồng đá sau nổ mìn.

4.5.1. Mô tả mô hình thực nghiệm

Khu vực tiến hành thí nghiệm là các bãi đá sét kết thuộc khu vực xã Đài Xuyên – Vân Đồn – Quảng Ninh. Điều kiện thủy triều dao động từ 0 đến 4 mét. Lựa chọn bãi đá có điều kiện địa chất tương đối đồng nhất để tiến hành thí nghiệm. Sử dụng máy ủi để san gạt lớp đất đá bề mặt tạo mặt bằng sạch để tiến hành khoan nổ. Sử dụng máy khoan Atlas Copco ROC F9 tiến hành khoan các lỗ mìn theo hộ chiếu, đường kính lỗ khoan $\Phi 42$, chiều sâu khoan 2,5 m, số lỗ khoan trong một hàng là 11 lỗ. Khối lượng thuốc nổ tương ứng với từng bài thí nghiệm được thể hiện trong bảng 4.13.

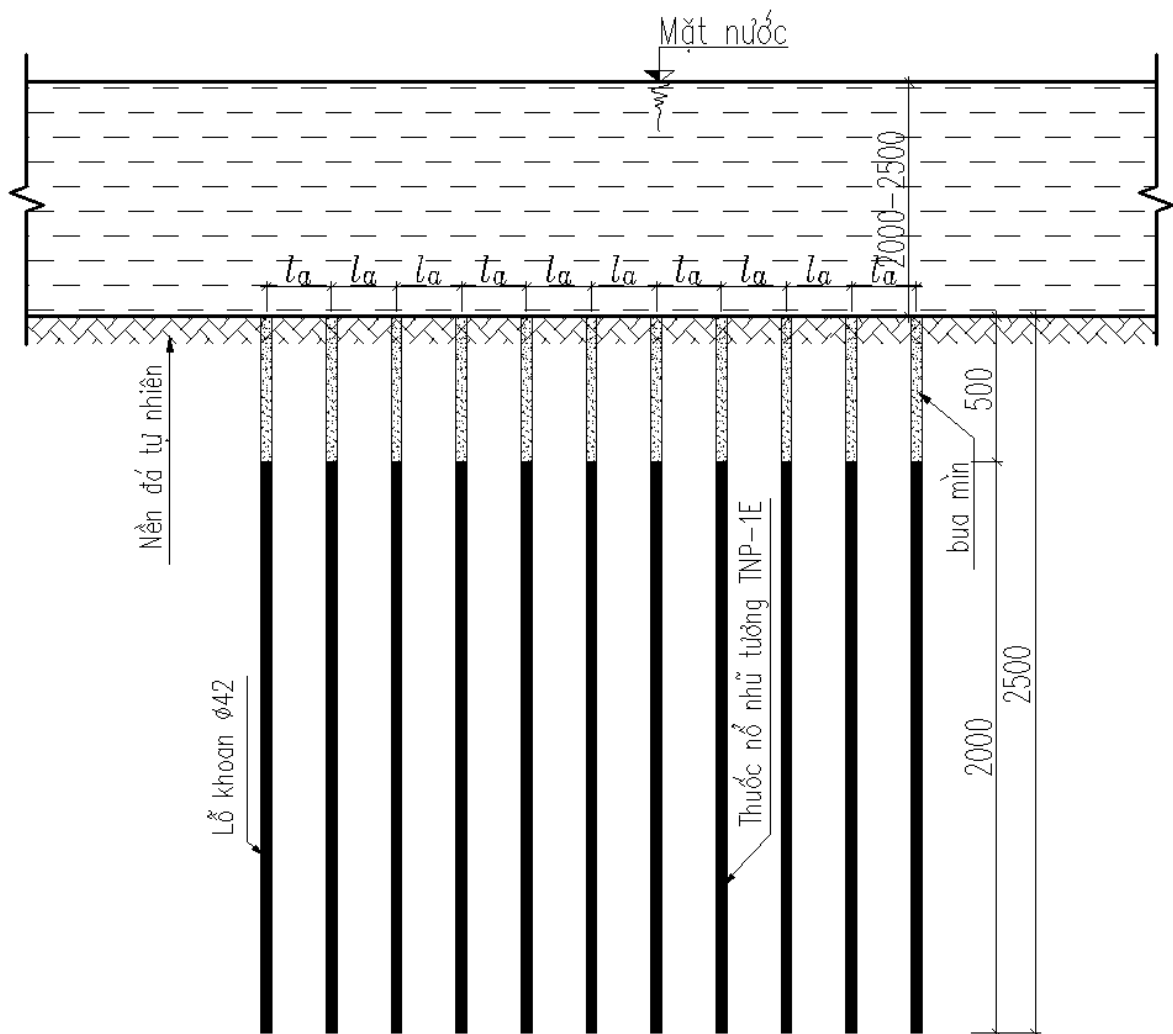
Bảng 4.13. Bố trí thuốc nổ tương ứng với từng bài thí nghiệm

TT	Mã số bài thí nghiệm	Số lượng lỗ khoan	Khoảng cách giữa các lỗ khoan, l_a	Khối lượng thuốc nổ trong lỗ khoan	Tổng khối lượng thuốc nổ
		lỗ	m	kg	kg
1	TN1 (15d)	11	0,48	1,8	19,8
2	TN2 (20d)	11	0,64	1,8	19,8
3	TN3 (25d)	11	0,80	1,8	19,8
4	TN4 (30d)	11	0,96	1,8	19,8
5	TN5 (35d)	11	1,12	1,8	19,8
6	TN6 (40d)	11	1,28	1,8	19,8

Thuốc nổ sử dụng trong bài thí nghiệm là thuốc nổ nhũ tương TNP-1E, gây nổ bằng kíp nổ phi điện, các thông số về thuốc nổ và kíp nổ được cho trong bảng PL. 26 , bảng PL. 27, bảng PL. 28. Thiết bị gây nổ là máy điểm hỏa phi điện. Mỗi bài thí nghiệm được tiến hành nổ từ 2 đến 3 lần để lấy giá trị trung bình.

4.5.2. Quy trình thực nghiệm

Các bước tiến hành tương tự như mục 4.1.3, điểm khác là thay việc sử dụng các mẫu thí nghiệm mô hình thu nhỏ bằng việc sử dụng mẫu thực (khoan các lỗ mìn theo các số liệu ở bảng 4.13).



Hình 4.34. Mô hình thí nghiệm dùng lượng nổ dạng phẳng để phá đá



a)



b)



c)



d)

a) Khoan lỗ mìn b) Liên kết dây nổ c) Nổ mìn d) Kết quả nổ mìn

Hình 4.35. Một số hình ảnh thí nghiệm nổ tại công trường

4.5.3. Phương pháp lấy số liệu

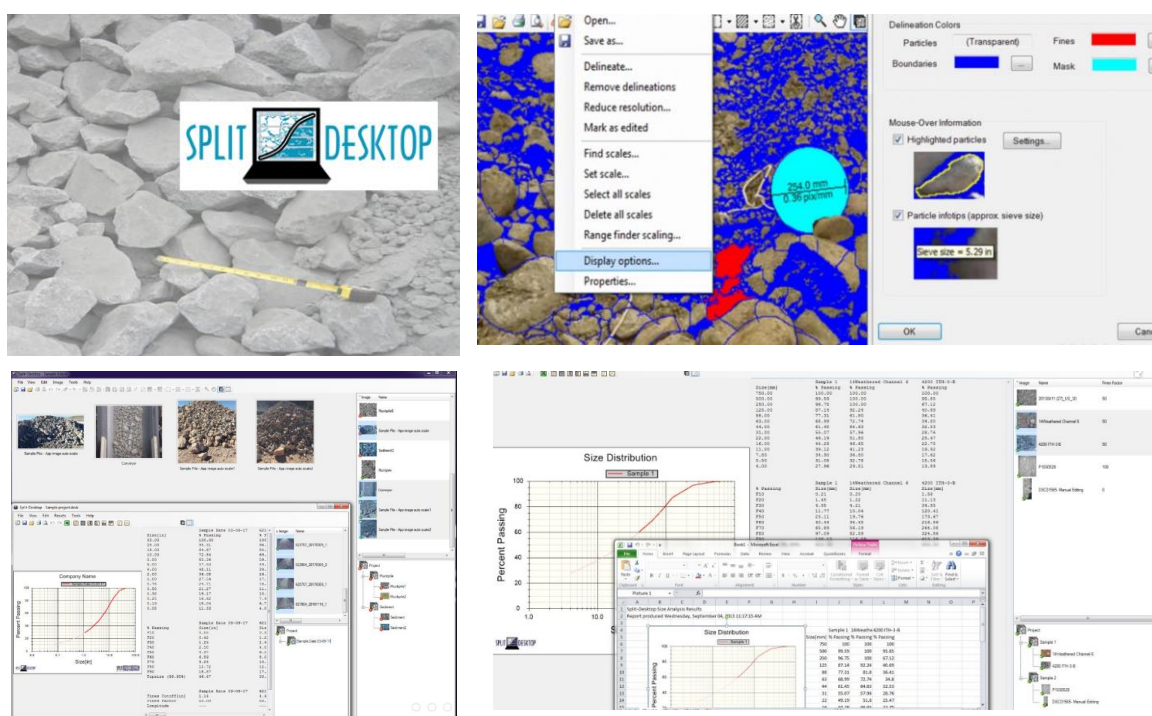
- Số liệu về thể tích vùng phá hủy: Đo thể tích vùng phá hủy được tính toán thông qua việc đo vẽ bình đồ ngoài hiện trường với sự trợ giúp của máy xúc, thủ công, thước và thước mét.

- Số liệu về phân bố thành phần cỡ hạt sau nổ: Sử dụng phương pháp chụp ảnh kết hợp với phần mềm Split-Desktop để đánh giá kết quả. Sau khi nổ mìn xong, sử dụng máy ảnh chụp lại các bãi đá sau nổ, các bãi đá không bằng phẳng sẽ sử dụng máy ủi san gạt đảm bảo sự đồng đều của đồng đá. Các bức ảnh chụp

được tại hiện trường sẽ được đưa vào xử lý bằng phần mềm Split-Desktop để phân tích thành phân cỡ hạt của đồng đá sau nổ.

4.5.4. Giới thiệu phần mềm Split-Desktop version 4.0

Để nâng cao năng suất và hiệu quả của hoạt động nổ mìn thì một trong những chỉ tiêu quan trọng cần quan tâm là tối ưu sự phân mảnh của đồng đá sau nổ mìn. Khi khối lượng đồng đá lớn thì việc xác định thành phần cỡ hạt là tương đối khó khăn, vì vậy sự ra đời của phần mềm Split-Desktop cung cấp một giải pháp thay thế kinh tế cho việc lấy mẫu, sàng lọc thủ công và dự đoán kết quả nhanh chóng.



Hình 4.36. Một số hình ảnh về phần mềm Split-Desktop

Để đánh giá thành phần cỡ hạt của đồng đá sau nổ cần có một ảnh kỹ thuật số có chất lượng cao, sau đó thông qua 5 bước phần mềm Split-Desktop tiến hành phân tích hình ảnh và cho ra kết quả.

4.5.5. Kết quả thực nghiệm

4.5.5.1. Phân tích kết quả thực nghiệm về ảnh hưởng của khoảng cách giữa các lượng nổ đến kích thước vùng phá hủy và chỉ tiêu thuốc nổ

Kết quả thí nghiệm được mô tả trong bảng 4.14 và hình 4.37, hình 4.38.

Bảng 4.14. Kết quả thí nghiệm nổ trong đá sét kết

TT	Mã thí nghiệm theo khoảng cách tương đối giữa các lỗ khoan	Khoảng cách giữa các lỗ khoan, m	Độ sâu đào phá bình quân, m	Chiều rộng hố đào bình quân, m	Chiều dài hố đào bình quân, m	Thể tích hố đào phá, V, m ³	Chỉ tiêu thuốc nổ, q, kg/m ³
1	TN1 (l _a = 15d)	0,48	2,3	1,35	5,48	11,54	1,72
2	TN1 (l _a = 15d)	0,48	2,37	1,35	5,48	11,89	1,67
3	TN1 (l _a = 15d)	0,48	2,32	1,35	5,48	11,64	1,70
4	TN2 (l _a = 20d)	0,64	2,22	1,74	7,27	24,46	0,81
5	TN2 (l _a = 20d)	0,64	2,32	1,74	7,27	25,56	0,77
6	TN2 (l _a = 20d)	0,64	2,24	1,74	7,27	24,68	0,80
7	TN3 (l _a = 25d)	0,80	2,23	1,82	8,91	32,91	0,60
8	TN3 (l _a = 25d)	0,80	2,19	1,81	8,91	31,95	0,62
9	TN3 (l _a = 25d)	0,80	2,2	1,79	8,89	31,28	0,63
10	TN4 (l _a = 30d)	0,96	2,15	1,62	10,41	29,52	0,67
11	TN4 (l _a = 30d)	0,96	2,22	1,59	10,39	29,02	0,68
12	TN5 (l _a = 35d)	1,12	2,16	1,46	11,93	27,46	0,72
13	TN5 (l _a = 35d)	1,12	2,21	1,43	11,92	27,00	0,73
14	TN6 (l _a = 40d)	1,28	2,1	1,29	13,44	23,42	0,85
15	TN6 (l _a = 40d)	1,28	2,1	1,23	13,41	21,17	0,94

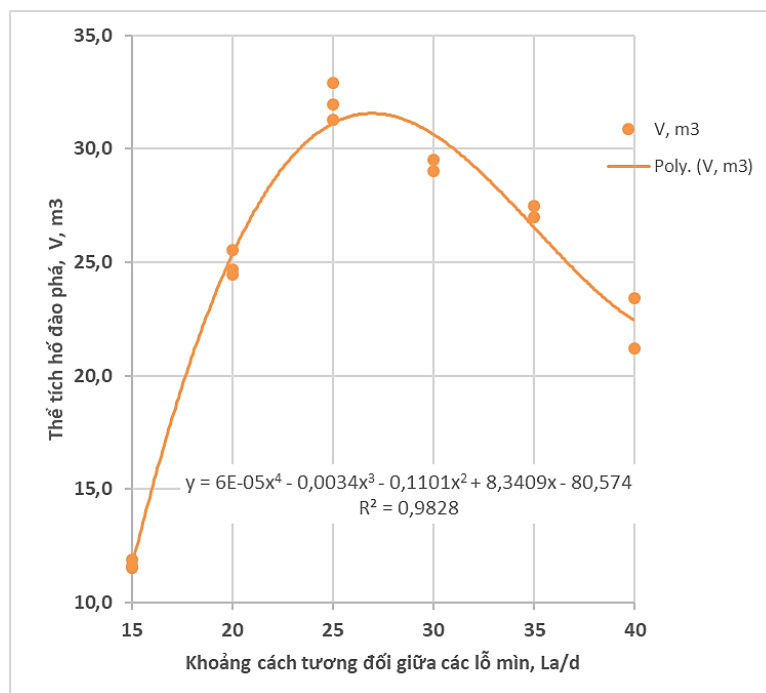
Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, phân tích số liệu thực nghiệm trong bảng 4.14 cho phép nhận được dạng phụ thuộc thực nghiệm của thể tích vùng phá hủy đất đá (V_p) và chỉ tiêu thuốc nổ (q) phụ thuộc vào khoảng cách tương đối giữa các lỗ mìn (l_a/d) tương ứng khi nổ trong đá sét kết cấp IV trong điều kiện thí nghiệm có dạng phương trình (4.67), (4.68).

$$V_p = 0,00006 \left(\frac{l_a}{d} \right)^4 - 0,0034 \left(\frac{l_a}{d} \right)^3 + 0,1101 \left(\frac{l_a}{d} \right)^2 + 8,3409 \frac{l_a}{d} - 80,574 ; \quad (4.67)$$

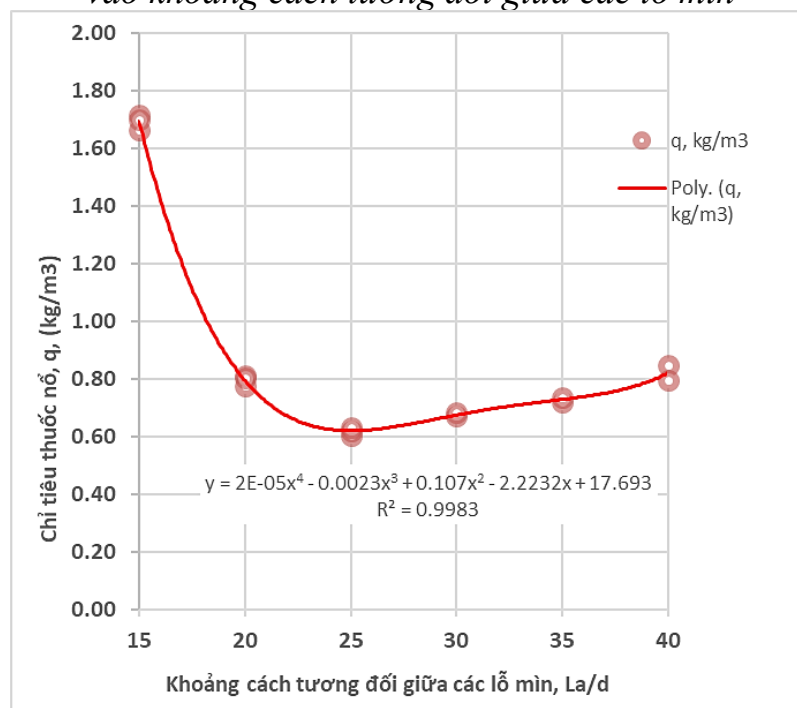
$$R^2 = 0,983$$

$$q = 0,00002 \left(\frac{l_a}{d} \right)^4 - 0,0023 \left(\frac{l_a}{d} \right)^3 + 0,107 \left(\frac{l_a}{d} \right)^2 - 2,2232 \frac{l_a}{d} + 17,693; \quad (4.68)$$

$$R^2 = 0,998$$



Hình 4.37. Sự phụ thuộc của thể tích vùng phá hủy vào khoảng cách tương đối giữa các lỗ mìn



Hình 4.38. Sự phụ thuộc của chỉ tiêu thuốc nổ vào khoảng cách tương đối giữa các lỗ mìn

Phân tích kết quả trong bảng 4.14 và hình 4.37, hình 4.38 chỉ ra, khi thay đổi khoảng cách tương đối giữa các lỗ mìn từ 15d đến 40d thì thể tích vùng phá hủy tăng dần đến giá trị cực đại ở trong phạm vi (23-27)d và sau đó nếu tiếp tục tăng khoảng cách giữa các lỗ mìn thì thể tích vùng phá hủy giảm dần. Ngược lại thay đổi khoảng cách tương đối giữa các lỗ mìn từ 15d đến 40d thì chỉ tiêu thuốc nổ giảm dần đến giá trị cực tiểu cũng ở trong phạm vi (23-27)d và sau đó nếu tiếp tục tăng khoảng cách giữa các lỗ mìn thì chỉ tiêu thuốc nổ tiếp tục tăng. Đường đặc tính tìm được bằng thực nghiệm tương đối phù hợp với đặc tính lý thuyết tìm được ở trên.

4.5.5.2. Phân tích kết quả thực nghiệm về ảnh hưởng của khoảng cách giữa các lượng nổ đến quy luật phân bố thành phần cỡ hạt

Sử dụng phần mềm Split-Desktop xử lý các số liệu thực nghiệm nhận được các kết quả như các hình ảnh và đồ thị dưới đây.



Hình 4.39. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN1



Hình 4.40. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN2



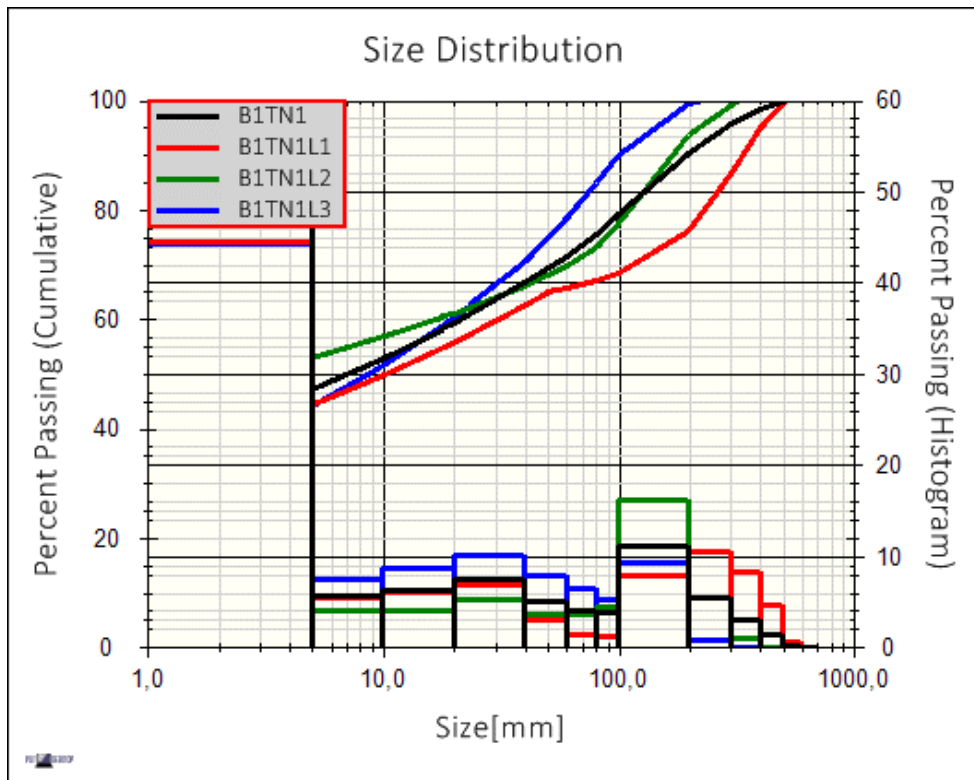
Hình 4.41. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN3



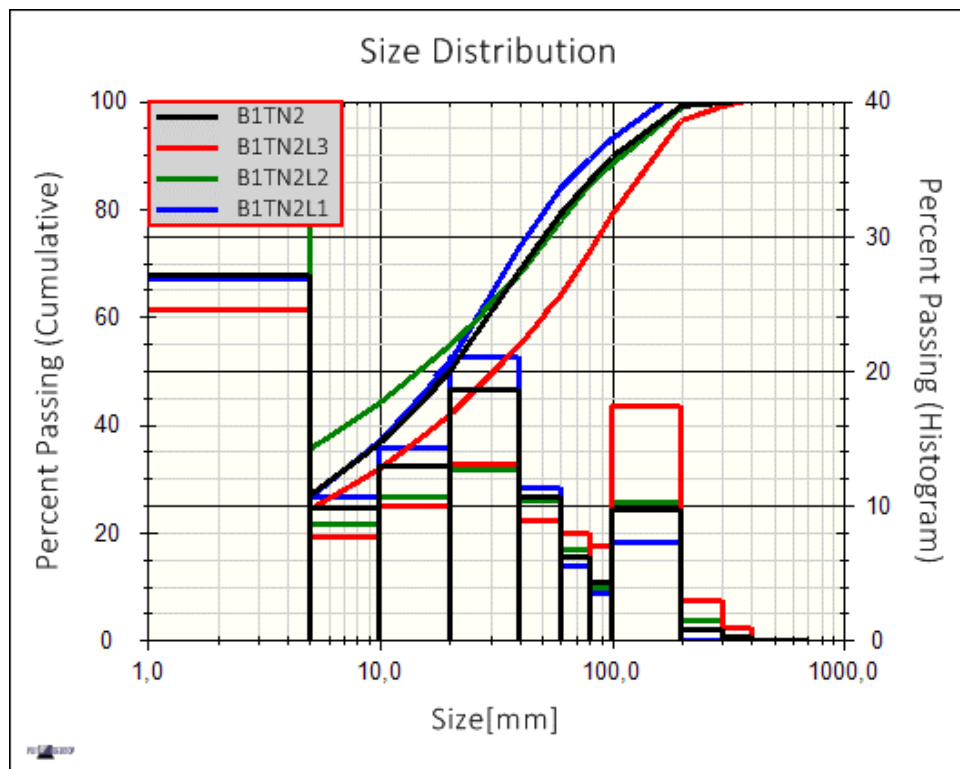
Hình 4.42. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN4



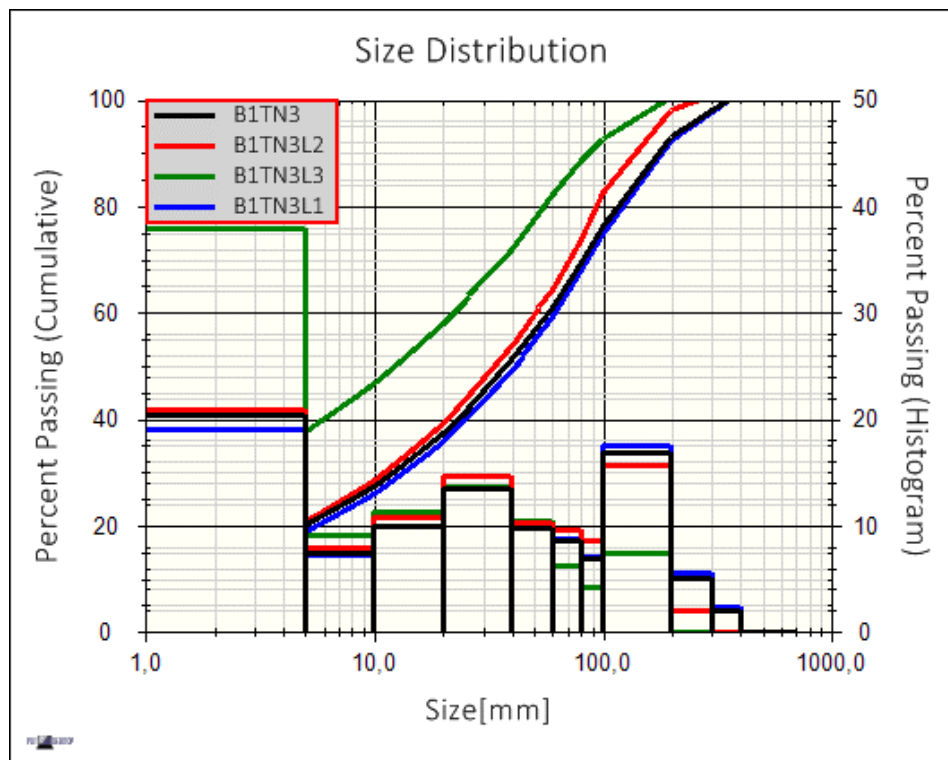
Hình 4.43. Kết quả nổ thí nghiệm bài TN5



