NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KÍCH THƯỚC TRỤ THAN BẢO VỆ CÁC ĐƯỜNG LÒ CHUẨN BỊ

TS. Dương Đức Hải, TS. Nguyễn Ngọc Giang
KS. Nguyễn Nam Khánh
Viện Khoa học Công nghệ Mỏ -Vinacomin

Biên tập: TS. Phan Văn Việt

Tóm tắt:

Hiện nay, tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh chưa có sự thống nhất trong việc xác định kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị trong hệ thống khai thác cột dài theo phương. Điều này đã gây khó khăn không nhỏ cho sản xuất của các đơn vị, cũng như công tác quản lý kỹ thuật của Tập đoàn; đặc biệt là sự hạn chế về cơ sở khoa học, hành lang pháp lý trước cơ quan quản lý Nhà nước liên quan. Để giải quyết vấn đề nêu trên, nhóm tác giả nghiên cứu tổng quan các phương pháp tính toán kích thước trụ than bảo vệ tại các nước có nền công nghiệp than tiên tiến trên thế giới, trên cơ sở đó, lựa chọn phương pháp tính toán phù hợp với điều kiện các mỏ than hầm lò của TKV.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, phần lớn sản lượng than khai thác hầm lò tại các đơn vị thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) từ các lò chợ áp dụng hệ thống khai thác cột dài theo phương (chiếm khoảng 84% tổng sản lượng khai thác hầm lò năm 2021) [1]. Trong hệ thống khai thác khai thác này, để duy trì lò dọc vỉa vận tải của phân tầng trên làm lò dọc vỉa thông gió cho lò chợ phân tầng dưới, quá trình khai thác dọc theo phương sẽ để lại một dải than giáp lò vận tải làm trụ bảo vệ (hình 1a). Việc xác định kích thước trụ bảo vệ tối ưu là vấn đề hết sức quan trọng trong thực tế sản xuất. Nếu chiều rộng trụ than bảo vệ lớn quá mức cần thiết, đồng nghĩa với việc tỷ lệ than để lại vĩnh viễn trong các trụ bảo vệ tăng cao, gây lãng phí tài nguyên. Mặt khác, nếu chiều rộng trụ than bảo vệ nhỏ hoặc không đáp ứng được yêu cầu về tải trọng chống đỡ, hoặc sẽ làm tăng chi phí chống xén và duy trì bảo vệ các đường lò chuẩn bị. Tuy nhiên, cho đến nay, chưa có sự thống nhất trong tính toán, xác định kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị phù hợp với điều kiện địa chất kỹ thuật mỏ của từng khu vực. Kích thước trụ than bảo vệ theo hướng