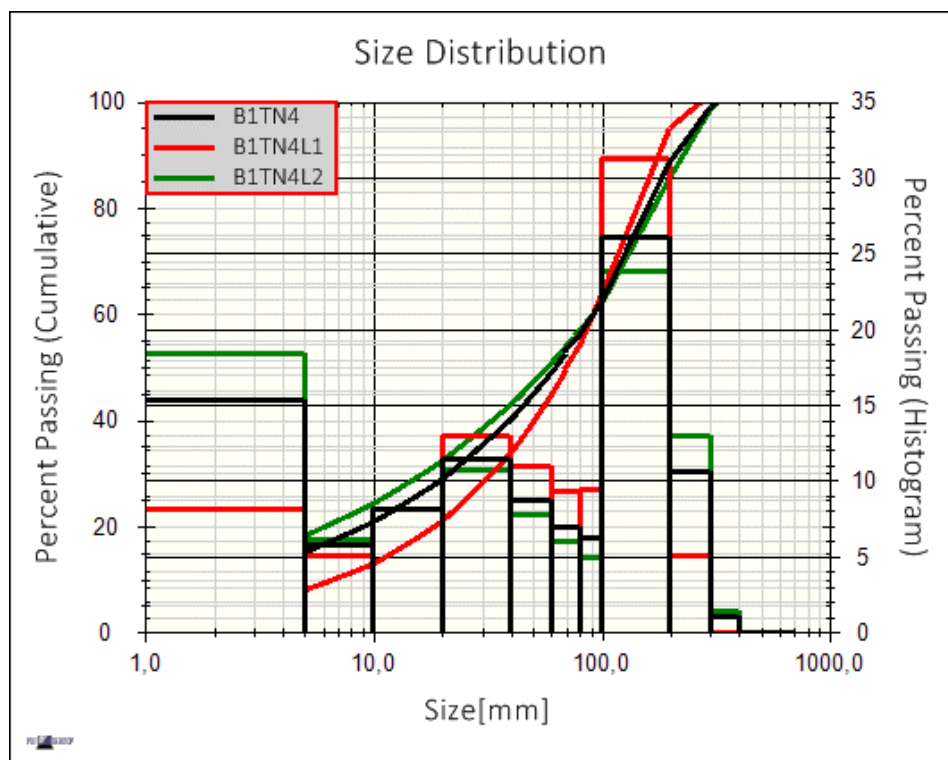
Hình 4.44. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN1



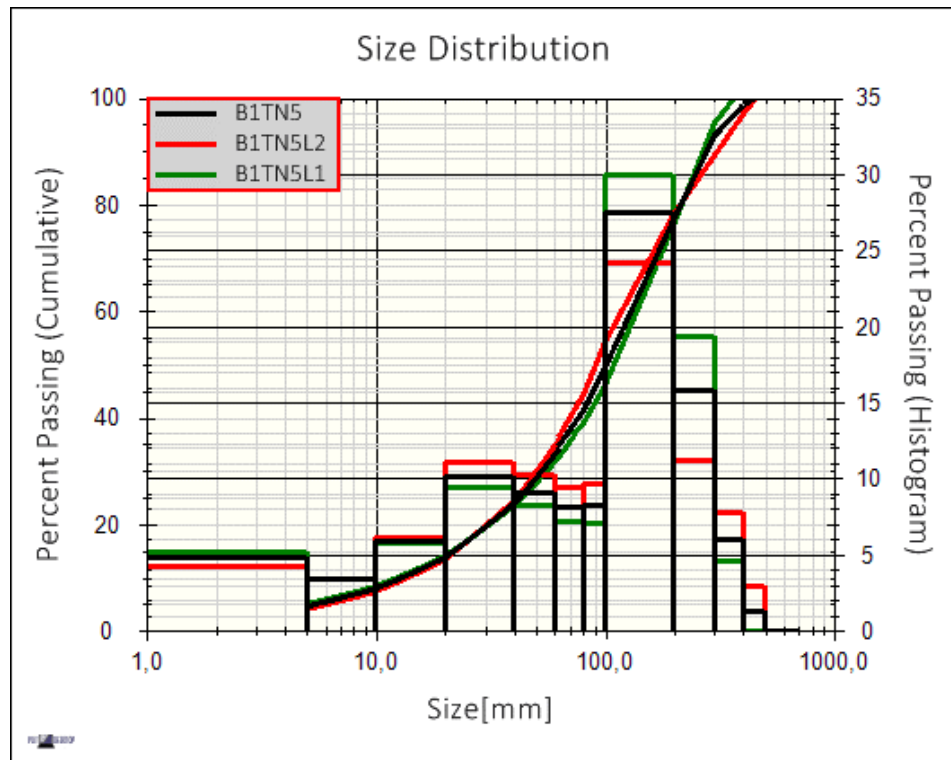
Hình 4.45. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN2



Hình 4.46. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN3



Hình 4.47. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN4



Hình 4.48. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá của bài thí nghiệm TN5

Nhận xét:

Các đường cong biểu diễn quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá từ bài TN1 đến bài TN5 cho thấy khi tăng khoảng cách giữa các lỗ khoan (từ 15d đến 35d) thì thành phần cỡ hạt đá có xu hướng tăng dần từ nhỏ lên to hơn. Khi khoảng cách giữa các lỗ khoan nhỏ, các thành phần cỡ hạt nhỏ chiếm tỉ lệ lớn hơn (đồ thị hình 4.44) do đất đá bị đập vỡ ở mức dư thừa năng lượng, khi khoảng cách giữa các lỗ khoan tăng lên thì thành phần cỡ hạt lớn chiếm đa số (đồ thị hình 4.48). Khi khoảng cách giữa các lỗ khoan ở mức 25d thì các thành phần cỡ hạt tương đối bằng nhau (đồ thị hình 4.46). Đây cũng là khoảng cách mà thể tích vùng phá hủy đất đá đạt giá trị gần như lớn nhất đã được tính toán trong mục 4.5.5.1. Điều này được giải thích là do ở khoảng cách này, năng lượng của thuốc nổ dùng cho phá hủy đất đá được phân bố đồng đều hơn, năng lượng dùng cho đập vỡ không bị dư thừa quá mức.

4.6. Kết luận Chương 4

Các bài thí nghiệm nổ thực tế trên mô hình thu nhỏ tại thao trường Hòa Lạc đã thu được những kết quả thí nghiệm quan trọng, từ đó rút ra được 4 quy luật thực nghiệm trong điều kiện nổ của bài thí nghiệm:

- Quy luật về sự phụ thuộc kích thước trung bình của cỡ hạt đá sau nổ vào chỉ tiêu thuốc nổ.
- Quy luật thực nghiệm về phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ.
- Quy luật thực nghiệm về sự phụ thuộc của MĐĐVĐĐ vào chỉ tiêu thuốc nổ.
- Quy luật thực nghiệm về sự phụ thuộc kích thước cục đá phá ra theo khoảng cách tính từ tâm nổ.

Các nghiên cứu thực nghiệm cũng được tiến hành đồng thời với ba dạng lượng nổ cơ bản là lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng để so sánh, đánh giá hiệu quả sử dụng năng lượng nổ với các dạng lượng nổ khác nhau. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng khi cùng một chỉ tiêu thuốc nổ như nhau thì bố trí lượng nổ ở dạng phẳng sẽ có lợi hơn so với lượng nổ dài và lượng nổ tập trung, hay năng lượng của thuốc nổ sẽ được phân bố đồng đều hơn cho mục tiêu đập vỡ đất đá. Mặt khác ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ đến MĐĐVĐĐ chỉ xảy ra trong miền tác dụng hiệu quả của năng lượng thuốc nổ sử dụng chủ yếu cho việc đập vỡ đất đá, khi sử dụng chỉ tiêu thuốc nổ lớn, năng lượng tiêu hao cho việc phá hủy đất đá trở lên bão hòa, ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ sẽ không đáng kể.

Trên cơ sở so sánh, đánh giá ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến MĐĐVĐĐ nhận thấy, khi so sánh kích thước trung bình cỡ hạt với trường hợp nổ trong môi trường vô hạn thì khi có mặt thoáng phụ sẽ giảm đi 50 – 73% với lượng nổ tập trung, 33 – 57% với lượng nổ dài, 16 – 60% với lượng nổ dạng phẳng, trong môi trường hữu hạn sẽ giảm 51 – 75% với lượng nổ tập trung, 41 – 69% với lượng nổ dài, 18 – 63% với lượng nổ dạng phẳng. Ngoài ra tỉ lệ $P_{(x)}$

của mẫu có mặt thoáng cũng lớn hơn trong trường hợp không có mặt thoáng khi cùng sử dụng khối lượng thuốc nổ và dạng lượng nổ.

Thực tế đã cho thấy, các đặc tính ngẫu nhiên của vật liệu chế tạo mẫu thử và các điều kiện nổ có ảnh hưởng đến kết quả thí nghiệm, do đó cần có các nghiên cứu thực nghiệm theo phương pháp nguyên hình. Trên cơ sở nghiên cứu thực nghiệm tại hiện trường với mô hình thực, lượng nổ thực tại khu vực xã Đài Xuyên – Vân Đồn – Quảng Ninh cho phép rút ra một số nhận xét sau:

- Khi nổ lượng nổ dạng phẳng, thông số khoảng cách giữa các lỗ mìn hợp lý tỉ lệ với đường kính lỗ mìn và phụ thuộc vào loại đất đá. Đường kính lỗ mìn càng lớn, loại đất càng bền vững thì khoảng cách giữa các lỗ khoan càng nhỏ và ngược lại;

- Khi bố trí khoảng cách giữa các lỗ mìn hợp lý thì hiệu quả phá hủy cao nhất và mức độ đập vỡ đất đá lớn nhất;

- Khi nổ ngầm dưới nước trong đá sét kết cấp IV, thể tích vùng phá hủy đạt giá trị lớn nhất và chỉ tiêu thuốc nổ đạt giá trị nhỏ nhất trong phạm vi $l_a = (23 \div 27)d$. Đây là kết quả nghiên cứu thực tế với một loại đất đá cụ thể trong điều kiện nổ ngầm dưới nước, do đó có sự khác biệt với kết quả khảo sát (nhóm đất đá nói chung có cùng thông số, nổ trong môi trường vô hạn) trong kết luận ở Chương 3.

Chương 5

PHÂN TÍCH CÁC QUY LUẬT PHÁ VỠ ĐẤT ĐÁ VÀ ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ÁP DỤNG

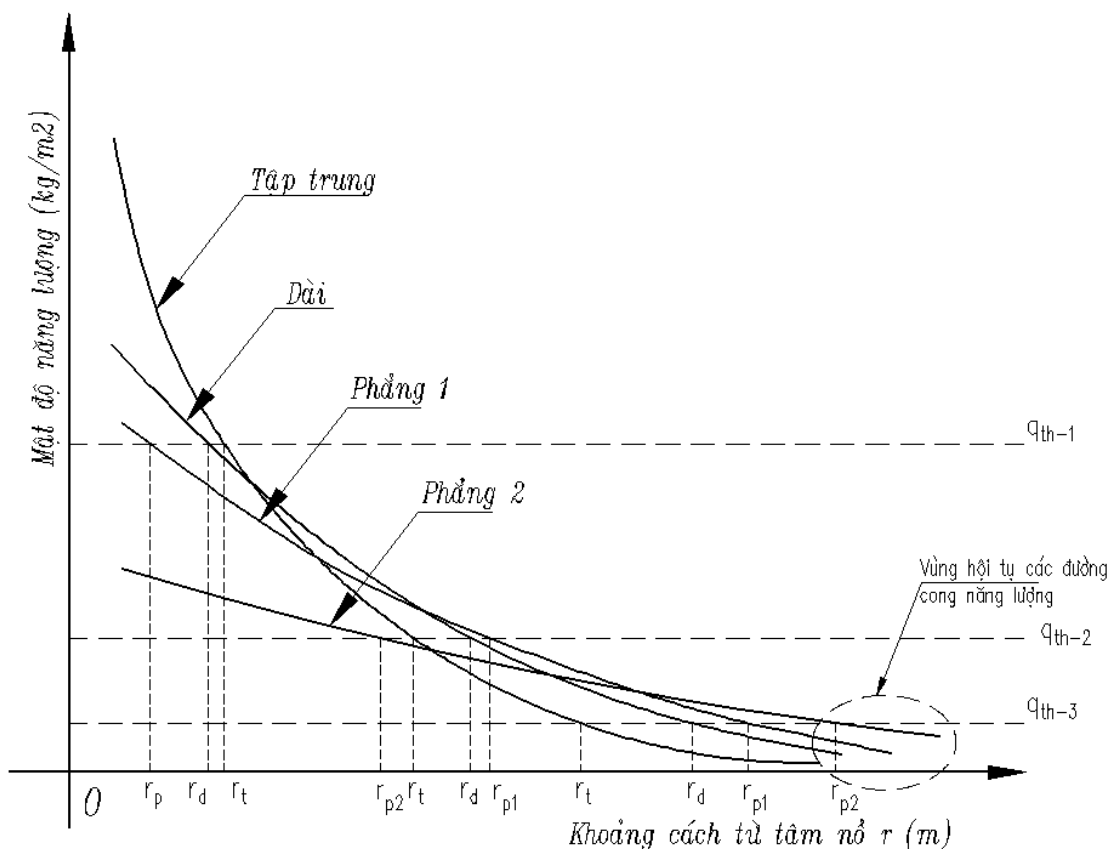
5.1. Phân tích, so sánh đặc tính tác dụng nổ của lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng

5.1.1. Phân tích, so sánh trường năng lượng nổ của các dạng lượng nổ cơ bản theo lý thuyết thủy động lực học nổ

Trong chương 3 đã thiết lập được các công thức tính mật độ năng lượng phân bố trong môi trường của các dạng lượng nổ cơ bản gồm: lượng nổ tập trung (2.38), lượng nổ dài (2.40), lượng nổ phẳng (2.41), lượng nổ dạng phẳng (3.9). Từ các công thức này đã xây dựng được chương trình tính dựa trên ngôn ngữ lập trình Matlab và đã tiến hành khảo sát số một số bài toán về sự phân bố mật độ năng lượng nổ trong môi trường. Các dạng lượng nổ được khảo sát gồm: lượng nổ tập trung, lượng nổ dài, lượng nổ phẳng và lượng nổ dạng phẳng, các kết quả khảo sát được thể hiện trên hình 3.6, hình 3.7, hình 3.8 và bảng PL. 3. Từ các kết quả khảo sát này, dựa trên chương trình đã lập tác giả đã tiến hành khảo sát thêm một số bài toán nữa bằng cách thay đổi số liệu đầu vào và đưa ra quy luật chung về sự phân bố năng lượng nổ trong môi trường theo khoảng cách tính từ tâm nổ với các dạng lượng nổ khác nhau như đồ thị hình 5.1.

Từ đồ thị trên nhận thấy rằng, đối với lượng nổ tập trung (lượng nổ dạng hình cầu), sự suy giảm năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ là lớn nhất so với các dạng lượng nổ còn lại, năng lượng sẽ phát tán đồng đều ra xung quanh theo các mặt cầu đồng tâm. Lượng nổ dài sẽ phát tán năng lượng ra môi trường theo các mặt elipxoit đồng tâm, trên mặt cắt vuông góc với trục lượng nổ dài thì mức độ suy giảm năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ sẽ ít hơn so với lượng nổ tập trung. Đối với lượng nổ phẳng, năng lượng sẽ phát tán theo dạng elipxoit dẹt xoay, mức độ suy giảm năng lượng theo khoảng cách sẽ ít hơn lượng nổ tập trung, lượng nổ dài và nhiều hơn lượng nổ dạng phẳng. Trường

hợp lượng nổ dạng phẳng thì hình dạng trường phân bố năng lượng nổ tùy thuộc vào khoảng cách bố trí giữa các lượng nổ dài. Khi các lượng nổ dài được bố trí gần sát nhau thì trường phân bố năng lượng sẽ gần giống với trường hợp lượng nổ phẳng, còn khi các lượng nổ dài bố trí ở khoảng cách càng xa thì trường phân bố năng lượng sẽ gần giống với trường phân bố năng lượng của các lượng nổ dài đơn. Khi các lượng nổ dài được bố trí ở khoảng cách hợp lý thì ở một vùng nào đó gần tâm nổ sẽ hình thành vùng trường năng lượng phẳng có tính chất giống như lượng nổ phẳng. Do đó sự suy giảm năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ của lượng nổ dạng phẳng sẽ giống với trường hợp của lượng nổ dài hoặc lượng nổ phẳng tùy thuộc vào cấu tạo của lượng nổ.



Hình 5.1. Quy luật phân bố mật độ năng lượng nổ theo khoảng cách từ tâm nổ với các dạng lượng nổ khác nhau có cùng khối lượng thuốc nổ

Trên hình 5.1 thể hiện quy luật phân bố năng lượng nổ của 4 dạng lượng nổ cơ bản có cùng khối lượng thuốc nổ theo khoảng cách từ tâm nổ. Với lượng

nở phẳng (hoặc dạng phẳng) tùy theo tỉ lệ kích thước chiều rộng/chiều dày hoặc tỉ lệ chiều dài/đường kính lượng nở l_0/d mà đường cong phân bố có dạng phẳng 1 hoặc phẳng 2. Có 3 mức năng lượng tới hạn mà tại đó môi trường có khả năng bị phá hủy:

Ở mức q_{th-1} : có thể xem như nở trong môi trường khó đập vỡ, năng lượng thuộc nở nhỏ, do đó bán kính phá hủy của các dạng lượng nở theo thứ tự sau: $r_t > r_d > r_{p1}$. Ở đây kí hiệu: r_t : bán kính phá hủy của lượng nở tập trung, r_d : bán kính phá hủy của lượng nở dài, r_p : bán kính phá hủy của lượng nở phẳng.

Ở mức q_{th-2} : có thể xem như nở trong môi trường đập vỡ thông thường, bán kính phá hủy của các dạng lượng nở theo thứ tự sau: $r_{p1} > r_d > r_t$.

Ở mức q_{th-3} : có thể xem như nở trong môi trường dễ đập vỡ, đất đá yếu, hoặc năng lượng thuộc nở sử dụng hợp lý, bán kính phá hủy của các dạng lượng nở theo thứ tự sau: $r_{p2} > r_{p1} > r_d > r_t$.

Càng xa tâm nở đường cong quy luật phân bố năng lượng nở có xu hướng hội tụ với nhau do trường năng lượng nở lúc này đều có xu hướng trở về dạng hình cầu.

Trong chương 2 đã trình bày công thức tính kích thước trung bình cỡ hạt (2.48), công thức này có thể viết lại dưới dạng khác như sau:

$$a_h = \sqrt{\frac{6A}{\rho \left[\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right)^2 \right]}} \quad (5.1)$$

Trong trường hợp lượng nở tập trung (lượng nở hình cầu) thì có công thức (2.51), công thức này được viết lại như sau:

$$a = \frac{v_{th} \sqrt{\pi \rho}}{\sqrt{Er_0}} \cdot r^3 \quad (5.2)$$

Do $v_{th} \cdot \sqrt{\pi \rho}$ là hệ số đặc trưng cho loại đất đá được xác định trước từ thực nghiệm, nên trong công thức (5.2), kích thước trung bình cỡ hạt chỉ phụ thuộc

vào năng lượng của lượng nổ E , bán kính lượng nổ r_0 và khoảng cách từ tâm nổ r .

Đối với lượng nổ dài, lượng nổ phẳng và lượng nổ dạng phẳng thì trong công thức (5.1) cần xác định 2 đại lượng là A và φ . Hằng số A được tính phụ thuộc vào năng lượng E của lượng nổ và kích thước (a, b) của lượng nổ. Còn đại lượng φ phụ thuộc vào hằng số A và kích thước (a, b) của lượng nổ theo công thức (2.32) nếu là lượng nổ dài, công thức (2.33) nếu là lượng nổ phẳng.

Từ các nhận xét trên đây cho thấy các công thức tính kích thước trung bình cỡ hạt phá ra khi nổ các dạng lượng nổ khác nhau trong môi trường vô hạn đều phụ thuộc vào năng lượng của lượng nổ và kích thước hay hình dạng của lượng nổ. Như vậy, tổng quát lại, mối quan hệ giữa kích thước trung bình cỡ hạt và năng lượng của lượng nổ được biểu diễn qua công thức sau:

$$d_{tb} = f(E_{(r)}) \quad (5.3)$$

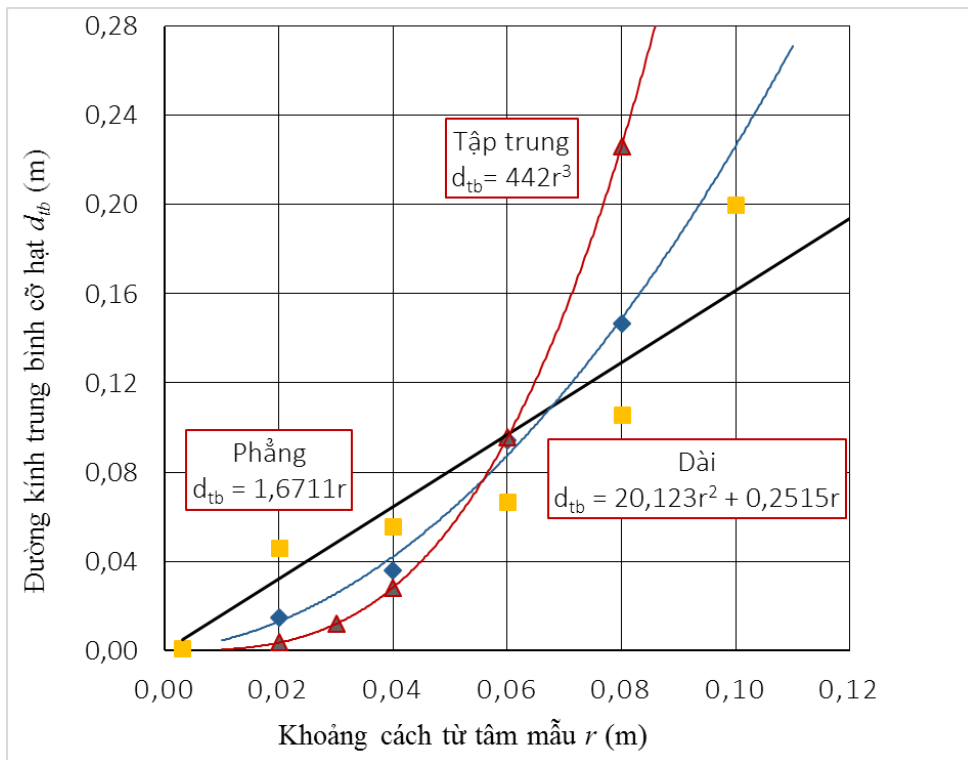
trong đó: $E_{(r)}$ là hàm số thể hiện mức năng lượng của lượng nổ tại vị trí r , được xác định thông qua các tọa độ x, y, z .

5.1.2. Phân tích các kết quả thí nghiệm

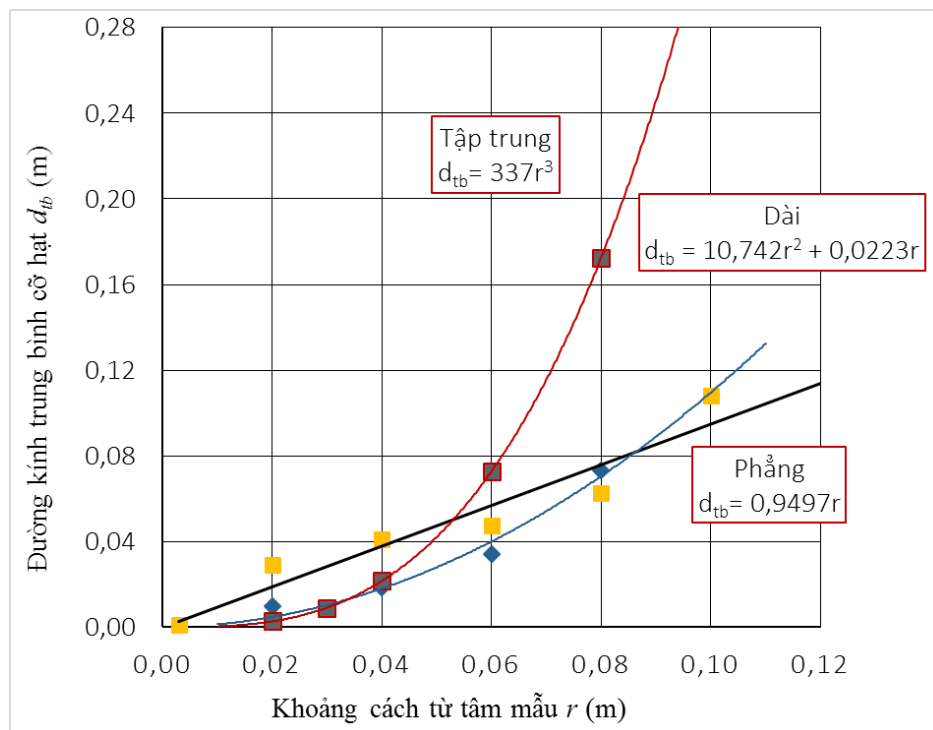
5.1.2.1. Nổ trong môi trường vô hạn không có mặt thoáng

a) So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi kích thước trung bình cỡ hạt theo khoảng cách

Trong chương 4, mục 4.3.2 đã thiết lập được các công thức thực nghiệm về mối quan hệ giữa kích thước trung bình cỡ hạt và khoảng cách tính từ tâm nổ đối với 3 dạng lượng nổ là tập trung, dài, dạng phẳng. Dựa trên các công thức này, xây dựng đồ thị so sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đối với quy luật thay đổi kích thước trung bình cỡ hạt theo khoảng cách tính từ tâm nổ như các hình 5.2, hình 5.3.



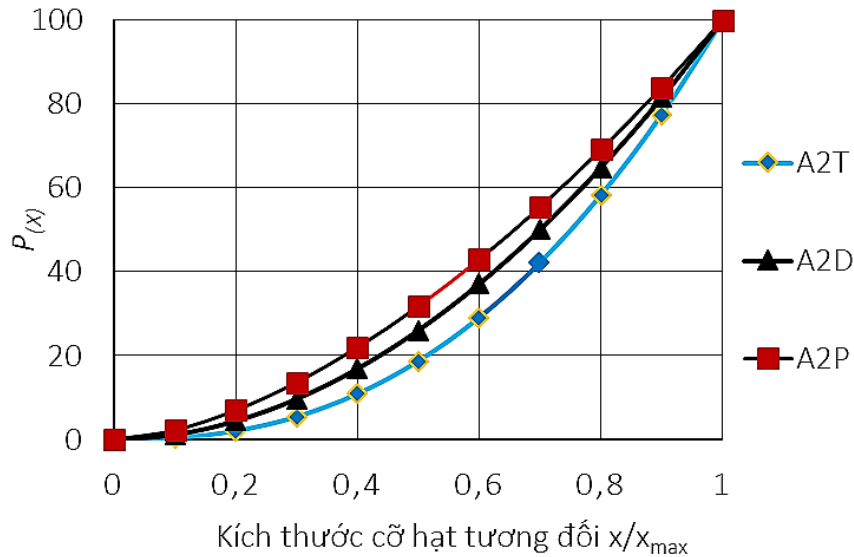
Hình 5.2. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách ($Q=4,8$ g)



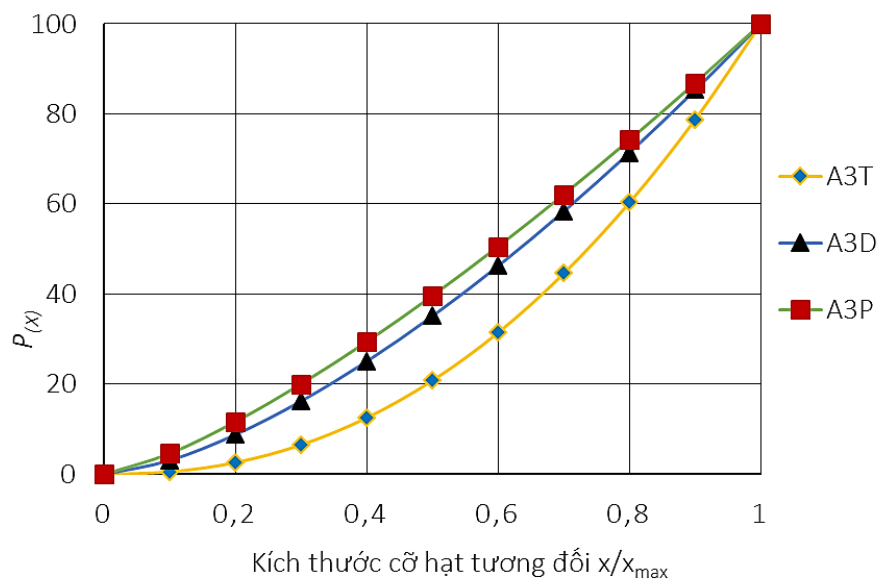
Hình 5.3. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách ($Q=7,2$ g)

b) So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$

Từ các kết quả thiết lập các công thức thực nghiệm về $P_{(x)}$, xây dựng các đồ thị mô tả quy luật phân bố tỉ lệ phần trăm cỡ hạt như hình 5.4, hình 5.5.



Hình 5.4. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$ ($Q = 4,8 \text{ g}$)



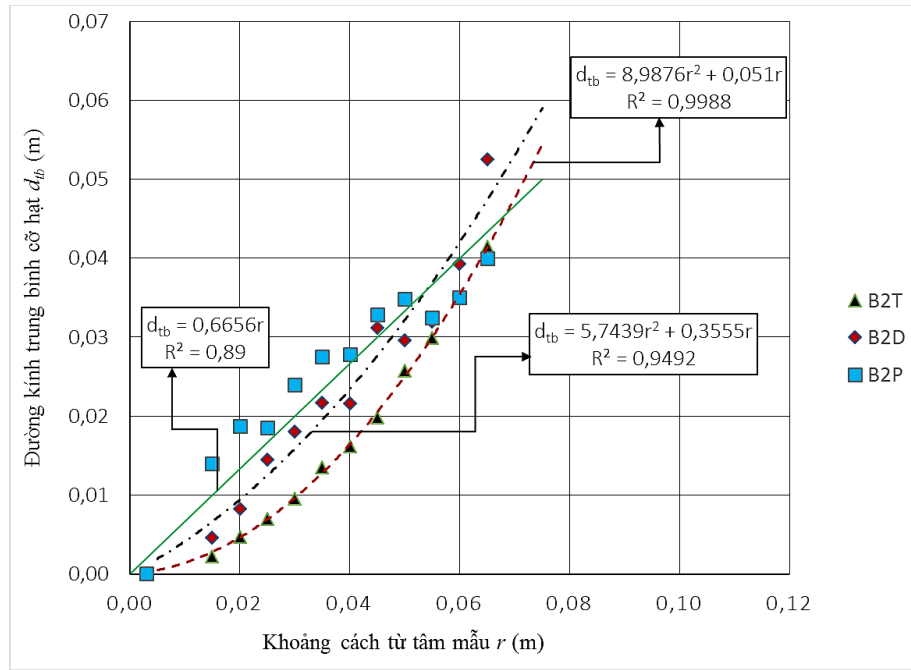
Hình 5.5. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$ ($Q = 7,2 \text{ g}$)

5.1.2.2. Nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ

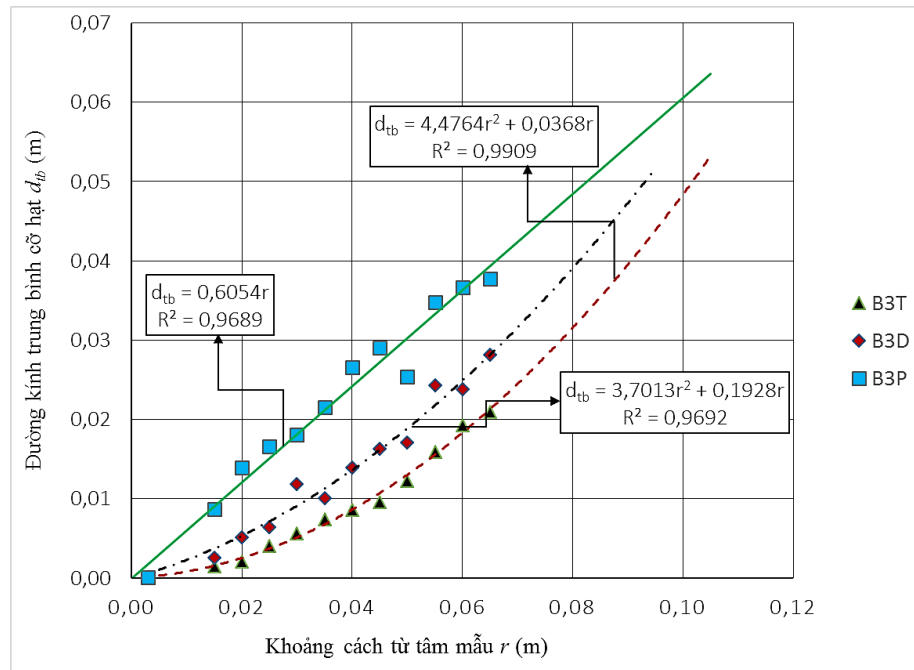
a) So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách

Dựa trên các công thức thực nghiệm về mối quan hệ giữa d_{tb} và khoảng

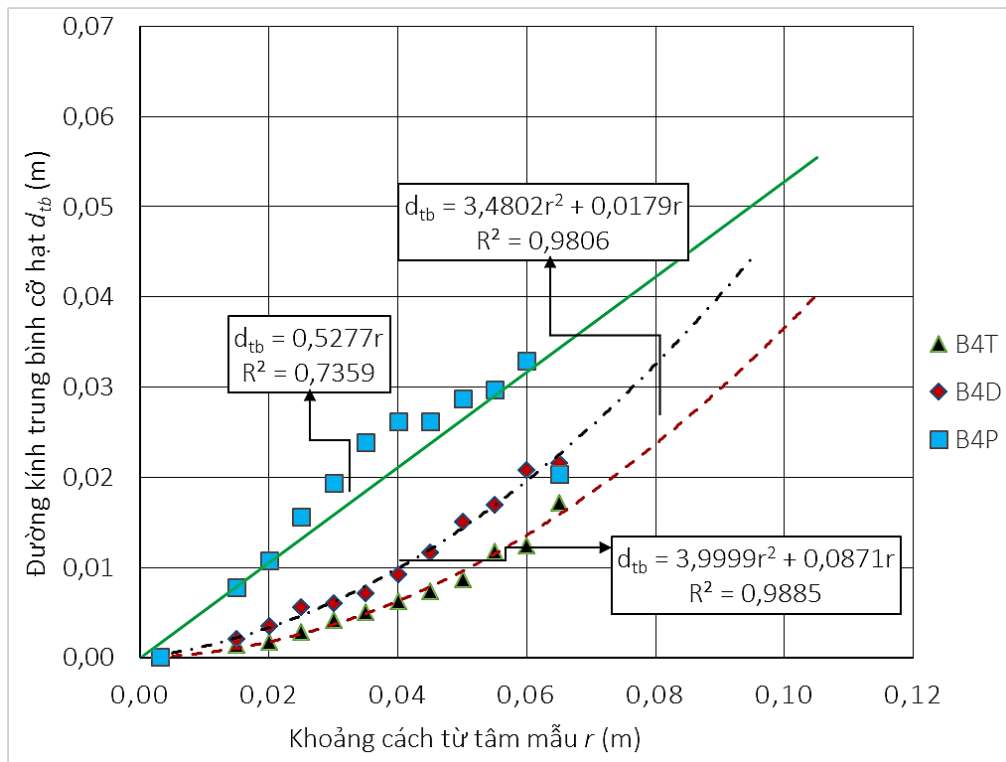
cách r đối với 3 dạng lượng nổ là tập trung, dài, dạng phẳng nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ, xây dựng được đồ thị so sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đối với quy luật này như các hình 5.6, hình 5.7, hình 5.8.



Hình 5.6. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách ($Q = 4,8$ g)



Hình 5.7. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách ($Q = 7,2$ g)



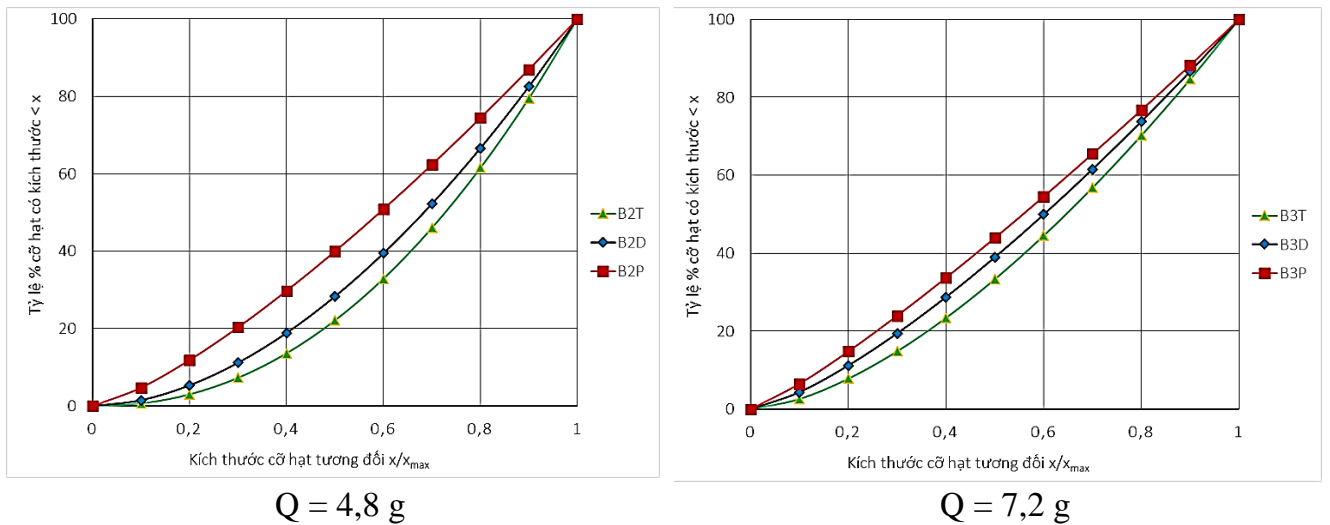
Hình 5.8. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nỗ đến quy luật thay đổi d_{tb} theo khoảng cách ($Q = 9,6$ g)

Nhận xét: Từ các đồ thị so sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nỗ đến quy luật thay đổi kích thước trung bình cỡ hạt theo khoảng cách khi nỗ trong môi trường vô hạn và môi trường có mặt thoáng phụ nhận thấy kích thước trung bình cỡ hạt của các dạng lượng nỗ khác nhau đều tuân theo quy luật là tăng dần khi ở khoảng cách càng xa tâm nỗ và ngược lại, tuy nhiên sự ảnh hưởng của các dạng lượng nỗ đến quy luật này cũng có sự khác nhau. Khi sử dụng lượng nỗ tập trung thì quy luật thay đổi kích thước trung bình cỡ hạt theo khoảng cách tuân theo quy luật của hàm số bậc ba, đối với lượng nỗ dài là hàm bậc hai, còn đối với lượng nỗ dạng phẳng là hàm bậc một. Ở phạm vi gần tâm nỗ thì ảnh hưởng của các dạng lượng nỗ đến quy luật thay đổi khoảng cách là không đáng kể, nhưng khi ở xa tâm nỗ thì sự ảnh hưởng càng thể hiện rõ ràng hơn.

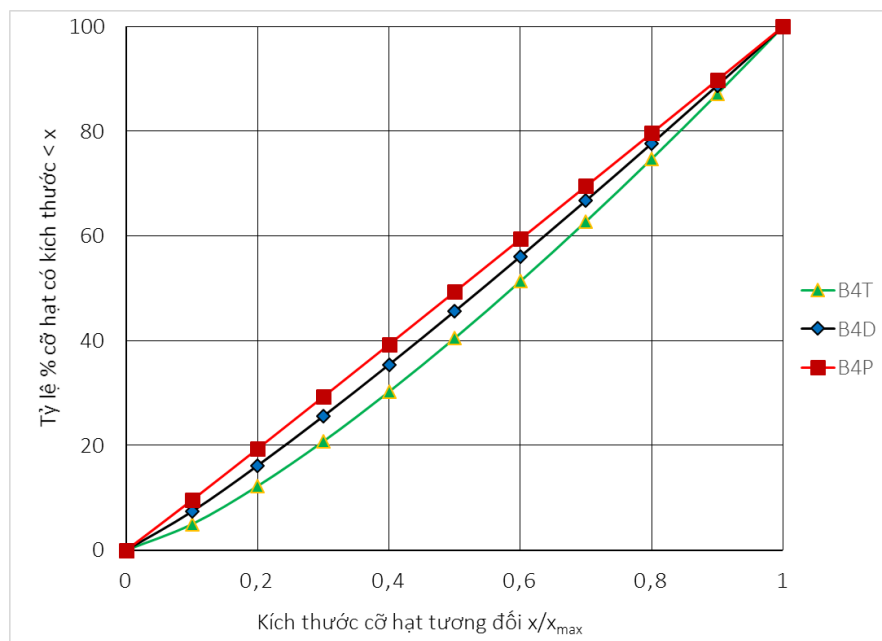
b) So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nỗ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$

Dựa trên các kết quả thiết lập các công thức thực nghiệm về $P_{(x)}$, xây dựng

các đồ thị mô tả quy luật phân bố $P_{(x)}$ như trong hình 5.9, hình 5.10.



Hình 5.9. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$
($Q = 4,8 \text{ g}$ và $Q = 7,2 \text{ g}$)



Hình 5.10. So sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$
($Q = 9,6 \text{ g}$)

Nhận xét: Từ đồ thị so sánh ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố $P_{(x)}$ khi nổ trong môi trường vô hạn và môi trường có mặt thoáng phụ nhận thấy rằng quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ với các chỉ tiêu thuốc nổ khác nhau của các dạng lượng nổ khác nhau đều có dạng tổng

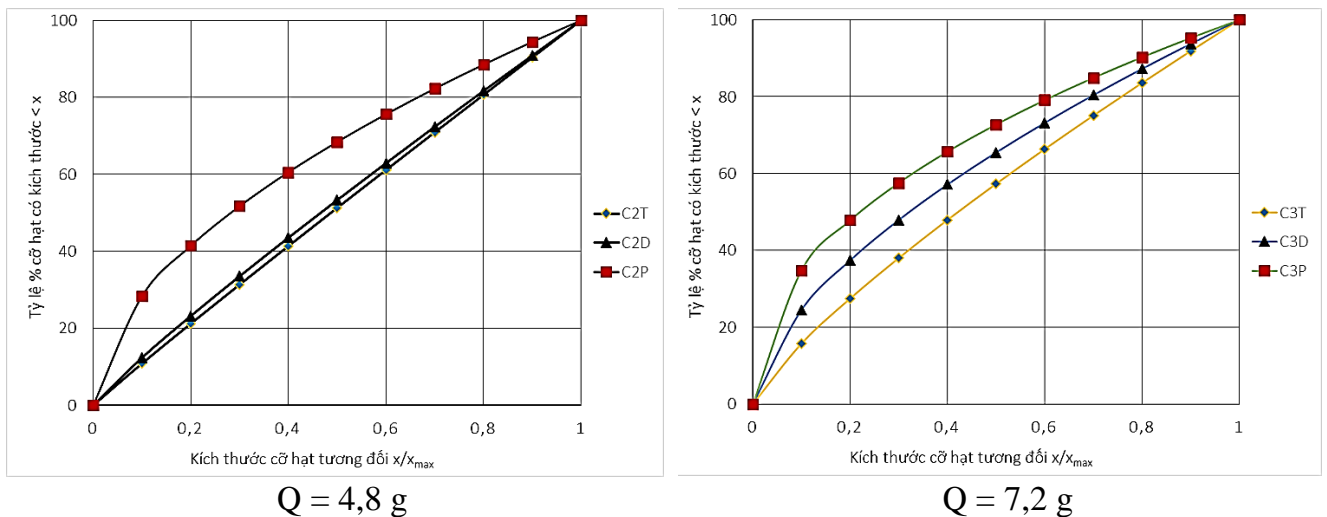
quát tuân theo phương trình (2.21) của Goden – Andrep:

$$P_{(x)} = \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^m$$

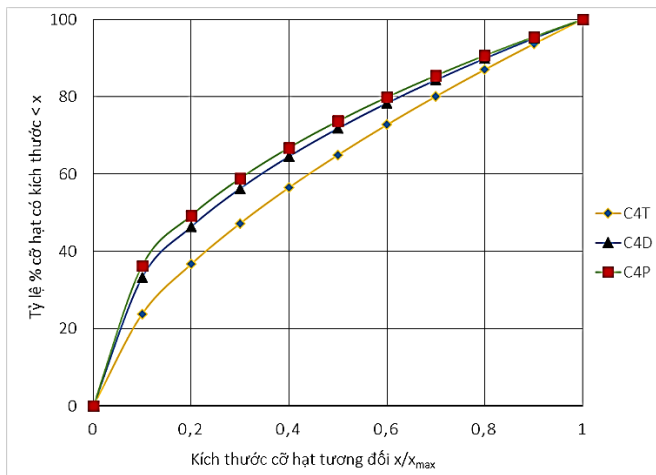
Trong các thí nghiệm này, các mẫu được nổ trong môi trường không có mặt thoáng và có mặt thoáng phụ, sử dụng lượng nổ nhỏ nên hệ số $m > 1$, tương ứng với trường hợp đất đá khó nổ của đồ thị hình 2.2. Đồ thị trên cũng cho thấy rằng lượng nổ tập trung có hệ số m lớn nhất, sau đó đến lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng có hệ số m nhỏ nhất. Điều đó cho thấy rằng khi cùng sử dụng một khối lượng thuốc nổ thì lượng nổ dạng phẳng sẽ có MĐDVĐĐ lớn hơn, hiệu quả đập vỡ tốt hơn so với lượng nổ dài và lượng nổ tập trung.

5.1.2.3. Nổ trong môi trường hữu hạn (5 mặt thoáng)

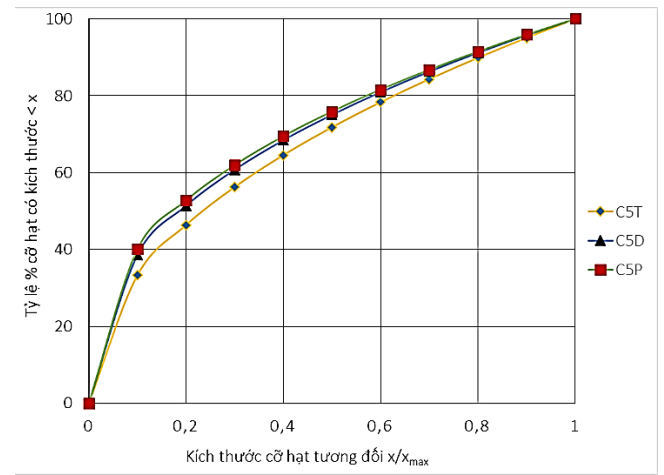
Dựa trên các phương trình về quy luật phân bố $P_{(x)}$ theo kích thước cỡ hạt tương đối x/x_{\max} của các dạng lượng nổ đã được thiết lập trong chương 4, xây dựng các đồ thị so sánh hiệu quả khi cùng sử dụng một khối lượng thuốc nổ với các dạng lượng nổ khác nhau như sau:



Hình 5.11. So sánh $P_{(x)}$ của các dạng lượng nổ khác nhau khi cùng khối lượng thuốc nổ $Q = 4,8 \text{ g}$ và $Q = 7,2 \text{ g}$.

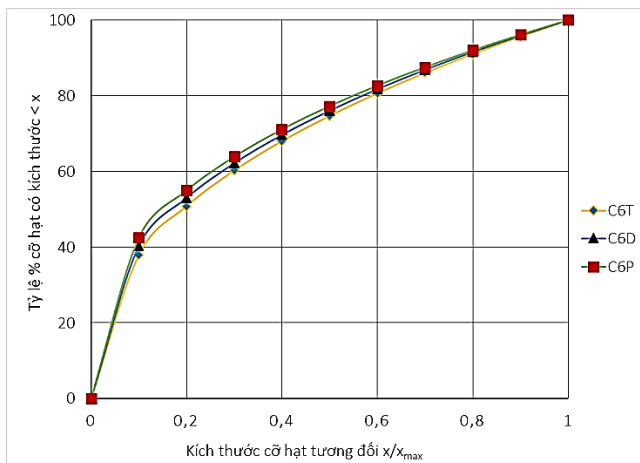


$Q = 9,6 \text{ g}$

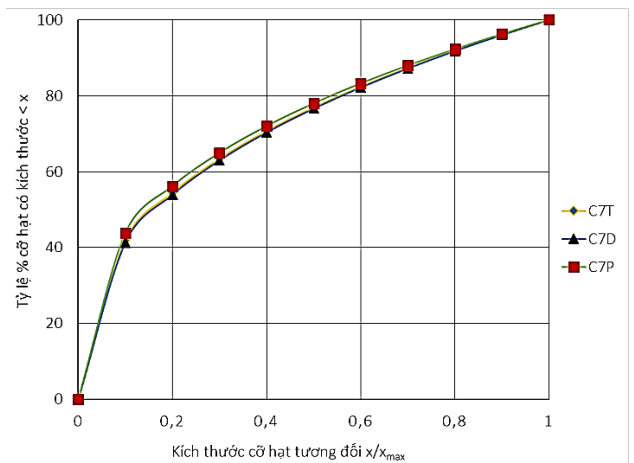


$Q = 12 \text{ g}$

Hình 5.12. So sánh $P_{(x)}$ của các dạng lượng nổ khác nhau khi cùng khối lượng thuốc nổ $Q = 9,6 \text{ g}$ và $Q = 12 \text{ g}$.



$Q = 14,4 \text{ g}$



$Q = 16,8 \text{ g}$

Hình 5.13. So sánh $P_{(x)}$ của các dạng lượng nổ khác nhau khi cùng khối lượng thuốc nổ $Q = 14,4 \text{ g}$ và $Q = 16,8 \text{ g}$.

Từ các đồ thị trên, có nhận xét rằng khi nổ trong môi trường có mặt thoáng thì hệ số m trong bài thí nghiệm này luôn < 1 , các đường cong quy luật phân bố cỡ hạt đều có dạng của trường hợp 1 (tương ứng với đất đá dễ nổ) trên đồ thị hình 2.2. Cũng giống như trường hợp nổ không có mặt thoáng, các đường cong quy luật phân bố thành phần cỡ hạt của lượng nổ dạng phẳng khi sử dụng khối lượng thuốc nổ khác nhau đều nằm trên đường cong quy luật phân bố của lượng nổ dài và lượng nổ tập trung, tức là có hệ số m nhỏ hơn. Điều đó cho

thấy sử dụng lượng nổ dạng phẳng sẽ cho MĐĐVĐĐ tốt nhất, tiếp đến là lượng nổ dài, rồi đến lượng nổ tập trung. Khi sử dụng khối lượng thuốc nổ lớn, hay chỉ tiêu thuốc nổ lớn thì ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến quy luật phân bố thành phần cỡ hạt là không đáng kể, như trên hình 5.13 cho thấy điều đó. Trong trường hợp này do năng lượng tiêu hao cho việc phá hủy đất đá trở lên bão hòa nên ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ không đáng kể và ngược lại.

5.1.3. Thiết lập mối quan hệ giữa kích thước trung bình cỡ hạt và năng lượng của lượng nổ

Trong chương 4 đã xác định được kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu phụ thuộc vào chỉ tiêu thuốc nổ, giữa chỉ tiêu thuốc nổ q và năng lượng của lượng nổ E có mối liên hệ như sau:

$$E = q.V.Q_0 \text{ hay } q = \frac{E}{V.Q_0}$$

trong đó: V – là thể tích khối đất đá bị phá hủy (m^3);

Q_0 – Năng lượng riêng của lượng nổ (kJ/kg), với loại thuốc nổ sử dụng trong bài thí nghiệm thì $Q_0 = 5,8.10^3$ (kJ/kg).

Thay giá trị này vào biểu thức của năng lượng E thu được bảng kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu phụ thuộc vào năng lượng E .

Bảng 5.1. Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm khi nổ các lượng nổ khác nhau trong MTVH

Kích thước trung bình cỡ hạt (m)	Năng lượng của lượng nổ (kJ)		
	27,84	41,76	55,68
Lượng nổ tập trung	0,2210	0,1685	0,0685
Lượng nổ dài	0,1469	0,0700	0,0480
Lượng nổ dạng phẳng	0,0836	0,0475	0,0316

Bảng 5.2. Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm khi nổ các lượng nổ khác nhau trong MTMTP

Kích thước trung bình cỡ hạt (m)	Năng lượng của lượng nổ (kJ)		
	27,84	41,76	55,68
Lượng nổ tập trung	0,0878	0,0448	0,0338
Lượng nổ dài	0,0633	0,0380	0,0320
Lượng nổ dạng phẳng	0,0333	0,0303	0,0264

Bảng 5.3. Kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm khi nổ các lượng nổ khác nhau trong MTHH

Kích thước trung bình cỡ hạt (m)	Năng lượng của lượng nổ (kJ)					
	27,84	41,76	55,68	69,60	83,52	97,44
Lượng nổ tập trung	0,0542	0,0424	0,0392	0,0273	0,0243	0,0195
Lượng nổ dài	0,0477	0,0322	0,0283	0,0225	0,0211	0,0203
Lượng nổ dạng phẳng	0,0315	0,0275	0,0254	0,0241	0,0231	0,0220

Từ các số liệu trên xây dựng đồ thị về mối quan hệ giữa năng lượng của lượng nổ sử dụng và kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu thí nghiệm của các dạng lượng nổ khác nhau.

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, cho phép rút ra quy luật về sự phụ thuộc của kích thước trung bình cỡ hạt của mẫu sau nổ vào năng lượng tiêu tốn để phá hủy mẫu của các dạng lượng nổ khác nhau trong môi trường khác nhau như sau:

- Trong môi trường vô hạn:

$$+ \text{ Lượng nổ tập trung: } d_{tb}^t = 54,722E^{-1,623} ; R^2 = 0,8495 \quad (5.4)$$

$$+ \text{ Lượng nổ dài: } d_{tb}^d = 32,171E^{-1,627} ; R^2 = 0,9922 \quad (5.5)$$

+ Lượng nổ dạng phẳng: $d_{tb}^{dp} = 8,8352E^{-1,401}$; $R^2 = 0,99$ (5.6)

- Trong môi trường có mặt thoáng phụ:

+ Lượng nổ tập trung: $d_{tb}^{tt} = 8,7999E^{-1,395}$; $R^2 = 0,9818$ (5.7)

+ Lượng nổ dài: $d_{tb}^d = 1,7179E^{-1,002}$; $R^2 = 0,9683$ (5.8)

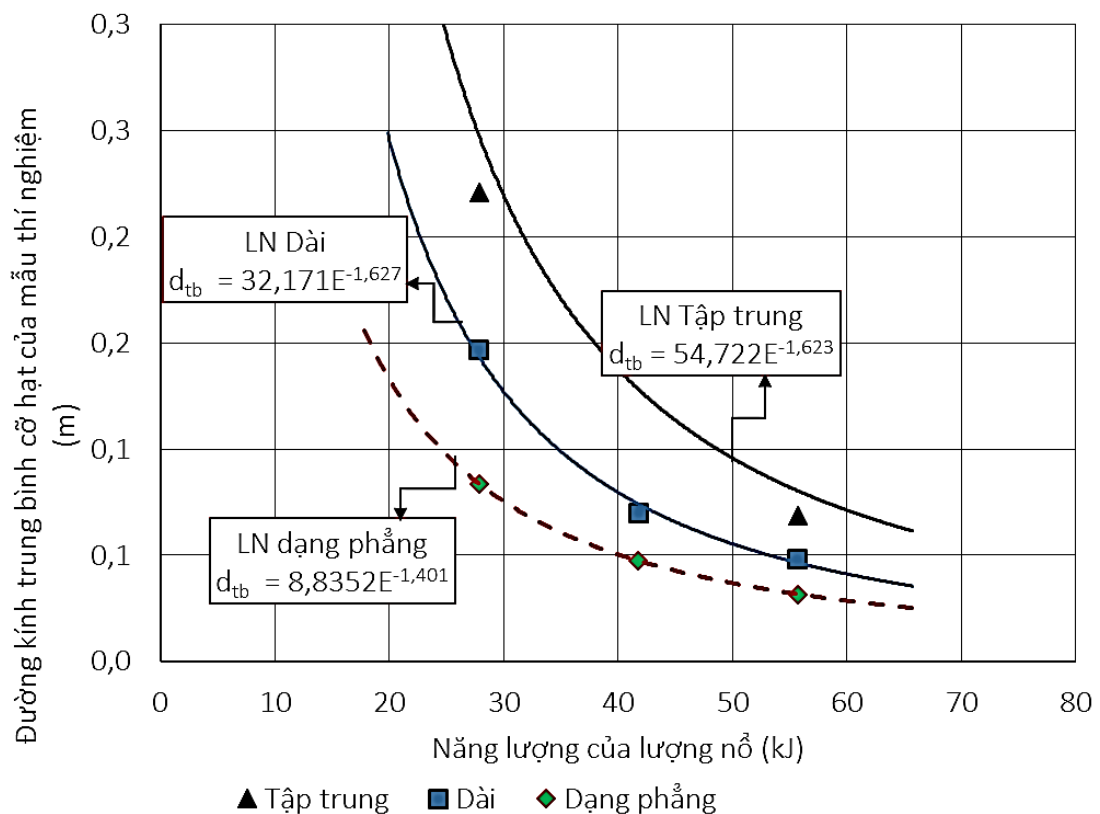
+ Lượng nổ dạng phẳng: $d_{tb}^{dp} = 0,1003E^{-0,328}$; $R^2 = 0,9593$ (5.9)

- Trong môi trường hữu hạn:

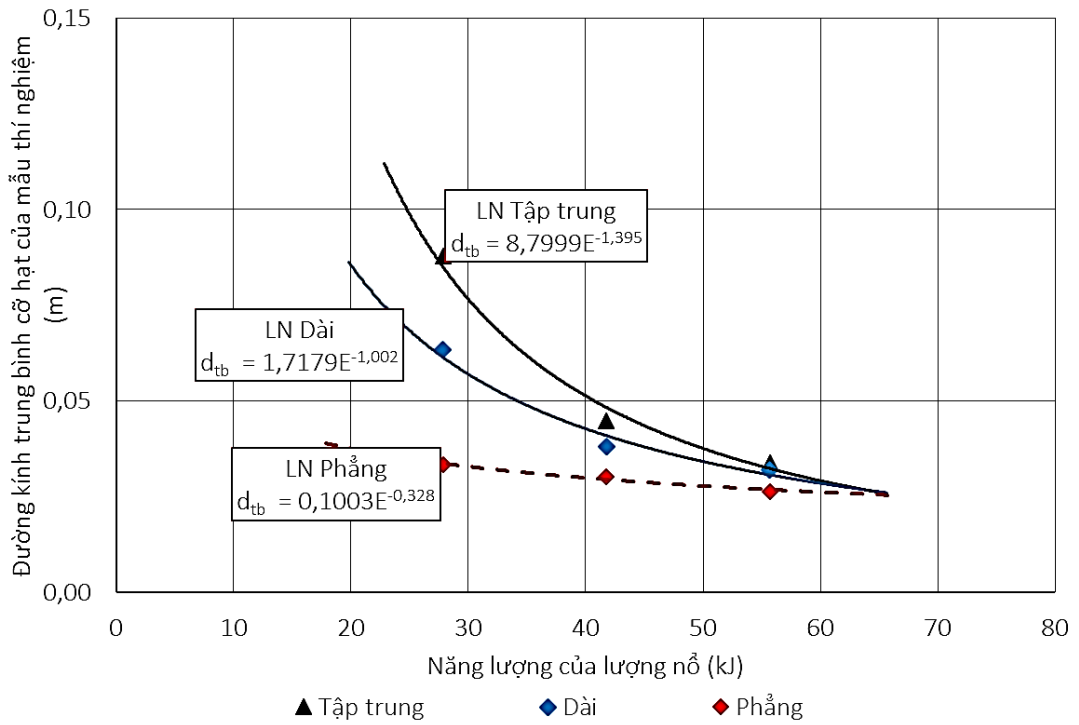
+ Lượng nổ tập trung : $d_{tb}^{tt} = 0,8534E^{-0,807}$; $R^2 = 0,9473$ (5.10)

+ Lượng nổ dài: $d_{tb}^d = 0,4509E^{-0,691}$; $R^2 = 0,9719$ (5.11)

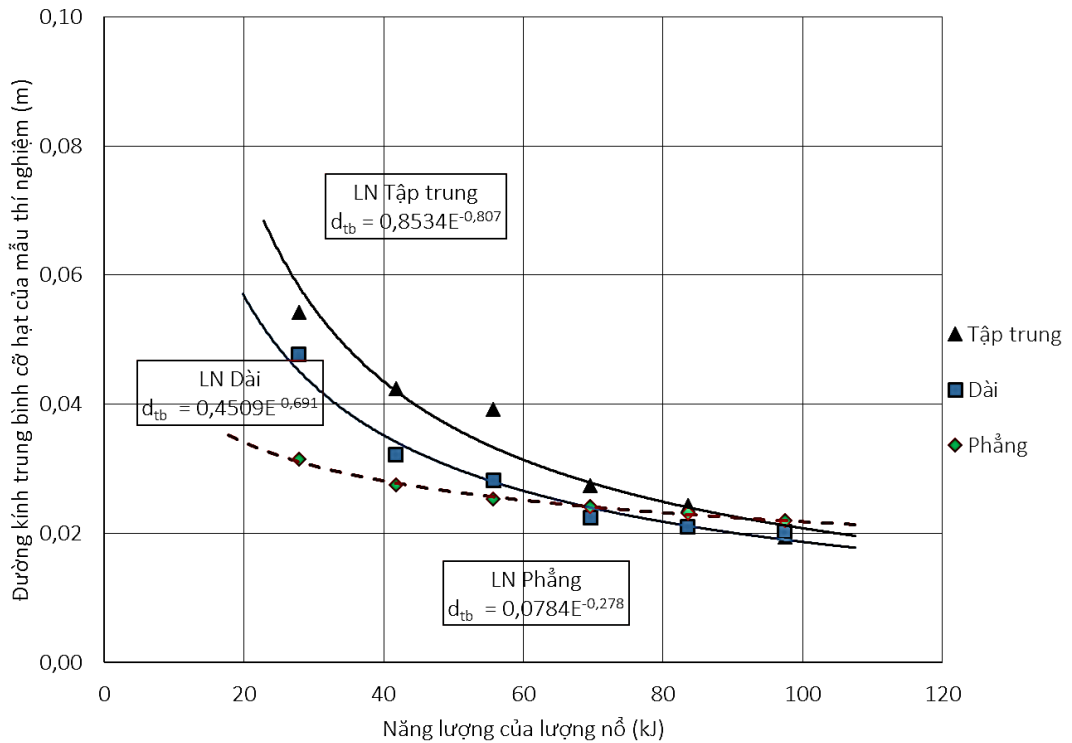
+ Lượng nổ dạng phẳng: $d_{tb}^{dp} = 0,0784E^{-0,278}$; $R^2 = 0,9947$ (5.12)



Hình 5.14. Sự phụ thuộc của d_{tb} vào năng lượng của lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau trong MTVH



Hình 5.15. Sự phụ thuộc d_{tb} vào năng lượng lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau trong MTMTP



Hình 5.16. Sự phụ thuộc của d_{tb} vào năng lượng của lượng nổ của các dạng lượng nổ khác nhau trong MTHH

Từ đồ thị hình 5.14, hình 5.16 nhận thấy miền năng lượng nổ hiệu quả cho đập vỡ đất đá đối với các mẫu trong bài thí nghiệm này nằm trong khoảng 25 – 60 kJ, khi nhỏ hơn mức năng lượng này kích thước cục đá sẽ rất lớn hoặc bằng kích thước mẫu thí nghiệm. Ngoài ra ở mức năng lượng nhỏ hơn này thì năng lượng nổ gây biến dạng tương đối không đủ đạt đến giá trị tới hạn để gây phá hủy vật liệu mẫu thí nghiệm. Khi mức năng lượng càng lớn thì MĐDVĐĐ đối với cả ba dạng lượng nổ gần như bằng nhau. Năng lượng cho đập vỡ đất đá đạt tới trạng thái bão hòa, phần năng lượng dư thừa sẽ sinh công vô ích như làm văng cục đá, chuyển thành sóng xung kích, sinh nhiệt... Để đánh giá ảnh hưởng của các dạng lượng nổ đến mối quan hệ giữa kích thước trung bình cỡ hạt và năng lượng nổ, cần tìm ra hệ số so sánh kích thước trung bình cỡ hạt của các dạng lượng nổ này, trong đó lấy kích thước trung bình cỡ hạt của lượng nổ dài làm chuẩn để so sánh với các dạng lượng nổ khác, có dạng như sau:

$$d_{tb} = k_{hd} \cdot d_{tb}^d \quad (5.13)$$

trong đó: k_{hd} là hệ số phụ thuộc vào hình dạng của lượng nổ.

Kí hiệu $E_1 = 25$ kJ là mức giới hạn năng lượng thấp nhất, $E_2 = 60$ kJ là mức năng lượng cao nhất trong miền năng lượng nổ hiệu quả. Giá trị trung bình của hệ số k_{hd} phụ thuộc vào hình dạng của lượng nổ trong miền (E_1, E_2) được xác định như sau:

+ Đối với lượng nổ dài: $k_{hd}^d = 1$

+ Đối với lượng nổ tập trung:

$$k_{hd}^{tt} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{tt}(E) dE}{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^d(E) dE} \quad (5.14)$$

$$+ \text{Đối với lượng nổ dạng phẳng: } k_{hd}^p = \frac{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{dp}(E)dE}{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^d(E)dE} \quad (5.15)$$

Thay các hàm số kích thước trung bình cỡ hạt từ (5.4) đến (5.12), giá trị E_1, E_2 vào các phương trình (5.14) và (5.15) thu được:

- Trong môi trường vô hạn:

$$+ \text{Lượng nổ tập trung: } k_{hd}^{tt} = \frac{54,722 \cdot -1,6051 \cdot E^{-0,623} \Big|_{25}^{60}}{32,171 \cdot -1,5949 \cdot E^{-0,627} \Big|_{25}^{60}} = 1,726 \quad (5.16)$$

$$+ \text{Lượng nổ dạng phẳng: } k_{hd}^{dp} = \frac{8,8352 \cdot -2,4938 \cdot E^{0,401} \Big|_{25}^{60}}{32,171 \cdot -1,5949 \cdot E^{-0,627} \Big|_{25}^{60}} = 0,623 \quad (5.17)$$

- Trong môi trường có mặt thoáng phụ:

$$+ \text{Lượng nổ tập trung: } k_{hd}^{tt} = \frac{8,7999 \cdot -2,5317 \cdot E^{-0,395} \Big|_{25}^{60}}{1,7179 \cdot -500 \cdot E^{-0,002} \Big|_{25}^{60}} = 1,223 \quad (5.18)$$

$$+ \text{Lượng nổ dạng phẳng: } k_{hd}^{dp} = \frac{0,1003 \cdot 1,4881 \cdot E^{0,672} \Big|_{25}^{60}}{1,7179 \cdot -500 \cdot E^{-0,002} \Big|_{25}^{60}} = 0,696 \quad (5.19)$$

- Trong môi trường hữu hạn:

$$+ \text{Lượng nổ tập trung: } k_{hd}^{tt} = \frac{0,8534 \cdot 5,1813 \cdot E^{0,193} \Big|_{25}^{60}}{0,4509 \cdot 3,2362 \cdot E^{0,309} \Big|_{25}^{60}} = 1,236 \quad (5.20)$$

$$+ \text{Lượng nổ dạng phẳng: } k_{hd}^{dp} = \frac{0,0784 \cdot 1,385 \cdot E^{0,722} \Big|_{25}^{60}}{0,4509 \cdot 3,2362 \cdot E^{0,309} \Big|_{25}^{60}} = 0,798 \quad (5.21)$$

Gọi $k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{21}, k_{22}, k_{23}$ lần lượt là hệ số kể đến ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng đến kích thước trung bình cỡ hạt của các dạng lượng nổ tập trung, lượng nổ dài, lượng nổ dạng phẳng trong miền hiệu quả của năng lượng nổ cho đập vỡ đất đá giữa môi trường có mặt thoáng phụ với môi trường vô

hạn và môi trường hữu hạn với môi trường vô hạn, xác định như sau:

$$k_{11} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{tt-mtp}(E)dE}{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{tt-vh}(E)dE}; k_{12} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{d-mtp}(E)dE}{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{d-vh}(E)dE}; k_{13} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{dp-mtp}(E)dE}{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{dp-vh}(E)dE}; \quad (5.22)$$

$$k_{21} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{tt-hh}(E)dE}{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{tt-vh}(E)dE}; k_{22} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{d-hh}(E)dE}{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{d-vh}(E)dE}; k_{23} = \frac{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{dp-hh}(E)dE}{\int_{E_1}^{E_2} d_{tb}^{dp-vh}(E)dE} \quad (5.23)$$

Ở đây: *hh*, *mtp*, *vh* lần lượt là kí hiệu cho các công thức được thiết lập trong môi trường hữu hạn, môi trường có mặt thoáng phụ và môi trường vô hạn. Thay số vào thu được:

$$k_{11} = \frac{8,7999. - 2,5317.E^{-0,395} \Big|_{25}^{60}}{54,722. - 1,6051.E^{-0,623} \Big|_{25}^{60}} = 0,367 \quad (5.24)$$

$$k_{12} = \frac{1,7179. - 500.E^{-0,002} \Big|_{25}^{60}}{32,171. - 1,5949.E^{-0,627} \Big|_{25}^{60}} = 0,518 \quad (5.25)$$

$$k_{13} = \frac{0,1003.1,4881.E^{0,672} \Big|_{25}^{60}}{8,8352. - 2,4938.E^{0,401} \Big|_{25}^{60}} = 0,579 \quad (5.26)$$

$$k_{21} = \frac{0,8534.5,1813.E^{0,193} \Big|_{25}^{60}}{54,722. - 1,6051.E^{-0,623} \Big|_{25}^{60}} = 0,305 \quad (5.27)$$

$$k_{22} = \frac{0,4509.3,2362.E^{0,309} \Big|_{25}^{60}}{32,171. - 1,5949.E^{-0,627} \Big|_{25}^{60}} = 0,426 \quad (5.28)$$

$$k_{23} = \frac{0,0784.1,385.E^{0,722} \Big|_{25}^{60}}{8,8352. - 2,4938.E^{0,401} \Big|_{25}^{60}} = 0,545 \quad (5.29)$$

Từ kết quả trên có nhận xét rằng hệ số kể đến ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng k_{1i} , k_{2i} ($i=1, 2, 3$) đến kích thước trung bình cỡ hạt của lượng nổ tập trung là lớn nhất, rồi đến lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng nhỏ nhất. Điều đó cho thấy mặt thoáng có ảnh hưởng đến MĐĐVĐĐ của lượng nổ tập trung là lớn nhất, tiếp theo là lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng. Từ đó đưa ra khuyến cáo khi tiến hành vụ nổ trong điều kiện bí mặt thoáng hoặc không có mặt thoáng thì nên bố trí lượng nổ ở dạng phẳng để đạt MĐĐVĐĐ cao nhất và nâng cao hiệu quả sử dụng lượng nổ tối ưu.

5.2. Phương pháp xác định hàm dự đoán thành phần kích cỡ hạt sau nổ

5.2.1. Xác định các hằng số thực nghiệm từ các kết quả thí nghiệm

Trong thực tế công tác nổ, việc đo đạc lấy số liệu các thành phần hạt ngoài thực tế cần một chi phí lớn và tốn nhiều công sức. Vì vậy cần thiết phải xác định các hàm dự đoán thành phần cỡ hạt. Đối với đất đá đập vỡ bình thường, phương trình đập vỡ có dạng như (2.18), trong đó các hằng số ϕ , ψ này được xác định bằng thực nghiệm. Để xác định các hằng số này, sử dụng kết quả 2 thí nghiệm xác định MĐĐVĐĐ và áp dụng công thức sau:

$$\phi = \frac{1}{x_0(E_{c1} - E_{c2})} \ln \frac{1 - P_2(x_0)}{1 - P_1(x_0)}; \psi = \frac{1}{x_0(E_{c1} - E_{c2})} \ln \frac{[1 - P_1(x_0)]^{E_{c2}}}{[1 - P_2(x_0)]^{E_{c1}}} \quad (5.30)$$

trong đó: E_{c1} , E_{c2} là suất tiêu hao năng lượng tương ứng dùng trong thí nghiệm đập vỡ đất đá.

Sử dụng các kết quả thí nghiệm với mô hình mẫu thí nghiệm loại C (phù hợp với đất đá dễ đập vỡ) trong bảng 4.2, bảng 4.3, bảng 4.4 để xác định các hằng số thực nghiệm. Chọn $x_0 = 0,045$ m, $E_{c1} = 5,22$ MJ/m³ (tương ứng $q = 0,9$ kg/m³), $E_{c2} = 10,44$ MJ/m³ (tương ứng $q = 1,8$ kg/m³) hoặc $E_{c2} = 12,18$ MJ/m³ (tương ứng $q = 2,1$ kg/m³). Kết quả tính toán xác định các hằng số thực nghiệm với 3 loại lượng nổ được thể hiện trong bảng 5.4.

Bảng 5.4. Xác định các hằng số thực nghiệm

Thông số	ĐVT	Lượng nổ tập trung	Lượng nổ dài	Lượng nổ dạng phẳng
E_{c1}	MJ/m ³	5,22	5,22	5,22
E_{c2}	MJ/m ³	10,44	12,18	10,44
x_0	m	0,045	0,045	0,045
$P_1(x_0)$		0,566	0,74	0,816
$P_2(x_0)$		0,838	0,906	0,864
ϕ		$4,195 \cdot 10^{-6}$	$3,248 \cdot 10^{-6}$	$1,286 \cdot 10^{-6}$
ψ		-3,350	12,979	30,901

5.2.2. Dự đoán thành phần kích cỡ hạt và so sánh với kết quả thực nghiệm

Với các hằng số đã xác định được, áp dụng công thức (2.18) phương trình xác định thành phần cỡ hạt của các dạng lượng nổ như sau:

$$+ \text{Lượng nổ tập trung: } P_{(x)} = 1 - e^{-(4,195 \cdot 10^{-6} E_c - 3,35)x} \quad (5.31)$$

$$+ \text{Lượng nổ dài: } P_{(x)} = 1 - e^{-(3,248 \cdot 10^{-6} E_c + 12,979)x} \quad (5.32)$$

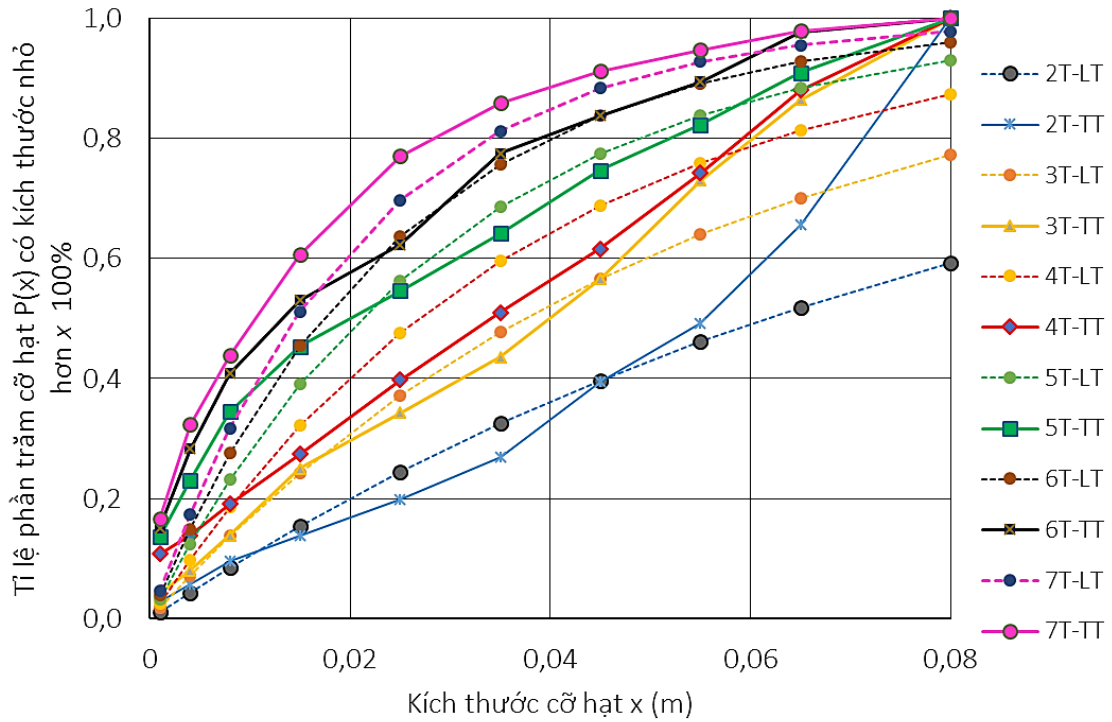
$$+ \text{Lượng nổ dạng phẳng: } P_{(x)} = 1 - e^{-(1,286 \cdot 10^{-6} E_c + 30,901)x} \quad (5.33)$$

trong đó: E_c là suất tiêu hao năng lượng dùng để phá vỡ đất đá.

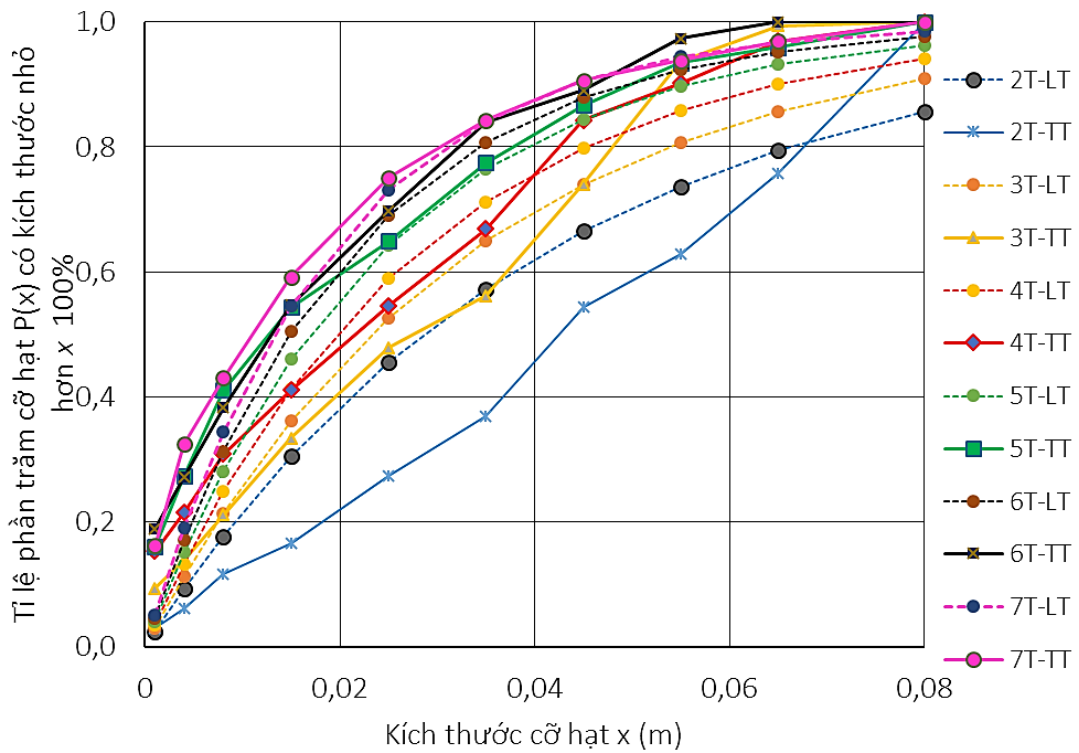
Từ các công thức (5.31), (5.32), (5.33) kết hợp với các bảng số liệu xác định tỉ lệ phần trăm cỡ hạt khi nổ các mẫu thí nghiệm thực tế bảng 4.2, bảng 4.3, bảng 4.4 xây dựng được bảng PL. 23, bảng PL. 24, bảng PL. 25 và các đồ thị hình 5.17, hình 5.18, hình 5.19 so sánh tỉ lệ phần trăm cỡ hạt giữa lý thuyết dự đoán và thực tế của các dạng lượng nổ.

Để tính kích thước trung bình cỡ hạt theo lý thuyết xác suất năng lượng, sử dụng công thức sau [63]:

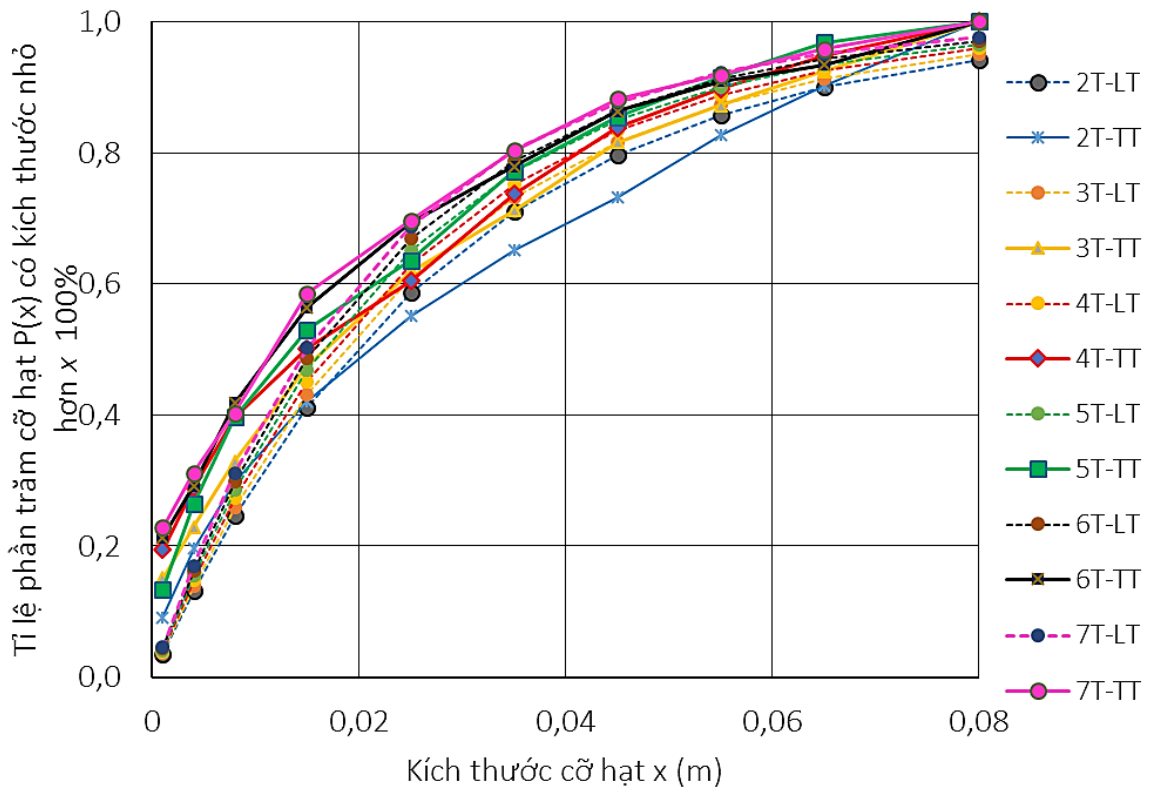
$$d_{tb}^{LT} = \frac{1}{\phi E_c + \psi} \quad (5.34)$$



Hình 5.17. Đồ thị so sánh $P_{(x)}$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được với lượng nổ tập trung



Hình 5.18. Đồ thị so sánh $P_{(x)}$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được với lượng nổ dài



Hình 5.19. Đồ thị so sánh $P(x)$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được với lượng nổ dạng phẳng

Kết hợp bảng kết quả thí nghiệm xác định kích thước trung bình cỡ hạt thực tế bảng 4.1, so sánh với kết quả dự đoán kích thước trung bình cỡ hạt theo lý thuyết thu được các bảng so sánh bảng 5.5, bảng 5.6, bảng 5.7.

Bảng 5.5. So sánh d_{tb} giữa lý thuyết và thực tế với mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ tập trung

Suất tiêu hao năng lượng (J/m^3)	$3,48 \cdot 10^6$	$5,22 \cdot 10^6$	$6,96 \cdot 10^6$	$8,70 \cdot 10^6$	$10,44 \cdot 10^6$	$12,18 \cdot 10^6$
$\phi E_c + \psi$	11,25	18,55	25,85	33,15	40,45	47,75
d_{tb} cỡ hạt (m) (Dự đoán)	0,0889	0,0539	0,0387	0,0302	0,0247	0,0209
d_{tb} cỡ hạt (m) (Thực tế)	0,0542	0,0424	0,0392	0,0273	0,0243	0,0195
Sai số thực tế so với dự đoán	39,0%	21,4%	1,2%	9,4%	1,8%	7,1%

Bảng 5.6. So sánh d_{tb} giữa lý thuyết và thực tế với mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dài

Suất tiêu hao năng lượng (J/m^3)	$3,48.10^6$	$5,22.10^6$	$6,96.10^6$	$8,70.10^6$	$10,44.10^6$	$12,18.10^6$
$\phi E_{c+\psi}$	24,28	29,93	35,59	41,24	46,89	52,54
d_{tb} cỡ hạt (m) (Dự đoán)	0,0412	0,0334	0,0281	0,0242	0,0213	0,0190
d_{tb} cỡ hạt (m) (Thực tế)	0,0477	0,0322	0,0283	0,0225	0,0211	0,0203
Sai số thực tế so với dự đoán	15,8%	3,5%	0,5%	7,4%	1,3%	6,7%

Bảng 5.7. So sánh d_{tb} giữa lý thuyết và thực tế với mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dạng phẳng

Suất tiêu hao năng lượng (J/m^3)	$3,48.10^6$	$5,22.10^6$	$6,96.10^6$	$8,70.10^6$	$10,44.10^6$	$12,18.10^6$
$\phi E_{c+\psi}$	35,38	37,62	39,86	42,10	44,34	46,57
d_{tb} cỡ hạt (m) (Dự đoán)	0,0283	0,0266	0,0251	0,0238	0,0226	0,0215
d_{tb} cỡ hạt (m) (Thực tế)	0,0315	0,0275	0,0254	0,0241	0,0231	0,0220
Sai số thực tế so với dự đoán	11,3%	3,4%	1,2%	1,5%	2,5%	2,4%

Nhận xét:

Các bảng và đồ thị so sánh $P_{(x)}$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế của các dạng lượng nổ đã cho thấy sự tương đối phù hợp giữa kết quả nghiên cứu lý thuyết và kết quả thực nghiệm. Với đất đá càng dễ đập vỡ hay sử dụng suất tiêu hao năng lượng lớn (chỉ tiêu thuộc nổ lớn) thì các đường đồ thị biểu diễn tỉ lệ phần trăm cỡ hạt thực nghiệm càng gần với đường đồ thị được xây dựng từ lý thuyết dự đoán. Xét trên khía cạnh hiệu quả sử dụng năng lượng nổ thì lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng cho hiệu quả cao hơn lượng nổ tập trung khi có đường cong lý thuyết và đường cong thực nghiệm tương đối gần nhau hơn, tức

là đất đá dễ đập vỡ hơn.

Từ các bảng so sánh kích thước trung bình cỡ hạt thu được giữa lý thuyết và thực nghiệm cho thấy khi sử dụng suất tiêu hao năng lượng lớn hay đất đá dễ đập vỡ thì kết quả tương đối phù hợp. Với lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng sai số khi sử dụng các suất tiêu hao năng lượng khác nhau trong kết quả thực nghiệm không quá 15,8%. Với lượng nổ tập trung ở mức năng lượng thấp hơn 5,22 MJ/m³ thì dẫn đến sai số lớn hơn 21,4%. Như vậy kích thước cỡ hạt trung bình dự đoán sẽ phù hợp với thực tế khi đất đá càng dễ nổ, điều này chỉ ra độ tin cậy của phương pháp dự đoán thành phần cỡ hạt đá sau nổ. Với đất đá khó nổ cần có thêm các hệ số điều chỉnh khác.

5.3. Đề xuất phương pháp tính toán kích thước trung bình cỡ hạt phụ thuộc vào dạng lượng nổ, chỉ tiêu thuốc nổ, loại môi trường nổ

Từ các nghiên cứu ở trên cho phép rút ra các hệ số thực nghiệm để điều chỉnh kích thước trung bình cỡ hạt giữa các dạng lượng nổ khác nhau khi tiến hành nổ trong các môi trường khác nhau. Trong trường hợp tổng quát, công thức tính kích thước trung bình cỡ hạt khi nổ một lượng nổ sẽ có dạng sau:

$$d_{tb} = k_i f(E) \quad (5.35)$$

trong đó:

k_i – là các hệ số điều chỉnh khi sử dụng các dạng lượng nổ khác nhau hoặc nổ trong môi trường nổ khác nhau;

$f(E)$ – hàm số thực nghiệm của biến số E_c (năng lượng của lượng nổ sử dụng), được xác định theo công thức (5.34).

Nếu chỉ xét đến ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ và điều kiện mặt thoáng thì công thức (5.35) có thể viết lại như sau:

$$d_{tb} = k_{hd} \cdot k_{mt} \cdot \frac{1}{\phi E_c + \psi} \quad (5.36)$$

trong đó:

k_{hd} – hệ số phụ thuộc hình dạng lượng nổ;

k_{mt} – hệ số phụ thuộc điều kiện mặt thoáng của môi trường nở;

ϕ, ψ – các hằng số được xác định từ thực nghiệm.

Để xác định k_{hd} , lấy kích thước trung bình cỡ hạt của lượng nở dài làm chuẩn với hệ số điều chỉnh bằng 1, khi đó hệ số điều chỉnh các lượng nở còn lại khi nở trong các điều kiện môi trường khác nhau như bảng 5.8.

Bảng 5.8. Hệ số kể đến ảnh hưởng của hình dạng lượng nở k_{hd} đến d_{tb}

Dạng lượng nở	Nở trong môi trường vô hạn	Nở trong môi trường có mặt thoáng phụ	Nở trong môi trường hữu hạn
Tập trung	1,726	1,223	1,236
Dài	1,000	1,000	1,000
Dạng phẳng	0,623	0,696	0,798

Để xác định k_{mt} , lấy kích thước trung bình cỡ hạt của các lượng nở khi nở trong môi trường vô hạn làm chuẩn với hệ số điều chỉnh bằng 1, khi đó hệ số điều chỉnh các lượng nở khi nở trong các điều kiện môi trường khác nhau như bảng 5.9.

Bảng 5.9. Hệ số kể đến ảnh hưởng của điều kiện môi trường nở k_{mt} đến d_{tb}

Dạng lượng nở	Nở trong môi trường vô hạn	Nở trong môi trường có mặt thoáng phụ	Nở trong môi trường hữu hạn
Tập trung	1,000	0,367	0,305
Dài	1,000	0,518	0,426
Dạng phẳng	1,000	0,580	0,545

Khi xét đến ảnh hưởng đồng thời của dạng lượng nở và điều kiện môi trường nở, hệ số tổng hợp k_i ($i=1\div 9$) xác định theo bảng 5.10.

Bảng 5.10. Hệ số tổng hợp k_i kể đến ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ và điều kiện môi trường nổ đến d_{tb}

Dạng lượng nổ	Nổ trong môi trường vô hạn	Nổ trong môi trường có mặt thoáng phụ	Nổ trong môi trường hữu hạn
Tập trung	1,726	0,634	0,526
Dài	1,000	0,518	0,426
Dạng phẳng	0,623	0,361	0,340

Như vậy kết hợp công thức thực nghiệm (5.34) và các hệ số k_i trong bảng 5.10 đưa ra công thức tổng quát tính kích thước trung bình cỡ hạt khi kể đến ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ và điều kiện môi trường nổ như sau:

$$d_{tb} = k_i \cdot \frac{1}{\phi E_c + \psi} \quad (5.37)$$

trong đó:

k_i – hệ số kể đến ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ và điều kiện môi trường nổ, được nội suy từ giá trị tương ứng với 1 trong 9 giá trị trong bảng 5.10;

ϕ, ψ – các hằng số được xác định từ thực nghiệm.

5.4. Kết luận Chương 5

Các kết quả nghiên cứu từ thí nghiệm nổ thực tế trên mô hình thu nhỏ đã cho cái nhìn tổng quan về sự phân bố trường năng lượng nổ trong môi trường của các dạng lượng nổ khác nhau. Từ các quy luật thực nghiệm thu được đã rút ra các công thức tính kích thước trung bình cỡ hạt của các dạng lượng nổ khác nhau phụ thuộc theo khoảng cách tính từ tâm lượng nổ. Mặt khác kích thước trung bình cỡ hạt lại phụ thuộc vào năng lượng của vụ nổ hay chỉ tiêu thuốc nổ, do đó các công thức này cũng xác định được quy luật phân bố năng lượng nổ trong môi trường theo khoảng cách từ tâm nổ.

Các đồ thị mô tả quy luật phân bố năng lượng nổ trong môi trường khi nổ các dạng lượng nổ khác nhau đã cho thấy rằng lượng nổ tập trung có mức độ suy giảm năng lượng theo khoảng cách từ tâm nổ là lớn nhất, tiếp đó đến lượng nổ dài và lượng nổ dạng phẳng. Vì kích thước trung bình cỡ hạt lại phụ thuộc mức năng lượng mà nó nhận được nên nếu mật độ năng lượng trong môi trường càng cân bằng thì cỡ hạt phá ra cũng đồng đều hơn. Điều đó cho thấy rằng để có được cỡ hạt đồng đều hơn trong khối đá phá ra thì cần bố trí lượng nổ ở dạng phẳng là tối ưu nhất, sau đó mới đến lượng nổ dài.

Các quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá theo kích thước cỡ hạt tương đối x/x_{max} đã cho thấy đường cong phân bố tỉ lệ phần trăm cỡ hạt của lượng nổ dạng phẳng luôn nằm phía trên đường cong phân bố cỡ hạt của lượng nổ dài và lượng nổ tập trung, chứng tỏ rằng lượng nổ dạng phẳng có mức độ cỡ hạt phân bố đồng đều hơn theo khoảng cách từ tâm nổ.

Các quy luật về sự phụ thuộc giữa kích thước trung bình cỡ hạt và khoảng cách tính từ tâm nổ đã cho thấy: lượng nổ dạng phẳng có sự thay đổi về kích thước trung bình cỡ hạt theo khoảng cách là ít nhất so với 2 loại lượng nổ còn lại là lượng nổ tập trung và lượng nổ dài, nó được thể hiện qua đồ thị khi quy luật thay đổi kích thước trung bình cỡ hạt của lượng nổ dạng phẳng là hàm bậc nhất, trong khi với lượng nổ dài là hàm bậc 2 và lượng nổ tập trung là hàm bậc 2 và 3 khi nổ trong cả 2 điều kiện môi trường là nổ trong môi trường nén (không có mặt thoáng) và nổ trong môi trường hữu hạn (có 5 mặt thoáng).

KẾT LUẬN CHUNG

Qua thời gian nghiên cứu lý thuyết, nghiên cứu thực nghiệm với mô hình thu nhỏ, sử dụng lượng nổ nhỏ và nghiên cứu thực nghiệm thực tế ngoài công trường, luận án đã thu được những kết quả mới là:

1. Nghiên cứu lý thuyết, xây dựng chương trình tính toán khảo sát trường năng lượng nổ xung quanh lượng nổ dạng phẳng trong môi trường đất đá vô hạn theo lý thuyết thủy động lực học nổ. Kết quả của chương trình:

+ Đã khảo sát trường thế tốc độ và trường năng lượng nổ của các dạng lượng nổ: lượng nổ tập trung, lượng nổ dài, lượng nổ phẳng và lượng nổ dạng phẳng, từ đó làm căn cứ lựa chọn dạng lượng nổ tối ưu cho mục đích phá hủy, đập vỡ đất đá.

+ Đã khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ khoảng cách tương đối l_0/d giữa các lượng nổ dài trong nhóm đến vùng phá hủy đất đá, từ đó đưa ra khuyến cáo lựa chọn khoảng cách hợp lý (từ $10d$ đến $25d$) tùy thuộc vào đường kính lượng nổ và môi trường đất đá dựa trên kết quả của chương trình nhằm tối ưu cho mục đích phá hủy, đập vỡ đất đá.

2. Đã thiết lập các quy luật thực nghiệm: sự phụ thuộc kích thước trung bình của cỡ hạt đá sau nổ vào chỉ tiêu thuốc nổ; sự phụ thuộc kích thước trung bình cục đá phá ra theo khoảng cách tính từ tâm nổ; sự phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ; sự phụ thuộc của MĐĐVĐĐ vào chỉ tiêu thuốc nổ của 3 dạng lượng nổ (tập trung, dài, dạng phẳng) với các điều kiện nổ trong môi trường vô hạn, có mặt thoáng phụ và hữu hạn.

3. So sánh, đánh giá ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ và điều kiện mặt thoáng đến MĐĐVĐĐ.

4. Đã nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của khoảng cách giữa các lượng nổ đến kích thước vùng phá hủy, chỉ tiêu thuốc nổ và sự phân bố thành phần cỡ hạt.

5. Đề xuất phương pháp tính toán kích thước trung bình cỡ hạt của các dạng lượng nổ khác nhau phụ thuộc vào năng lượng nổ (chỉ tiêu thuốc nổ), hình dạng lượng nổ, điều kiện môi trường nổ dựa trên các hệ số thực nghiệm.

Từ các kết quả nghiên cứu của luận án, rút ra một số kết luận sau:

- Xét trên phương diện phá hủy đất đá, hệ thống lượng nổ dài nằm song song trên cùng mặt phẳng với khoảng cách giữa các lượng nổ hợp lý được xem như lượng nổ dạng phẳng. Với cùng một khối lượng thuốc nổ thì mật độ năng lượng của lượng nổ dạng phẳng suy giảm theo khoảng cách tính từ tâm nổ ra xa sẽ nhỏ hơn so với lượng nổ dài và lượng nổ tập trung. Khi khoảng cách giữa các lượng nổ với nhau được bố trí càng ra xa thì trường thế tốc độ và trường năng lượng nổ sẽ gần giống với trường hợp khi nổ các lượng nổ dài đơn.

- Kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình thu nhỏ đã chứng minh sự phù hợp của lý thuyết. Các kết quả thí nghiệm đã chỉ ra rằng khi cùng sử dụng một khối lượng thuốc nổ, thì kích thước trung bình cỡ hạt của cả mẫu thí nghiệm đối với lượng nổ tập trung là lớn nhất, sau đó đến lượng nổ dài và nhỏ nhất là nhóm lượng nổ dài song song. Các quy luật về phân bố thành phần cỡ hạt theo kích thước cỡ hạt tương đối cũng cho thấy sử dụng lượng nổ dạng phẳng sẽ làm cho thành phần cỡ hạt phá ra đồng đều hơn. Quy luật về sự phụ thuộc kích thước trung bình cỡ hạt theo khoảng cách từ tâm nổ đã cho thấy dạng đường cong quy luật của lượng nổ dạng phẳng là hàm số có dạng bậc nhất, còn đối với lượng nổ dài và lượng nổ tập trung là hàm số bậc 2 và bậc 3 nên chứng tỏ cỡ hạt phá ra của lượng nổ dạng phẳng sẽ có sự đồng đều hơn so với 2 dạng lượng nổ còn lại.

- Mặt thoáng sẽ ảnh hưởng rất lớn đến MĐĐVĐĐ. Điều này cho thấy sóng phản xạ đã ảnh hưởng đến quá trình đập vỡ đất đá. Như vậy khi sử dụng lượng nổ dạng phẳng thì ảnh hưởng của tính chất mặt thoáng sẽ ít hơn so với 2 dạng lượng nổ dài và lượng nổ tập trung, hay nói cách khác khi nổ trong môi trường

vô hạn nếu lượng nổ được bố trí ở dạng phẳng thì kích thước trung bình cỡ hạt sẽ giảm đi đáng kể, hiệu quả đập vỡ đất đá tăng lên giống như được bố trí thêm mặt thoáng.

- Các quy luật thực nghiệm về sự phụ thuộc của kích thước trung bình cỡ hạt đá sau nổ phụ thuộc vào chỉ tiêu thuốc nổ của lượng nổ tập trung, dài và dạng phẳng đều tuân theo qui luật chung về qui luật đập vỡ đất đá khi nổ mìn. Qui luật chung phản ánh mối quan hệ tỉ lệ nghịch phi tuyến giữa kích thước trung bình cỡ hạt đá sau nổ phụ thuộc vào chỉ tiêu thuốc nổ. Khi cùng một khối lượng thuốc nổ như nhau, thì MĐDVĐĐ của lượng nổ dạng phẳng sẽ lớn nhất, tiếp đến là lượng nổ dài và cuối cùng là lượng nổ tập trung. Như vậy cùng một chỉ tiêu thuốc nổ bình quân phá toàn khối đá như nhau thì khi bố trí lượng nổ ở dạng phẳng sẽ có lợi hơn so với lượng nổ dài và lượng nổ tập trung, hay năng lượng của thuốc nổ sẽ được phân bố đồng đều hơn cho mục tiêu đập vỡ đất đá. Khi tăng lượng tiêu hao thuốc nổ đơn vị thì cỡ hạt đá phá ra càng nhỏ, năng lượng tiêu hao cho việc phá hủy đất đá trở lên bão hòa, ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ không đáng kể và ngược lại. Do đó ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ đến MĐDVĐĐ chỉ xảy ra trong miền tác dụng hiệu quả của năng lượng thuốc nổ sử dụng chủ yếu cho việc đập vỡ đất đá.

Các kết quả đạt được trong phạm vi nghiên cứu của luận án cho thấy áp dụng các giải pháp bố trí lượng nổ dạng phẳng là có lợi nhất, tiếp đến là dạng trụ dài, đặc biệt phù hợp với điều kiện nổ trong môi trường bí mặt thoáng như nổ mìn dưới nước, nổ mìn đào hầm...

Tuy nhiên, trong phạm vi nghiên cứu của luận án, các kết quả đạt được mới chỉ giới hạn ở loại vật liệu tiến hành thí nghiệm. Để có kết quả toàn diện hơn cần tiến hành nghiên cứu với nhiều loại vật liệu môi trường, thuốc nổ, điều kiện nổ khác nhau.

KIẾN NGHỊ VỀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Qua thời gian nghiên cứu, thí nghiệm các nội dung trong luận án, tác giả nhận thấy vẫn còn một số nội dung cần nghiên cứu bổ sung, hoàn thiện:

- Cần tiến hành thực nghiệm với các loại đất đá khác nhau để chính xác hoá các hệ số thực nghiệm.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của sóng phản xạ đến quá trình đập vỡ đất đá.

- Nghiên cứu sự biến dạng của môi trường đất đá xung quanh nhóm lượng nổ dài song song bằng việc tính toán quá trình truyền năng lượng vào đất đá và ảnh hưởng của nó trong quá trình phá huỷ.

- Khuyến nghị ứng dụng và hoàn thiện kết quả nghiên cứu của luận án trong thi công công trình quốc phòng, khai thác mỏ, đào đường hầm, giao thông, thủy điện...

Các vấn đề nêu trên cho thấy mặc dù hệ thống cơ sở lý thuyết về tác động nổ nói chung trong các môi trường đất đá đã tương đối hoàn thiện, tuy nhiên việc nghiên cứu và áp dụng vào thực tiễn vẫn cần phải tiếp tục nghiên cứu tối ưu.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Đàm Trọng Thắng, Vũ Trọng Hiếu, Vũ Xuân Bảng (2016), “Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình về quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mìn thi công đường hầm”, *Tuyển tập các công trình khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Bộ môn “Xây dựng Công trình ngầm và Mỏ” 1966-2016*, ISBN: 978-604-913-445-6, NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, tr. 362-372.
2. Đàm Trọng Thắng, Nguyễn Trí Tá, Vũ Xuân Bảng (2018), “Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng lượng nổ đến mức độ đập vỡ đất đá bằng phương pháp thực nghiệm”, *Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật*, ISSN 1859-0209, Học viện Kỹ thuật Quân sự, (192), tr. 113-121.
3. Vũ Xuân Bảng, Đàm Trọng Thắng (2019), “Nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của chỉ tiêu thuốc nổ đến quy luật đập vỡ đất đá khi nổ lượng nổ tập trung trên mô hình”, *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, ISSN 0868-7052, (3), tr. 24-28.
4. Thang Trong Dam, Ta Tri Nguyen, Bang Xuan Vu and Hieu Trong Vu (2019), “Studying the rule of distribution of rock breaking size according to the distance from the center of concentrated charge”, *International Symposium on Rock Mechanics and Engineering for Sustainable*, ISBN: 978-604-913-909-3, Publishing House for Science and Technology, Hanoi, pp. 332-345.
5. Dam Trong Thang, Nguyen Tri Ta, Vu Xuan Bang (2020), “Study on the velocity potential field of the group of parallel long cylindrical charges”, *Journal of Science and Technique - Section on special construction engineering*, ISSN 1859-0209, 3(1), pp. 70-80.
6. Đàm Trọng Thắng, Vũ Xuân Bảng (2021), “Nghiên cứu phân tích ảnh hưởng của sự xuất hiện miền sóng nổ dạng phẳng đến mức độ đập vỡ đất đá”, *Tuyển tập các công trình khoa học hội nghị Khoa học toàn quốc “Cơ học đá –*

Những vấn đề đương đại” VIETROCK2021, ISBN: 978-604-9988-55-4, NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, tr. 201-215.

7. Trong Thang Dam, Tri Ta Nguyen, Xuan Bang Vu (2021), “Study on the reasonable spacing of flat charge in the form of long and parallel cylindrical charges for breaking rock”, *Journal of Science and Technique - Section on special construction engineering, ISSN 1859-0209, 4(2), pp. 57-71.*

8. Dam Trong Thang, Nguyen Tri Ta, Vu Xuan Bang (2022), “Experimental study of rock breaking effect of long cylindrical charge in infinite environment”, *Rock mechanics and Engineering contemporary issues - 12th Asian Rock Mechanics Symposium, ISBN: 978-604-357-103-5, Publishing House for Science and Technology, Hanoi, pp. 218-229.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Nguyễn Đình An (2014), *Nghiên cứu xác định chỉ tiêu thuốc nổ nhằm đảm bảo mức độ đập vỡ đất đá hợp lý cho một số mỏ khai thác vật liệu xây dựng của Việt Nam*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, Hà Nội.
2. Nhữ Văn Bách (1990), *Áp dụng phương pháp nổ mìn văng xa định hướng để khai thác đá ở Việt Nam*, Tuyển tập các công trình khoa học, tập XVI. Đại học Mỏ – Địa chất.
3. Nhữ Văn Bách (2003), *Nâng cao hiệu quả phá vỡ đất đá bằng nổ mìn trong khai thác mỏ*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
4. Nhữ Văn Bách (2010), “Những vấn đề cơ bản về công tác nổ mìn khi khai thác các mỏ lộ thiên sâu”, *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam, số 5.
5. Nhữ Văn Bách, Lê Văn Quyển, Lê Ngọc Ninh, Nguyễn Đình An (2015), *Công nghệ khoan-nổ mìn hiện đại với lỗ khoan đường kính lớn áp dụng cho các mỏ khai thác đá vật liệu xây dựng của Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
6. Nhữ Văn Bách, Nguyễn Đăng Tế (1996), *Xác định các thông số nổ mìn buồng hợp lý để tạo nền đường trên sườn núi khi khai thác đá vôi*, Tuyển tập các công trình khoa học, Tập XXIII, Đại học Mỏ – Địa chất.
7. Nhữ Văn Bách, Nguyễn Đăng Tế (1996), “Xác định khoảng cách giữa các lỗ khoan khi nổ mìn khai thác đá khối”, *Tạp chí Công nghiệp mỏ*, Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam, số 2.
8. Nhữ Văn Bách, Nguyễn Đình Ấu (1998), *Giáo trình phá vỡ đất đá bằng phương pháp khoan nổ mìn*, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
9. Nguyễn Quốc Bảo, Trần Nhất Dũng (2003), *Phương pháp phần tử hữu hạn*

- lý thuyết và lập trình*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
10. Phan Nguyên Di (2001), *Cơ học môi trường liên tục*, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội.
 11. Hồ Sĩ Giao (1981), *Tìm hiểu về nổ*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
 12. Hồ Sĩ Giao, Đàm Trọng Thắng, Lê Văn Quyên, Hoàng Tuấn Chung (2010), *Nổ hóa học, lý thuyết và thực tiễn*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
 13. Trần Quang Hiếu, Bùi Xuân Nam, Nguyễn Anh Tuấn, Lê Quý Thảo (2017), *Công tác khoan-nổ mìn và kỹ thuật an toàn sử dụng vật liệu nổ công nghiệp trong ngành mỏ-công trình*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
 14. Vũ Trọng Hiếu, Đàm Trọng Thắng (2015), "Đánh giá ảnh hưởng của mặt thoáng đến mức độ đập vỡ đất đá trong đường hầm từ kết quả thí nghiệm trên mô hình nổ điện", *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 49, tr. 59-64.
 15. Võ Trọng Hùng, Nguyễn Văn Đức (1997), *Công nghệ xây dựng công trình ngầm và hầm trạm trong mỏ*, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội.
 16. Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc (2005), *Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
 17. Võ Trọng Hùng (2011), "Nghiên cứu xác định chiều sâu lỗ mìn hợp lý trong công nghệ thi công giếng đứng có sử dụng các vòng chống tạm thời", *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, 3, tr.18-25.
 18. Võ Trọng Hùng (2014), "Nghiên cứu xác định số lượng và phương pháp bố trí các lỗ mìn hợp lý trên gương thi công công trình ngầm", *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, 6, tr.1-6.
 19. Võ Trọng Hùng (2016), "Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp xác định

- chiều sâu lỗ mìn khi thi công đường hầm”, *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, 4, tr.5-8.
20. Nguyễn Xuân Kiều, Đàm Trọng Thắng (2007), “Xác định chỉ tiêu thuốc nổ khi nổ mìn phá toi đá dưới nước bằng lượng nổ đặt trong môi trường đất đá”, *Tạp chí Nghiên cứu KHKT-CN quân sự*, 21.
21. Nguyễn Thế Phùng, Nguyễn Ngọc Tuấn (2001), *Thi công công trình ngầm*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
22. Nguyễn Phùng Quang (2004), *Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
23. Lê Văn Quyền (2009), *Nghiên cứu mức độ đập vỡ đất đá bằng nổ mìn và xác định mức độ đập vỡ đất đá hợp lý cho một số mỏ lộ thiên Việt Nam*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, Hà Nội.
24. Đàm Trọng Thắng (2001), “Xây dựng phương trình xung riêng truyền vào đất đá dọc theo thành lỗ khoan khi nổ mìn phá đá dưới nước”, *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 2/2001.
25. Đàm Trọng Thắng, Vũ Trọng Hiếu, Lê Hồng Hải (2017), "Nghiên cứu phương pháp xác định hằng số đập vỡ đất đá khi nổ mìn", *Tạp chí Xây dựng*, 2(7), tr. 19-25.
26. Đàm Trọng Thắng, Bùi Xuân Nam, Trần Quang Hiếu (2015), *Nổ mìn trong ngành mỏ và công trình*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
27. Nguyễn Văn Tính, Đàm Trọng Thắng, Trần Hoài Nam (2012), *Công tác nổ mìn*, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội.
28. Nguyễn Văn Thủy (2001), *Vật lý nổ*, NXB Quân đội Nhân dân, Hà Nội.
29. Đỗ Như Tráng (2001), *Giáo trình thi công công trình ngầm*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
30. Đỗ Như Tráng (2002), *Cơ học đá và tương tác hệ kết cấu công trình ngầm*

- môi trường đất đá, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội.

31. Lê Văn Hùng, Lê Đình Chung (2007), “Kết quả thí nghiệm hiện trường nổ mìn cấp phối phục vụ đắp đập chính Cửa Đạt”, *Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc*, tr. 259-267.
32. Lê Văn Trung, Trần Hồng Minh, Đàm Trọng Thắng, Lê Quang Hồng, Thiết lập mô hình để xác định công thức tính lượng nổ đa năng trong môi trường đất đá, Báo cáo khoa học tại Hội nghị khoa học Mỏ Địa chất lần thứ 23- Hà Nội tháng 11/2012.
33. Nguyễn Quang Trung, Võ Thanh Tùng (2005), *Giáo trình Công tác nổ*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
34. Nguyễn Anh Tuấn, Trần Quang Hiếu, Phạm Văn Việt (2016), *Công nghệ khai thác đá khối tiên tiến*, Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.

Tiếng Anh

35. Brinkley S. R. and Kirkwood J. G. (1947), Theory of the propagation of shock waves, *Physics Review*, 71(9), American Physical Society, pp. 606-611.
36. Lopez Jimino C., Lopez Jimeno E. (1995), *Drilling and Blasting of Rocks*, Geomining Technological Institute of Spain, Spain.
37. Cunningham, C.V.B. (2005), The Kuz-Ram Model-20 years on, *Brighton Conference Proceedings*, pp. 201-210.
38. Dukkipati R.V. (2009), *Analysis and Design of control Systems using Matlab*, New Age International Limited New Delhi, India.
39. Jaan Kiusalaas (2005), *Numerical Methods in Engineering with MATLAB*, New York, United States of America
40. Jethro Michael Adebola, Ogbodo David Ajayi, Peter Elijah.O (2016), *Rock*

Fragmentation Prediction using Kuz-Ram Model, Journal of Environment and Earth Science, Vol.6, No.5

41. Josef Henrych, *The dynamic of explosion and its use*. Academia Prague, 1979.
42. Müller B., Hausmann J., Niedzwiedz H. (2010), *Control of rock fragmentation and muck pile geometry during production blasts (environmentally friendly blasting technique)*, Rock Fragmentation by Blasting – Sanchidrián (ed), ISBN 978-0-415-48296-7, London.
43. Sushil Bhandari (1997), *Engineering Rock Blasting Operations*, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
44. Valery K. Kedrinskii (2005), *Hydrodynamics of Explosion Experiments and Models*, Springer.
45. William Hustrulid (1999), *Blasting principles for Open Pit Mining*, Colorado School of Mines, USA.
46. Zhang S. Z. (1976), *Detonation and its applications*, Press of National Defense Industry, Beijing.

Tiếng Nga

47. Барон В.Л., Кантор В.Х. (1989), *Техника и технология взрывных работ в США*, М.: Недра, – 376 с.
48. Баум Ф.А. и Орленко Л. П. (2002), *Физика взрыва*, том 1, М.: физматлит, Москва.
49. Баум Ф.А. и Орленко Л. П. (2002), *Физика взрыва*, том 2, М.: физматлит, Москва.
50. Боровиков В.А., Ванягин Н.Ф. (1990), *Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород*, Недра, – 232 с.
51. Власов О.Е (1957), *Основы теории действия взрыва*, ВИА, Москва.

52. Додис Я.М., Нифадьев В.И. (2006), *Разрушение горных пород при бурении и взрывании*, Учебное пособие. КРСУ, 374 с.
53. Ефремов Э. И., Петренко В. Д., Пастухов А. И. (1990), *Прогнозирование дробления горных массивов взрывом*, ISBN: 5-12-001666-9, 120 стр, Издательство "Наукова Думка", Киев, СССР.
54. Ефремов Э. И. (1987), *Разрушение горных пород энергией взрыва*, – 263 стр, Издательство "Наукова Думка", Киев, СССР.
55. Ганопольский М.И, Барон В.Л, Белин В.А., Пупков В.В. (2007), *Сивенков В.И. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы: Учебное пособие*. - М.: Из-во МГГУ, – 563 с.
56. Кутузов Б. Н. (2007), *Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов*. - М.: Издво Горная книга, – 471 с.
57. Кутузова (Б.И) (1967), *Разрушение горных пород*, “Недра” Москва.
58. Кутузов Б.Н, Рубцов В.К (1970), *Физика взрывного разрушения горных пород*, МГГУ, Москва.
59. Кутузов Б.Н. (1973), *Взрывное и механическое разрушение горных пород*, Недра, Москва.
60. Кутузов Б.Н (2009), *Методы ведения взрывных работ. Часть 1. Разрушение горных пород взрывом*. Москва, – 471 с
61. Кутузов Б.Н (2011), *Методы ведения взрывных работ. Часть 2. Взрывные работы в горном деле и промышленности*. М.: Горная книга, – 512 с.
62. Орленко Л.П. (2004), *Физика взрыва*, “ФИЗМАТЛИТ” Москва.
63. И.Ф. Оксанич, П.С. Миронов (1982), *Закономерности дробления горных пород взрывом и прогнозирование гранулометрического состава*, Недра, Москва.
64. Покровский Г.И. (1954), *Зависимость формы зоны действия взрыва*

от формы и расположения зарядов- Взрывное дело №54/11, Недра, Москва.

65. Саламахин (Т.М) (1961), *Разрушение взрывом элементов конструкций*, Издание ВИА Москва.
66. Садовский М. А. (2004), *Механическое действие воздушных ударных волн взрыва по данным экспериментальных исследований*, - М.: Наука, С.9-87.
67. Ткачук К.Н. (1974), *Разрушение горных пород взрывом*, техника, 203 с.
68. Ханукаев А. Н (1974), *Физические процессы при отбойке горных пород взрывом*, Недра.
69. Черниговский А. А. (1965), *Расчет плоских зарядов для вскрытия полезных ископаемых*, Недра, Москва.
70. Черниговский А. А. (1971), *Метод плоских систем зарядов в горном деле и строительстве*, Недра, Москва, 243 с.

PHỤ LỤC

Các bảng số liệu dùng trong luận án

Bảng PL. 1. Các thông số của lượng nổ khảo sát và kích thước của vùng phá hủy với đất đá có mật độ $230 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$

Dạng lượng nổ	Khối lượng thuốc nổ	Thông số lượng nổ và nhóm lượng nổ		Kích thước vùng có khả năng phá hủy	Khối lượng đất đá có khả năng phá hủy	Chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng
		Ký hiệu	Giá trị (m)			
Tập trung	13,56	r_0	0,141	0,792	2,08	6,52
Dài	13,56	a	0,053	0,705	2,84	4,78
		b	1,000	1,363		
		c	0,053	0,705		
Phẳng	13,56	a	0,750	1,206	4,62	2,94
		b	0,005	0,758		
		c	0,750	1,206		
Phẳng	13,56	a	0,420	0,975	3,29	4,12
		b	0,016	0,827		
		c	0,420	0,975		
Dạng phẳng (nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 3$	13,56	a	0,016	0,848	2,24	6,06
		b	1,000	1,107		
		c	0,016	0,570		
		l_a	0,100			
		n	11			
Dạng phẳng (nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 10$	13,56	a	0,016	1,840	2,87	4,73
		b	1,000	1,107		
		c	0,016	0,336		
		l_a	0,320			
		n	11			
Dạng phẳng	13,56	a	0,016	2,640	3,23	4,20
		b	1,000	1,107		

Dạng lượng nổ	Khối lượng thuốc nổ	Thông số lượng nổ và nhóm lượng nổ		Kích thước vùng có khả năng phá hủy	Khối lượng đất đá có khả năng phá hủy	Chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng
(nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 15$		c	0,016	0,264		
		l_a	0,480			
		n	11			
Dạng phẳng (nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 20$	13,56	a	0,016	0,288	3,48	3,90
		b	1,000	1,107		
		c	0,016	0,237		
		l_a	0,640			
		n	11			
Dạng phẳng (nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 30$	13,56	a	0,016	0,232	2,65	5,12
		b	1,000	1,107		
		c	0,016	0,224		
		l_a	0,960			
		n	11			

Bảng PL. 2. Các thông số của lượng nổ khảo sát và kích thước của vùng phá hủy với đất đá có mật độ $280 \text{ kG.s}^2/\text{m}^4$

Dạng lượng nổ	Khối lượng thuốc nổ	Thông số lượng nổ		Kích thước vùng có khả năng phá hủy	Khối lượng đất đá có khả năng phá hủy	Chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng
	kg	Ký hiệu	Giá trị (m)	m	m^3	kg/m^3
Tập trung	13,56	r_0	0,141	0,704	1,46	9,28
Dài	13,56	a	0,053	0,603	1,99	6,83
		b	1,000	1,304		
		c	0,053	0,603		
Phẳng	13,56	a	0,750	1,119	3,17	4,27
		b	0,005	0,605		
		c	0,750	1,119		

Dạng lượng nổ	Khối lượng thuốc nổ	Thông số lượng nổ		Kích thước vùng có khả năng phá hủy	Khối lượng đất đá có khả năng phá hủy	Chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng
Phẳng	13,56	a	0,420	0,892	2,41	5,62
		b	0,016	0,725		
		c	0,420	0,892		
Dạng phẳng (nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 3$	13,56	a	0,016	0,768	1,61	8,41
		b	1,000	1,088		
		c	0,016	0,461		
		l_a	0,100			
		n	11			
Dạng phẳng (nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 10$	13,56	a	0,016	1,792	2,04	6,65
		b	1,000	1,088		
		c	0,016	0,250		
		l_a	0,320			
		n	11			
Dạng phẳng (nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 15$	13,56	a	0,016	2,592	2,44	5,56
		b	1,000	1,088		
		c	0,016	0,206		
		l_a	0,480			
		n	11			
Dạng phẳng (nhóm lỗ khoan //) $l_a/d = 20$	13,56	a	0,016	0,200	1,93	7,05
		b	1,000	1,088		
		c	0,016	0,192		
		l_a	0,640			
		n	11			

Bảng PL. 3. Mật độ năng lượng theo khoảng cách của các dạng lượng nổ

Khoảng cách từ tâm lượng nổ	Mật độ năng lượng (kG/m ²)			
	Lượng nổ tập trung	Lượng nổ dài	Lượng nổ phẳng	Lượng nổ dạng phẳng
x (m)	mặt cắt y=0	mặt cắt y=0	mặt cắt z=0	mặt cắt y=0
0,1	650.899.968	12.594.165	673.148	894.002
0,3	8.035.802	1.296.381	518.353	116.779
0,5	1.041.440	406.825	334.439	48.177
0,8	158.911	121.060	152.766	19.843
1,0	65.090	63.513	90.504	12.304
1,5	12.857	17.362	27.944	4.609
2,0	4.068	6.346	10.621	2.107
3,0	804	1.410	2.418	626
4,0	254	466	806	245
5,0	104	195	338	114
8,0	16	30	53	20

Bảng PL. 4. Thông số của vật liệu chế tạo mẫu thí nghiệm

Loại vật liệu	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Ứng suất nén phá hủy (kG/cm ²)	Vận tốc sóng âm (m/s)	Độ tuổi mẫu chế tạo (ngày)
Vữa xi măng - Cát mịn (Xi măng PC30, cát có mô đun độ lớn $M_L = 0,7 \div 1,4$)	1920 - 1935	90 - 105	3400 – 3900	> 28

Bảng PL. 5. Quy cách mẫu thí nghiệm

TT	Loại mẫu	Vật liệu	Kích thước: dài x rộng x cao (mm)	Cách bố trí lượng nổ
1	Tập trung	Xi măng - Cát mịn	200x200x200	Đặt ở tâm của mẫu
2	Dài	Xi măng - Cát mịn	200x200x200	Đặt ở trục của mẫu
3	Dạng phẳng	Xi măng - Cát mịn	200x200x200	Đặt trong các lỗ Φ6

Bảng PL. 6. Thông số kỹ thuật dây nổ chịu nước

Đặc tính	Thông số
Mặt ngoài bọc nhựa PVC	Màu đỏ
Đường kính danh nghĩa (mm)	5,8
Lượng thuốc nổ PETN nạp trong lõi (g/m)	12
Tốc độ nổ: m/s	≥ 6500
Khả năng chịu nước ở độ sâu 1m, giờ (đảm bảo khi 2 đầu dây được chống ẩm tốt)	≥ 24
Khả năng chịu kéo, thời gian 3 phút, kg.	50
Khả năng chịu nhiệt ở $(52 \div -58) ^\circ\text{C}$, giờ:	6
$(-38 \div -32) ^\circ\text{C}$, giờ:	2
Khả năng duy trì nổ theo chiều dài và qua các mối nối đúng cách	Tin cậy

Bảng PL. 7. Thông số kỹ thuật thuốc nổ PETN

Đặc tính	Thông số
Năng lượng nổ	5,8 MJ/kg
Nhạy nổ với va chạm	Trung bình
Nhạy nổ với ma sát	Trung bình
Mật độ	1,773 g/cm ³ tại 20°C
Tốc độ truyền nổ	8.400 m/s
Trị tương đương TNT	1,66
Điểm nóng chảy	141,3 °C
Nhiệt độ phát nổ	215 °C
Bề ngoài	Trắng, không mùi, kết tinh, rắn.

Bảng PL. 8. Bố trí lượng nổ tương ứng với từng mẫu thí nghiệm loại C

TT bài thí nghiệm	Mã số bài thí nghiệm	Loại mẫu		Bố trí lượng nổ		Chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng (kg/m ³)
		Dạng lượng nổ sử dụng	Kí hiệu mẫu	KL thuốc nổ (g)	Quy cách bố trí	
1	01TNC2T	Tập trung	C2T	4,8	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	0,6
2	02TNC3T		C3T	7,2	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	0,9
3	03TNC4T		C4T	9,6	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	1,2
4	04TNC5T		C5T	12	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	1,5
5	05TNC6T		C6T	14,4	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	1,8
6	06TNC7T		C7T	16,8	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	2,1
7	07TNC2D	Dài	C2D	4,8	Bó 2 dây nổ lại, đặt ở trục của mẫu	0,6
8	08TNC3D		C3D	7,2	Bó 3 dây nổ lại, đặt ở trục của mẫu	0,9
9	09TNC4D		C4D	9,6	Bó 4 dây nổ lại, đặt ở trục	1,2

TT bài thí nghiệm	Mã số bài thí nghiệm	Loại mẫu		Bố trí lượng nổ		Chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng (kg/m ³)
		Dạng lượng nổ sử dụng	Kí hiệu mẫu	KL thuốc nổ (g)	Quy cách bố trí	
					của mẫu	
10	10TNC5D		C5D	12	Bố trí 5 dây nổ lại, đặt ở trục của mẫu	1,5
11	11TNC6D		C6D	14,4	Bố trí 6 dây nổ lại, đặt ở trục của mẫu	1,8
12	12TNC7D		C7D	16,8	Bố trí 7 dây nổ lại, đặt ở trục của mẫu	2,1
13	13TNC2P	Dạng phẳng	C2P	4,8	Bố trí 2 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	0,6
14	14TNC3P		C3P	7,2	Bố trí 3 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	0,9
15	15TNC4P		C4P	9,6	Bố trí 4 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	1,2
16	16TNC5P		C5P	12	Bố trí 5 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	1,5
17	17TNC6P		C6P	14,4	Bố trí 6 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	1,8
18	18TNC7P		C7P	16,8	Bố trí 7 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	2,1

Bảng PL. 9. Tỷ lệ phân trăm cỡ hạt kích thước x thu được khi nổ các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ tập trung (ĐVT: 100%)

Tên mẫu	Kích thước cỡ hạt x, mm										d_{ib} (mm)
	<2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Cỡ hạt trung bình (mm)	1,25	3,75	7,50	15	25	35	45	55	65	80	
2T-1	0,031	0,028	0,039	0,041	0,062	0,071	0,124	0,098	0,160	0,346	54,21
2T-2	0,026	0,029	0,041	0,042	0,058	0,070	0,128	0,096	0,169	0,341	
3T-1	0,041	0,032	0,041	0,139	0,096	0,092	0,135	0,193	0,126	0,105	42,35
3T-2	0,045	0,043	0,076	0,082	0,091	0,094	0,124	0,136	0,142	0,167	
4T-1	0,108	0,032	0,051	0,083	0,124	0,112	0,106	0,126	0,138	0,120	39,15
5T-1	0,176	0,095	0,114	0,108	0,093	0,096	0,105	0,076	0,086	0,051	27,34
6T-1	0,151	0,132	0,125	0,122	0,093	0,152	0,063	0,056	0,082	0,024	24,29
7T-1	0,166	0,158	0,114	0,168	0,165	0,088	0,053	0,035	0,032	0,021	19,46

Bảng PL. 10. Tỷ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước x thu được khi nổ các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ dài

Tên mẫu	Kích thước cỡ hạt x, mm										d_{tb} (mm)
	<2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Cỡ hạt trung bình (mm)	1,25	3,75	7,50	15	25	35	45	55	65	80	
2D-1	0,032	0,029	0,044	0,040	0,091	0,085	0,176	0,088	0,130	0,285	47,68
2D-2	0,028	0,026	0,062	0,052	0,125	0,105	0,169	0,082	0,125	0,226	
2D-3	0,031	0,035	0,059	0,058	0,106	0,098	0,178	0,085	0,132	0,218	
3D-1	0,096	0,043	0,075	0,117	0,136	0,072	0,200	0,209	0,051	0,000	32,24
3D-2	0,091	0,046	0,071	0,129	0,154	0,092	0,158	0,183	0,064	0,012	
4D-1	0,158	0,058	0,093	0,109	0,130	0,110	0,187	0,055	0,077	0,023	28,25
4D-2	0,156	0,062	0,096	0,102	0,126	0,115	0,178	0,062	0,063	0,040	
4D-3	0,145	0,065	0,093	0,096	0,151	0,142	0,158	0,060	0,062	0,029	
5D-1	0,244	0,087	0,099	0,122	0,090	0,081	0,223	0,028	0,025	0,000	22,46
5D-2	0,160	0,113	0,138	0,133	0,106	0,125	0,092	0,068	0,025	0,040	
6D-1	0,189	0,082	0,111	0,165	0,150	0,142	0,051	0,083	0,027	0,000	21,05
7D-1	0,162	0,162	0,106	0,162	0,159	0,092	0,063	0,032	0,031	0,031	20,31

Bảng PL. 11. Tỷ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước x thu được khi nổ các mẫu thí nghiệm dùng lượng nổ dạng phẳng

Tên mẫu	Kích thước cỡ hạt x, mm										d_{tb} (mm)
	<2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Cỡ hạt trung bình (mm)	1,25	3,75	7,50	15	25	35	45	55	65	80	
2P-1	0,092	0,112	0,106	0,135	0,144	0,083	0,072	0,078	0,069	0,109	31,45
2P-2	0,095	0,115	0,107	0,128	0,137	0,095	0,076	0,081	0,058	0,108	
2P-3	0,085	0,090	0,091	0,105	0,109	0,124	0,095	0,126	0,101	0,074	
3P-1	0,196	0,053	0,081	0,131	0,152	0,106	0,145	0,069	0,044	0,025	27,48
3P-3	0,093	0,058	0,104	0,119	0,105	0,105	0,091	0,043	0,080	0,202	
3P-2	0,166	0,123	0,116	0,186	0,172	0,072	0,076	0,058	0,032	0,000	
4P-1	0,221	0,082	0,101	0,114	0,118	0,138	0,049	0,059	0,036	0,083	25,38
4P-2	0,192	0,096	0,112	0,106	0,113	0,128	0,098	0,062	0,045	0,048	

Tên mẫu	Kích thước cỡ hạt x, mm										d_{tb} (mm)
	<2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Cơ hạt trung bình (mm)	1,25	3,75	7,50	15	25	35	45	55	65	80	
4P-3	0,196	0,095	0,102	0,105	0,093	0,136	0,105	0,056	0,056	0,057	
5P-1	0,136	0,122	0,125	0,142	0,103	0,132	0,086	0,062	0,053	0,039	24,11
5P-2	0,132	0,138	0,140	0,125	0,109	0,141	0,078	0,059	0,053	0,025	
6P-1	0,213	0,079	0,126	0,146	0,130	0,085	0,085	0,045	0,025	0,066	23,13
7P-1	0,228	0,084	0,091	0,183	0,111	0,107	0,079	0,037	0,040	0,041	21,98

Bảng PL. 12. Bố trí lượng nỏ tương ứng với từng mẫu thí nghiệm loại A

TT bài thí nghiệm	Mã số bài thí nghiệm	Dạng lượng nỏ sử dụng	Kí hiệu mô hình thí nghiệm	KL thuốc nỏ (g)	Quy cách bố trí	Chỉ tiêu thuốc nỏ tương ứng (kg/m^3)
1	01TNA2T	Tập trung	A2T	4,8	Lượng nỏ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	0,6
2	02TNA3T		A3T	7,2	Lượng nỏ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	0,9
3	03TNA2D	Dài	A2D	4,8	Bó 2 dây nỏ lại, đặt ở trục của mẫu	0,6
4	04TNA3D		A3D	7,2	Bó 3 dây nỏ lại, đặt ở trục của mẫu	0,9
5	05TNA4D		A4D	9,6	Bó 4 dây nỏ lại, đặt ở trục của mẫu	1,2
6	06TNA2P	Dạng phẳng	A2P	4,8	Bố trí 2 dây nỏ, khoảng cách các dây 2 cm	0,6
7	07TNA3P		A3P	7,2	Bố trí 3 dây nỏ, khoảng cách các dây 2 cm	0,9
8	08TNA4P		A4P	9,6	Bố trí 4 dây nỏ, khoảng cách các dây 2 cm	1,2

Bảng PL. 13. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu thí nghiệm mô hình loại A sử dụng lượng nổ tập trung

Khối lượng thuốc nổ	Thông số	Ký hiệu	Giá trị				
Q = 4,8 g	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	r	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)	d_{tb}	0,0087	0,0252	0,0419	0,1100	0,2513
Q = 7,2 g	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	r	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)	d_{tb}	0,0070	0,0164	0,0297	0,0550	0,1131

Bảng PL. 14. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu thí nghiệm mô hình loại A sử dụng lượng nổ dài

Khối lượng thuốc nổ	Thông số	Ký hiệu	Giá trị				
Q = 4,8 g	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	r	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)	d_{tb}	0,0148	0,0359	0,0942	0,1466	-
Q = 7,2 g	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	r	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)	d_{tb}	0,0097	0,0186	0,0343	0,0733	-

Khối lượng thuốc nổ	Thông số	Ký hiệu	Giá trị				
Q = 9,6 g	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	r	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)	d_{tb}	0,0060	0,0140	0,0259	0,0478	0,0756

Bảng PL. 15. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu thí nghiệm mô hình loại A sử dụng lượng nổ dạng phẳng

Khối lượng thuốc nổ	Thông số	Ký hiệu	Giá trị				
Q = 4,8 g	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	r	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09
	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)	d_{tb}	0,0461	0,0556	0,0667	0,1056	0,2000
Q = 7,2 g	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	r	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)	d_{tb}	0,0289	0,0408	0,0475	0,0625	0,1083
Q = 9,6 g	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	r	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)	d_{tb}	0,0186	0,0236	0,0301	0,0517	0,0667

Bảng PL. 16. Bố trí lượng nổ tương ứng với từng mẫu thí nghiệm loại B

TT bài thí nghiệm	Mã số bài thí nghiệm	Loại mẫu		Bố trí lượng nổ		Chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng (kg/m ³)
		Dạng lượng nổ sử dụng	Kí hiệu mô hình	KL thuốc nổ (g)	Quy cách bố trí	
1	01TNB2T	Tập trung	B2T	4,8	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	0,6
2	02TNB3T		B3T	7,2	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	0,9
3	03TNB4T		B4T	9,6	Lượng nổ dạng thỏi đặt ở tâm của mẫu	1,2
4	04TNB2D	Dài	B2D	4,8	Bó 2 dây nổ lại, đặt ở trục của mẫu	0,6
5	05TNB3D		B3D	7,2	Bó 3 dây nổ lại, đặt ở trục của mẫu	0,9
6	06TNB4D		B4D	9,6	Bó 4 dây nổ lại, đặt ở trục của mẫu	1,2
7	07TNB2P	Dạng phẳng	B2P	4,8	Bố trí 2 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	0,6
8	08TNB3P		B3P	7,2	Bố trí 3 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	0,9
9	09TNB4P		B4P	9,6	Bố trí 4 dây nổ, khoảng cách các dây 2 cm	1,2

Bảng PL. 17. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu loại B sử dụng lượng nổ tập trung

Khoảng cách từ tâm nổ r (m)	Đường kính trung bình d_{tb} cỡ hạt của các loại mẫu (m)	
	Mẫu B2T	Mẫu B3T
0,015	0,0022	0,0015
0,020	0,0047	0,0021
0,025	0,0070	0,0040
0,030	0,0096	0,0057
0,035	0,0135	0,0074
0,040	0,0162	0,0086
0,045	0,0199	0,0096
0,050	0,0257	0,0123
0,055	0,0299	0,0160
0,060	0,0350	0,0193

Khoảng cách từ tâm nổ r (m)	Đường kính trung bình d_{tb} cỡ hạt của các loại mẫu (m)	
	Mẫu B2T	Mẫu B3T
0,065	0,0415	0,0209
0,070	0,0438	0,0241
0,075	0,0460	0,0257
0,080	0,0492	0,0276
0,085	0,0516	0,0332
0,090	0,0539	0,0323
0,095	0,0539	0,0375
0,100	0,0516	0,0346

Bảng PL. 18. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu loại B sử dụng lượng nổ dài

Khoảng cách từ tâm nổ r (m)	Đường kính trung bình d_{tb} cỡ hạt của các loại mẫu (m)		
	Mẫu B2D	Mẫu B3D	Mẫu B4D
0,015	0,0046	0,0026	0,0021
0,020	0,0083	0,0052	0,0036
0,025	0,0145	0,0064	0,0057
0,030	0,0180	0,0118	0,0060
0,035	0,0217	0,0101	0,0071
0,040	0,0216	0,0140	0,0092
0,045	0,0312	0,0163	0,0117
0,050	0,0296	0,0171	0,0151
0,055	0,0320	0,0243	0,0170
0,060	0,0393	0,0238	0,0208
0,065	0,0525	0,0282	0,0216
0,070	0,0475	0,0200	0,0225
0,075	0,0600	0,0328	0,0175
0,080	0,0417	0,0367	0,0425
0,085	0,0750	0,0325	0,0388
0,090	0,0617	0,0400	0,0392
0,095	0,0650	0,0400	0,0383
0,100	0,0633	0,0433	0,0442

Bảng PL. 19. Sự phụ thuộc d_{tb} vào r với mẫu loại B sử dụng lượng nổ dạng phẳng

Khoảng cách từ tâm nổ r (m)	Đường kính trung bình d_{tb} cỡ hạt của các loại mẫu (m)		
	Mẫu B2P	Mẫu B3P	Mẫu B4P
0,015	0,0140	0,0086	0,0079
0,020	0,0188	0,0140	0,0108
0,025	0,0185	0,0166	0,0116
0,030	0,0240	0,0181	0,0144
0,035	0,0275	0,0186	0,0139
0,040	0,0278	0,0206	0,0161
0,045	0,0328	0,0260	0,0192
0,050	0,0348	0,0254	0,0173
0,055	0,0325	0,0278	0,0228
0,060	0,0350	0,0287	0,0195
0,065	0,0400	0,0327	0,0203
0,070	0,0425	0,0408	0,0213
0,075	0,0295	0,0258	0,0168
0,080	0,0478	0,0233	0,0271
0,085	0,0450	0,0413	0,0296
0,090	0,0450	0,0419	0,0283
0,095	-	0,0542	0,0295
0,100	-	0,0416	0,0253

Bảng PL. 20. Đường kính trung bình cỡ hạt theo khoảng cách tính từ tâm nổ mẫu loại B sử dụng lượng nổ tập trung

Khối lượng thuốc nổ	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)		
	r	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
Q=4,8 g	0,0150	0,0025	0,0018	0,0024
	0,0200	0,0046	0,0042	0,0054
	0,0250	0,0072	0,0076	0,0062
	0,0300	0,0086	0,0098	0,0103
	0,0350	0,0125	0,0142	0,0137
	0,0400	0,0154	0,0175	0,0157
	0,0450	0,0185	0,0212	0,0199
	0,0500	0,0232	0,0278	0,0262
	0,0550	0,0267	0,0326	0,0305
	0,0600	0,0298	0,0413	0,0338
	0,0650	0,0342	0,0489	0,0414
	0,0700	0,0376	0,0482	0,0455
	0,0750	0,0336	0,0546	0,0497
	0,0800	0,0426	0,0582	0,0468
	0,0850	0,0504	0,0512	0,0533
	0,0900	0,0536	0,0596	0,0486
0,0950	0,0512	0,0593	0,0512	
0,1000	0,0487	0,0526	0,0536	
Q=7,2 g	0,0150	0,0015	0,0015	0,0015
	0,0200	0,0019	0,0024	0,0020
	0,0250	0,0035	0,0042	0,0043
	0,0300	0,0051	0,0057	0,0062
	0,0350	0,0069	0,0069	0,0085
	0,0400	0,0090	0,0080	0,0088
	0,0450	0,0097	0,0092	0,0099
	0,0500	0,0120	0,0131	0,0117
	0,0550	0,0156	0,0174	0,0149
	0,0600	0,0196	0,0218	0,0165
	0,0650	0,0216	0,0230	0,0182
	0,0700	0,0248	0,0264	0,0213

Khối lượng thuốc nổ	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)		
	r	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
	0,0750	0,0260	0,0241	0,0269
	0,0800	0,0278	0,0205	0,0344
	0,0850	0,0353	0,0324	0,0319
	0,0900	0,0347	0,0347	0,0275
	0,0950	0,0390	0,0294	0,0441
	0,1000	0,0358	0,0280	0,0400

Bảng PL. 21. Đường kính trung bình cỡ hạt theo khoảng cách tính từ tâm nổ mẫu loại B sử dụng lượng nổ dài

Khối lượng thuốc nổ	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)		
	r	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
Q=4,8 g	0,0150	0,0015	0,0070	0,0053
	0,0200	0,0060	0,0100	0,0088
	0,0250	0,0108	0,0160	0,0167
	0,0300	0,0087	0,0204	0,0250
	0,0350	0,0050	0,0400	0,0200
	0,0400	0,0108	0,0250	0,0290
	0,0450	0,0325	0,0250	0,0360
	0,0500	0,0200	0,0200	0,0487
	0,0550	0,0250	-	0,0390
	0,0600	0,0250	0,0450	0,0480
	0,0650	0,0525	0,0600	0,0450
	0,0700	0,0500	0,0450	-
	0,0750	0,0450	0,0750	-
	0,0800	0,0300	0,0400	0,0550
	0,0850	-	0,0750	-
	0,0900	0,0400	0,0650	0,0800
0,0950	0,0500	0,0800	-	
0,1000	0,0450	0,0800	0,0650	
Q=7,2 g	0,0150	0,0030	0,0025	0,0023

Khối lượng thuốc nổ	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)		
	r	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
	0,0200	0,0052	0,0064	0,0039
	0,0250	0,0060	0,0090	0,0043
	0,0300	0,0120	0,0154	0,0081
	0,0350	0,0160	0,0083	0,0058
	0,0400	0,0265	0,0092	0,0062
	0,0450	0,0280	0,0107	0,0103
	0,0500	0,0163	0,0150	0,0200
	0,0550	0,0053	0,0545	0,0130
	0,0600	0,0350	0,0227	0,0137
	0,0650	0,0365	0,0400	0,0080
	0,0700	0,0200	0,0200	0,0200
	0,0750	0,0310	0,0500	0,0175
	0,0800	0,0300	0,0400	0,0400
	0,0850	0,0375	0,0200	0,0400
	0,0900	0,0400	-	0,0400
	0,0950	-	0,0400	0,0400
	0,1000	0,0400	0,0500	0,0400
Q=9,6 g	0,0150	0,0023	0,0018	0,0022
	0,0200	0,0039	0,0031	0,0038
	0,0250	0,0043	0,0047	0,0080
	0,0300	0,0081	0,0078	0,0022
	0,0350	0,0058	0,0095	0,0060
	0,0400	0,0062	0,0050	0,0164
	0,0450	0,0103	0,0097	0,0150
	0,0500	0,0200	0,0063	0,0190
	0,0550	0,0130	0,0080	0,0300
	0,0600	0,0137	0,0238	0,0250
	0,0650	0,0080	0,0250	0,0317
	0,0700	0,0175	0,0150	0,0350
	0,0750	0,0200	0,0150	-
	0,0800	0,0400	-	0,0450
	0,0850	0,0400	0,0375	-
	0,0900	0,0400	0,0325	0,0450

Khối lượng thuốc nổ	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)		
	r	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
	0,0950	0,0400	0,0350	0,0400
	0,1000	0,0400	0,0400	0,0525

Bảng PL. 22. Đường kính trung bình cỡ hạt theo khoảng cách tính từ tâm nổ mẫu loại B sử dụng lượng nổ dạng dạng phẳng

Khối lượng thuốc nổ	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)		
	r	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
Q=4,8 g	0,0150	0,0101	0,0176	0,0143
	0,0200	0,0155	0,0218	0,0191
	0,0250	0,0180	-	0,0190
	0,0300	0,0323	0,0196	0,0200
	0,0350	0,0365	0,0230	0,0230
	0,0400	0,0263	0,0298	0,0275
	0,0450	0,0385	0,0325	0,0275
	0,0500	0,0310	0,0385	0,0350
	0,0550	0,0450	-	0,0200
	0,0600	0,0250	0,0300	-
	0,0650	-	-	0,0400
	0,0700	0,0500	-	0,0350
	0,0750	0,0090	-	0,0500
	0,0800	0,0500	0,0533	0,0400
	0,0850	0,0500	-	0,0400
	0,0900	-	0,0400	0,0500
0,0950				
0,1000				
Q=7,2 g	0,0150	0,0073	0,0097	0,0089
	0,0200	0,0141	0,0150	0,0128
	0,0250	0,0183	0,0155	0,0160
	0,0300	0,0210	0,0169	0,0163
	0,0350	0,0150	0,0183	0,0225

Khối lượng thuốc nổ	Khoảng cách từ tâm nổ (m)	Đường kính trung bình cỡ hạt (m)		
	r	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
	0,0400	0,0197	0,0193	0,0228
	0,0450	0,0250	0,0350	0,0180
	0,0500	0,0325	0,0275	0,0163
	0,0550	0,0272	0,0283	-
	0,0600	0,0433	0,0251	0,0175
	0,0650	0,0287	0,0450	0,0245
	0,0700	0,0325	0,0600	0,0300
	0,0750	0,0300	0,0150	0,0325
	0,0800	0,0300	0,0400	-
	0,0850	-	0,0375	0,0450
	0,0900	0,0425	0,0408	0,0425
	0,0950	0,0600	0,0600	0,0425
	0,1000	0,0438	0,0387	0,0425
Q=9,6 g	0,0150	0,0069	0,0097	0,0070
	0,0200	0,0128	0,0082	0,0113
	0,0250	0,0116	0,0128	0,0105
	0,0300	0,0168	0,0169	0,0097
	0,0350	0,0148	0,0141	0,0128
	0,0400	0,0116	0,0118	0,0249
	0,0450	0,0062	0,0128	0,0387
	0,0500	0,0128	0,0121	0,0181
	0,0550	0,0168	0,0160	0,0355
	0,0600	0,0175	0,0161	0,0250
	0,0650	0,0213	0,0250	0,0148
	0,0700	0,0196	0,0248	0,0195
	0,0750	0,0170	0,0225	0,0108
	0,0800	0,0288	0,0264	0,0260
	0,0850	-	0,0250	0,0342
	0,0900	0,0375	0,0318	0,0157
	0,0950	0,0330	0,0280	0,0276
	0,1000	0,0304	0,0225	0,0230

Bảng PL. 23. So sánh tỉ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước $< x$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được khi nổ mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ tập trung

E_c (MJ/m ³)	$P_{(x)}$ (%)	Kích thước cỡ hạt x (m)									
		$\leq 0,001$	$\leq 0,004$	$\leq 0,008$	$\leq 0,015$	$\leq 0,025$	$\leq 0,035$	$\leq 0,045$	$\leq 0,055$	$\leq 0,065$	$\leq 0,08$
3,48	Dự đoán	1,10	4,40	8,60	15,50	24,50	32,50	39,70	46,10	51,90	59,30
	Thực tế	2,90	5,70	9,70	13,90	19,90	26,90	39,50	49,20	65,70	100
5,22	Dự đoán	1,80	7,20	13,80	24,30	37,10	47,80	56,60	63,90	70,10	77,30
	Thực tế	4,30	8,10	13,90	25,00	34,30	43,60	56,60	73,00	86,40	100
6,96	Dự đoán	2,60	9,80	18,70	32,10	47,60	59,50	68,80	75,90	81,40	87,40
	Thực tế	10,80	13,90	19,10	27,40	39,80	51,00	61,60	74,20	88,00	100
8,70	Dự đoán	3,30	12,40	23,30	39,20	56,30	68,70	77,50	83,80	88,40	92,90
	Thực tế	13,60	23,10	34,50	45,30	54,60	64,20	74,70	82,30	90,90	100
10,44	Dự đoán	4,00	14,90	27,60	45,50	63,60	75,70	83,80	89,20	92,80	96,10
	Thực tế	15,10	28,30	40,80	53,00	62,30	77,50	83,80	89,40	97,60	100
12,18	Dự đoán	4,70	17,40	31,70	51,10	69,70	81,20	88,30	92,80	95,50	97,80
	Thực tế	16,60	32,40	43,80	60,60	77,10	85,90	91,20	94,70	97,90	100

Bảng PL. 24. So sánh tỉ lệ phần trăm cỡ hạt kích thước $< x$ giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được khi nổ mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dài

E_c (MJ/m ³)	$P_{(x)}$ (%)	Kích thước cỡ hạt x (m)									
		$\leq 0,001$	$\leq 0,004$	$\leq 0,008$	$\leq 0,015$	$\leq 0,025$	$\leq 0,035$	$\leq 0,045$	$\leq 0,055$	$\leq 0,065$	$\leq 0,08$
3,48	Dự đoán	2,40	9,30	17,70	30,50	45,50	57,30	66,50	73,70	79,40	85,70
	Thực tế	3,00	6,10	11,60	16,60	27,30	36,90	54,30	62,80	75,70	100
5,22	Dự đoán	2,90	11,30	21,30	36,20	52,70	64,90	74,00	80,70	85,70	90,90
	Thực tế	9,30	13,80	21,10	33,40	47,90	56,10	74,00	93,70	99,40	100
6,96	Dự đoán	3,50	13,30	24,80	41,40	58,90	71,20	79,80	85,90	90,10	94,20
	Thực tế	15,30	21,50	30,80	41,10	54,60	66,90	84,30	90,20	96,90	100
8,70	Dự đoán	4,00	15,20	28,10	46,10	64,30	76,40	84,40	89,60	93,10	96,30
	Thực tế	16,00	27,30	41,10	54,40	65,00	77,50	86,70	93,50	96,00	100
10,44	Dự đoán	4,60	17,10	31,30	50,50	69,00	80,60	87,90	92,40	95,30	97,70
	Thực tế	18,90	27,20	38,20	54,70	69,80	84,00	89,10	97,30	100,00	100
12,18	Dự đoán	5,10	19,00	34,30	54,50	73,10	84,10	90,60	94,40	96,70	98,50
	Thực tế	16,20	32,40	43,00	59,20	75,10	84,30	90,60	93,80	96,90	100

Bảng PL. 25. So sánh tỉ lệ phân trăm cỡ hạt P_x giữa lý thuyết dự đoán và thực tế thu được khi nổ mẫu thí nghiệm sử dụng lượng nổ dạng phẳng

E_c (MJ/m ³)	$P_{(x)}$ (%)	Kích thước cỡ hạt x (m)									
		≤0,001	≤0,004	≤0,008	≤0,015	≤0,025	≤0,035	≤0,045	≤0,055	≤0,065	≤0,08
3,48	Dự đoán	3,50	13,20	24,70	41,20	58,70	71,00	79,60	85,70	90,00	94,10
	Thực tế	9,10	19,60	29,80	42,00	55,00	65,10	73,20	82,70	90,30	100
5,22	Dự đoán	3,70	14,00	26,00	43,10	61,00	73,20	81,60	87,40	91,30	95,10
	Thực tế	15,20	22,90	33,00	47,50	61,80	71,20	81,60	87,20	92,50	100
6,96	Dự đoán	3,90	14,70	27,30	45,00	63,10	75,20	83,40	88,80	92,50	95,90
	Thực tế	19,40	28,90	39,60	50,20	60,50	73,70	83,80	89,70	94,80	100
8,70	Dự đoán	4,10	15,50	28,60	46,80	65,10	77,10	85,00	90,10	93,50	96,60
	Thực tế	13,40	26,40	39,60	53,00	63,60	77,20	85,40	91,50	96,80	100
10,44	Dự đoán	4,30	16,30	29,90	48,60	67,00	78,80	86,40	91,30	94,40	97,10
	Thực tế	21,30	29,20	41,80	56,40	69,40	77,90	86,40	90,90	93,40	100
12,18	Dự đoán	4,60	17,00	31,10	50,30	68,80	80,40	87,70	92,30	95,20	97,60
	Thực tế	22,80	31,20	40,30	58,60	69,70	80,40	88,20	91,90	95,90	100

Bảng PL. 26. Thông số kỹ thuật thuốc nổ nhũ tương

TT	Đặc tính kỹ thuật	ĐVT	Chỉ tiêu
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	1,05-1,25
2	Tốc độ nổ	m/s	3800-4500
3	Khả năng sinh công bằng con lắc xạ thuật (so sánh với TNT tiêu chuẩn)	%	105-115
4	Độ nén trụ tròn (trong ống giấy)	mm	≥ 14
5	Khoảng cách truyền nổ	cm	≥ 4
6	Phương tiện kích nổ		Kíp số 8
7	Khả năng chịu nước	giờ	≥ 24
8	Hạn sử dụng	tháng	6
9	Quy cách sản phẩm		
	Đường kính	mm	32
	Chiều dài	mm	220
	Khối lượng	g	200

Bảng PL. 27. Thông số kỹ thuật kíp nổ phi điện

TT	Đặc tính kỹ thuật	ĐVT	Chỉ tiêu
	Dây dẫn tín hiệu nổ		
1	Đường kính ngoài	mm	3
2	Chiều dài dây dẫn	m	3,6; 4,9; 6; 9; 12; 15; 18...
3	Tốc độ truyền nổ	m/s	≥ 1650
4	Độ bền	kG	≥ 18
5	Màu sắc:		
	+ Kíp trên mặt		Màu vàng
	+ Kíp xuống lỗ		Màu đỏ
	Kíp nổ		Kíp số 8
1	Vật liệu làm vỏ kíp		Nhôm
2	Đường kính ngoài (max)	mm	7,3
3	Cường độ nổ		
	+ Kíp trên mặt		Số 6
	+ Kíp xuống lỗ		Số 8
	Kíp đã lắp ghép hoàn chỉnh		
1	Khả năng chịu nước, độ sâu 20m	giờ	8
2	Độ bền mối ghép miệng, thời gian 1 phút	kg	≥ 2

Bảng PL. 28. Các thông số đặc biệt của kíp nổ phi điện

Loại	Kíp trên mặt				Kíp xuống lỗ
	17	25	42	100	
Thời gian (ms)	17	25	42	100	400
Màu hộp đầu	Vàng	Đỏ	Trắng	Xanh	-
Màu dây	Vàng	Vàng	Vàng	Vàng	Đỏ
Màu móc chữ J	Vàng	Đỏ	Trắng	Xanh	Da cam

Bảng PL. 29. Chỉ tiêu thuộc nổ tiêu chuẩn (kg/m^3) [21]

Loại nứt nẻ của khối đá	Nhóm đất đá							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	Hệ số độ cứng							
	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	11-14	15-18	19-20
I. Nứt nẻ rất mạnh	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
II. Nứt nẻ mạnh	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
III. Nứt nẻ trung bình	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
IV. Nứt nẻ yếu	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,5
V. Đá liền khối	0,9	1	1,1	1,2	1,35	1,5	1,7	1,9

Bảng PL. 30. Khối lượng thành phần cỡ hạt mẫu loại C

TT	Cỡ sàng	Khối lượng (g)		
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
	Kí hiệu mẫu	2T-1	2T-2	
1	< 2,5 mm	484	387	
2	2,5-5 mm	437	432	
3	5-10 mm	608	611	
4	10-20 mm	640	626	
5	20-30 mm	967	864	
6	30-40 mm	1108	1043	
7	40-50 mm	1934	1907	
8	50-60 mm	1529	1430	
9	60-70 mm	2496	2518	
10	> 70 mm	5398	5081	
	Kí hiệu mẫu	3T-1	3T-2	
1	< 2,5 mm	627	653	
2	2,5-5 mm	490	624	
3	5-10 mm	627	1102	
4	10-20 mm	2127	1189	
5	20-30 mm	1469	1320	
6	30-40 mm	1408	1363	
7	40-50 mm	2066	1798	
8	50-60 mm	2953	1972	
9	60-70 mm	1928	2059	

TT	Cỡ sàng	Khối lượng (g)		
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
10	> 70 mm	1607	2422	
	Kí hiệu mẫu	4T-1		
1	< 2,5 mm	1656		
2	2,5-5 mm	492		
3	5-10 mm	790		
4	10-20 mm	1284		
5	20-30 mm	1911		
6	30-40 mm	1720		
7	40-50 mm	1636		
8	50-60 mm	1934		
9	60-70 mm	2130		
10	> 70 mm	1849		
	Kí hiệu mẫu	5T-1		
1	< 2,5 mm	2693		
2	2,5-5 mm	1446		
3	5-10 mm	1746		
4	10-20 mm	1652		
5	20-30 mm	1423		
6	30-40 mm	1469		
7	40-50 mm	1607		
8	50-60 mm	1163		
9	60-70 mm	1316		
10	> 70 mm	786		
	Kí hiệu mẫu	6T-1		
1	< 2,5 mm	2325		
2	2,5-5 mm	2033		
3	5-10 mm	1925		
4	10-20 mm	1879		
5	20-30 mm	1425		
6	30-40 mm	2341		
7	40-50 mm	970		
8	50-60 mm	862		
9	60-70 mm	1263		
10	> 70 mm	377		

TT	Cỡ sàng	Khối lượng (g)		
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
	Kí hiệu mẫu	7T-1		
1	< 2,5 mm	2556		
2	2,5-5 mm	2433		
3	5-10 mm	1753		
4	10-20 mm	2587		
5	20-30 mm	2541		
6	30-40 mm	1355		
7	40-50 mm	816		
8	50-60 mm	539		
9	60-70 mm	493		
10	> 70 mm	326		
	Kí hiệu mẫu	2D-1	2D-2	2D-3
1	< 2,5 mm	494	430	471
2	2,5-5 mm	453	399	532
3	5-10 mm	681	952	897
4	10-20 mm	616	798	882
5	20-30 mm	1394	1919	1611
6	30-40 mm	1311	1618	1490
7	40-50 mm	2712	2594	2706
8	50-60 mm	1361	1259	1292
9	60-70 mm	1998	1919	2006
10	> 70 mm	4381	3463	3314
	Kí hiệu mẫu	3D-1	3D-2	
1	< 2,5 mm	1465	1379	
2	2,5-5 mm	654	697	
3	5-10 mm	1150	1076	
4	10-20 mm	1795	1954	
5	20-30 mm	2086	2333	
6	30-40 mm	1107	1394	
7	40-50 mm	3064	2394	
8	50-60 mm	3204	2772	
9	60-70 mm	776	970	
10	> 70 mm	0	182	

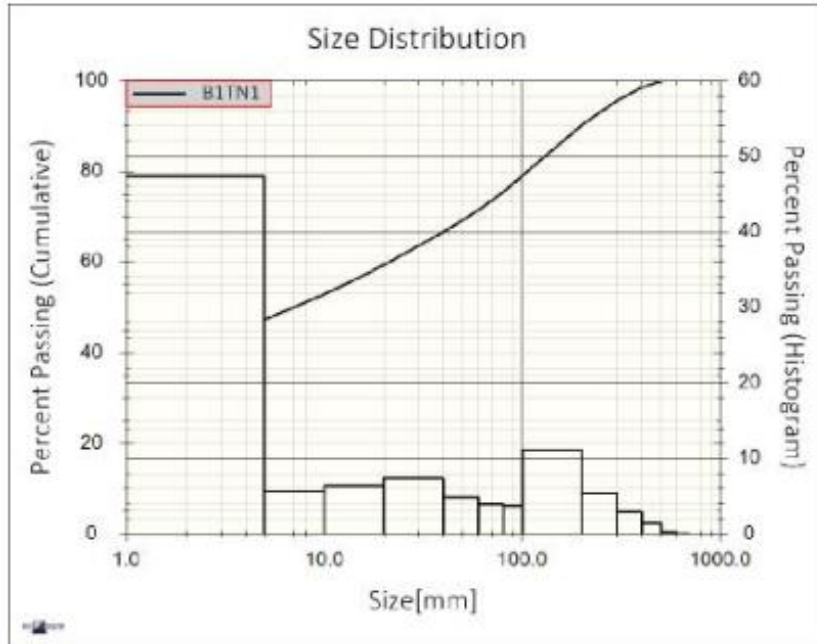
TT	Cỡ sàng	Khối lượng (g)		
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
	Kí hiệu mẫu	4D-1	4D-2	4D-3
1	< 2,5 mm	2394	2387	2211
2	2,5-5 mm	882	949	991
3	5-10 mm	1406	1469	1418
4	10-20 mm	1660	1561	1464
5	20-30 mm	1973	1928	2295
6	30-40 mm	1677	1760	2166
7	40-50 mm	2848	2723	2410
8	50-60 mm	830	949	915
9	60-70 mm	1174	964	946
10	> 70 mm	355	612	435
	Kí hiệu mẫu	5D-1	5D-2	
1	< 2,5 mm	3715	2413	
2	2,5-5 mm	1326	1710	
3	5-10 mm	1510	2088	
4	10-20 mm	1864	2012	
5	20-30 mm	1369	1604	
6	30-40 mm	1228	1891	
7	40-50 mm	3401	1392	
8	50-60 mm	424	1029	
9	60-70 mm	383	381	
10	> 70 mm	0	610	
	Kí hiệu mẫu	6D-1		
1	< 2,5 mm	2861		
2	2,5-5 mm	1244		
3	5-10 mm	1673		
4	10-20 mm	2495		
5	20-30 mm	2274		
6	30-40 mm	2148		
7	40-50 mm	770		
8	50-60 mm	1247		
9	60-70 mm	407		
10	> 70 mm	0		
	Kí hiệu mẫu	7D-1		

TT	Cỡ sàng	Khối lượng (g)		
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
1	< 2,5 mm	2401		
2	2,5-5 mm	2401		
3	5-10 mm	1571		
4	10-20 mm	2401		
5	20-30 mm	2356		
6	30-40 mm	1363		
7	40-50 mm	934		
8	50-60 mm	474		
9	60-70 mm	459		
10	> 70 mm	459		
	Kí hiệu mẫu	2P-1	2P-2	2P-3
1	< 2,5 mm	1417	1454	1296
2	2,5-5 mm	1725	1760	1373
3	5-10 mm	1632	1637	1388
4	10-20 mm	2079	1958	1601
5	20-30 mm	2218	2096	1662
6	30-40 mm	1278	1454	1891
7	40-50 mm	1109	1163	1449
8	50-60 mm	1201	1239	1922
9	60-70 mm	1063	887	1540
10	> 70 mm	1679	1652	1129
	Kí hiệu mẫu	3P-1	3P-2	3P-3
1	< 2,5 mm	3022	2546	1415
2	2,5-5 mm	815	1879	887
3	5-10 mm	1247	1779	1580
4	10-20 mm	2027	2853	1814
5	20-30 mm	2343	2638	1594
6	30-40 mm	1634	1104	1604
7	40-50 mm	2235	1166	1381
8	50-60 mm	1067	882	647
9	60-70 mm	678	491	1223
10	> 70 mm	383	0	3066
	Kí hiệu mẫu	4P-1	4P-2	4P-3
1	< 2,5 mm	3391	2926	3001

TT	Cỡ sàng	Khối lượng (g)		
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
2	2,5-5 mm	1258	1463	1447
3	5-10 mm	1556	1707	1562
4	10-20 mm	1743	1615	1608
5	20-30 mm	1804	1722	1424
6	30-40 mm	2116	1951	2082
7	40-50 mm	750	1494	1608
8	50-60 mm	908	945	857
9	60-70 mm	546	686	857
10	> 70 mm	1279	732	865
	Kí hiệu mẫu	5P-1	5P-2	
1	< 2,5 mm	2105	2025	
2	2,5-5 mm	1889	2117	
3	5-10 mm	1935	2145	
4	10-20 mm	2198	1918	
5	20-30 mm	1594	1672	
6	30-40 mm	2043	2163	
7	40-50 mm	1331	1197	
8	50-60 mm	960	905	
9	60-70 mm	820	813	
10	> 70 mm	604	387	
	Kí hiệu mẫu	6P-1	7P-1	
1	< 2,5 mm	3255	3512	
2	2,5-5 mm	1206	1286	
3	5-10 mm	1930	1400	
4	10-20 mm	2232	2813	
5	20-30 mm	1980	1705	
6	30-40 mm	1298	1644	
7	40-50 mm	1295	1212	
8	50-60 mm	695	566	
9	60-70 mm	386	608	
10	> 70 mm	1004	636	

Bảng PL. 31. Thành phần cỡ hạt và quy luật phân bố $P_{(x)}$ của các bài thí nghiệm tại Quảng Ninh

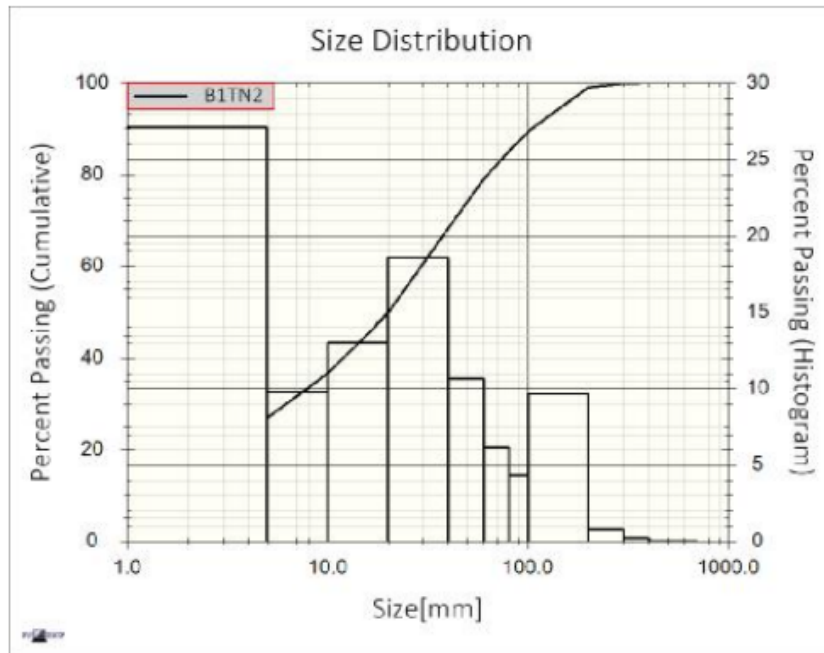
Split-Desktop Size Analysis Results: BITN1



	BITN1	BITN1L1	BITN1L2	BITN1L3		BITN1	BITN1L1	BITN1L2	BITN1L3
Size[mm]	% Passing	% Passing	% Passing	% Passing	% Passing	Size[mm]	Size[mm]	Size[mm]	Size[mm]
600	100,00	100,00	100,00	100,00	F10	0,08	0,09	0,06	0,10
500	99,84	99,48	100,00	100,00	F20	0,16	0,18	0,12	0,21
400	98,42	94,90	100,00	100,00	F30	0,24	0,40	0,19	0,84
300	95,53	86,64	99,00	100,00	F40	1,71	2,60	0,25	3,16
200	90,21	76,16	93,64	99,25	F50	7,01	10,12	2,76	8,56
100	79,08	68,28	77,57	90,03	F60	21,62	30,54	16,50	19,30
80	75,39	67,03	73,19	84,87	F70	52,70	126,55	62,18	38,98
60	71,50	65,71	69,64	78,37	F80	105,31	240,05	111,13	64,73
40	66,60	62,72	66,12	70,46	F90	197,21	331,71	166,54	99,89
20	59,26	55,96	61,00	60,48	Topsize (9)	509,39	512,39	326,48	229,83
10	52,97	49,90	57,00	51,78					
5	47,35	44,51	53,10	44,32					

	BITN1	BITN1L1	BITN1L2	BITN1L3
Fines Cutoff[mm]	17,75	49,50	17,75	23,25
Fines Factor	100,00	100,00	100,00	100,00
Auto-delineation Value	17,00	17,00	17,00	17,00

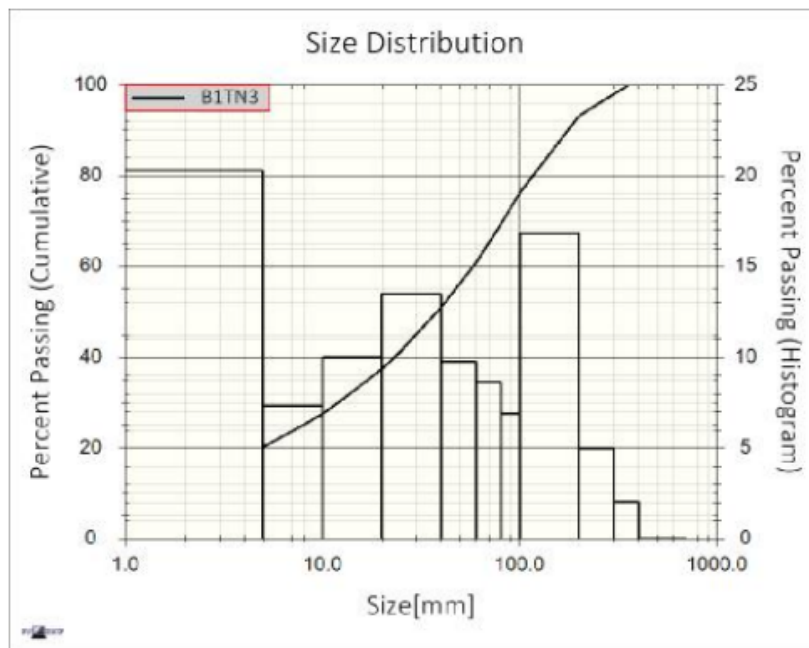
Split-Desktop Size Analysis Results: B1TN2



	B1TN2	B1TN2L3	B1TN2L2	B1TN2L1		B1TN2	B1TN2L3	B1TN2L2	B1TN2L1
Size[mm]	% Passing	% Passing	% Passing	% Passing	% Passing	Size[mm]	Size[mm]	Size[mm]	Size[mm]
400	100,00	100,00	100,00	100,00	F10	0,49	0,48	0,17	0,63
300	99,81	99,13	100,00	100,00	F20	2,51	3,00	0,75	2,73
200	99,05	96,17	98,62	100,00	F30	6,29	8,42	2,87	6,35
100	89,41	78,86	88,36	92,80	F40	12,04	17,56	7,22	11,58
80	85,12	71,90	84,56	89,28	F50	20,17	31,16	14,76	18,71
60	79,03	64,01	77,92	83,81	F60	29,88	49,86	26,57	27,14
40	68,36	55,09	67,61	72,55	F70	42,35	75,05	44,24	36,98
20	49,81	42,08	54,94	51,49	F80	62,69	103,57	65,21	51,43
10	36,85	32,09	44,29	37,29	F90	103,32	145,65	111,15	83,59
5	27,10	24,45	35,67	26,74	Topsize (99.95%)	360,55	381,43	232,92	169,44

	B1TN2	B1TN2L3	B1TN2L2	B1TN2L1
Fines Cutoff[mm]	17,50	52,00	27,75	17,50
Fines Factor	100,00	100,00	100,00	100,00
Auto-delineation Value	13,67	15,00	16,00	10,00

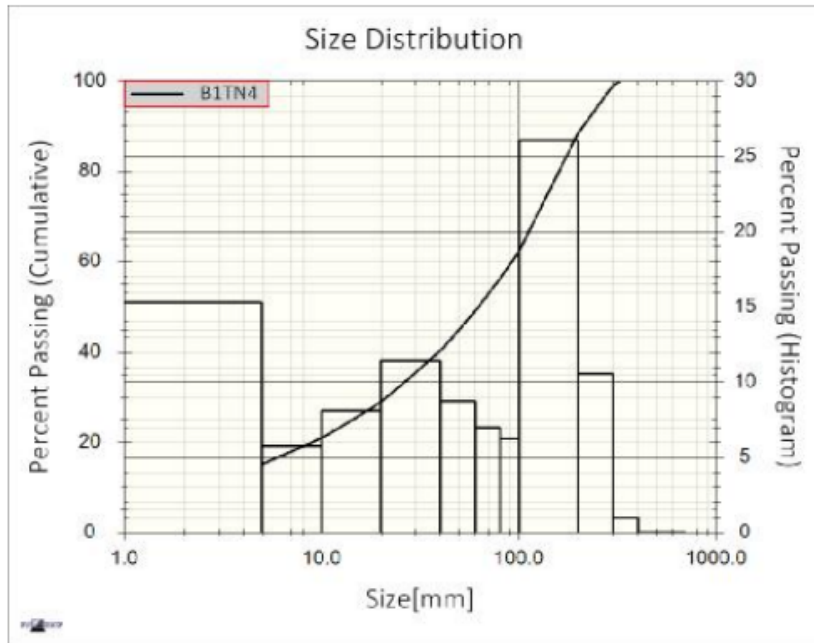
Split-Desktop Size Analysis Results: BITN3



Size[mm]	BITN3 % Passing	BITN3L2 % Passing	BITN3L3 % Passing	BITN3L1 % Passing	BITN3 % Passing	BITN3L2 Size[mm]	BITN3L3 Size[mm]	BITN3L1 Size[mm]
400	100,00	100,00	100,00	100,00	F10	0,99	1,00	0,16
300	97,99	100,00	100,00	97,77	F20	4,84	4,54	0,61
200	93,04	97,98	100,00	92,34	F30	12,05	10,98	2,37
100	76,24	82,38	92,66	74,82	F40	23,06	20,59	5,98
80	69,38	73,88	88,42	67,84	F50	38,22	33,61	12,25
60	60,78	64,39	82,20	59,11	F60	58,35	50,22	22,07
40	51,03	54,12	71,85	49,42	F70	81,62	71,74	37,06
20	37,56	39,48	58,20	36,01	F80	113,77	94,02	54,92
10	27,61	28,75	46,94	26,19	F90	169,65	124,63	86,82
5	20,29	20,90	37,84	19,02	Topsize (9)	356,75	265,92	191,88

	BITN3	BITN3L2	BITN3L3	BITN3L1
Fines Cutoff[mm]	26,00	52,00	26,00	44,50
Fines Factor	100,00	100,00	100,00	100,00
Auto-delineation Value	14,00	15,00	17,00	10,00

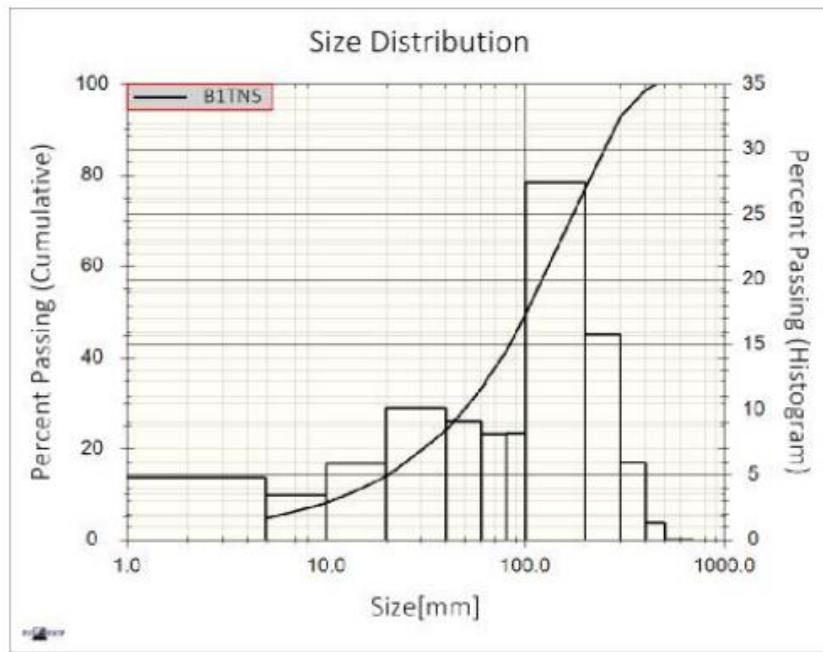
Split-Desktop Size Analysis Results: BITN4



	BITN4	BITN4L1	BITN4L2		BITN4	BITN4L1	BITN4L2
Size[mm]	% Passing	% Passing	% Passing	% Passing	Size[mm]	Size[mm]	Size[mm]
400	100,00	100,00	100,00	F10	1,97	6,71	1,14
300	99,01	100,00	98,58	F20	8,97	18,34	6,14
200	88,44	94,94	85,60	F30	21,32	33,11	16,40
100	62,38	63,70	61,81	F40	39,04	50,40	33,07
80	56,15	54,33	56,94	F50	62,03	70,04	57,13
60	49,20	45,07	51,01	F60	92,34	92,05	92,59
40	40,47	34,15	43,23	F70	125,28	113,73	133,78
20	29,11	21,23	32,55	F80	161,41	139,24	173,83
10	21,03	13,17	24,47	F90	208,47	173,71	223,80
5	15,27	8,16	18,37	Topsize (9)	326,73	274,01	328,17

	BITN4	BITN4L1	BITN4L2
Fines Cutoff[mm]	69,00	69,00	74,50
Fines Factor	100,00	100,00	100,00
Auto-delination Value	9,00	8,00	10,00

Split-Desktop Size Analysis Results: BITN5



	BITN5	BITN5L2	BITN5L1		BITN5	BITN5L2	BITN5L1
Size[mm]	% Passing	% Passing	% Passing	% Passing	Size[mm]	Size[mm]	Size[mm]
500	100,00	100,00	100,00	F10	12,91	13,73	12,26
400	98,72	97,03	100,00	F20	31,31	31,01	31,58
300	92,77	89,34	95,38	F30	52,54	49,97	55,02
200	77,01	78,19	76,11	F40	76,55	70,90	82,66
100	49,57	54,03	46,18	F50	101,07	91,40	110,78
80	41,38	44,40	39,08	F60	128,71	114,16	141,03
60	33,29	35,04	31,96	F70	166,40	147,81	175,31
40	24,23	24,83	23,77	F80	216,31	215,30	216,68
20	14,08	13,77	14,32	F90	277,92	306,47	265,09
10	8,19	7,63	8,61	Topsize (9)	451,17	452,49	363,53
5	4,76	4,23	5,17				

	BITN5	BITN5L2	BITN5L1
Fines Cutoff[mm]	62,75	62,75	72,50
Fines Factor	100,00	100,00	100,00
Auto-delineation Value	5,50	5,00	6,00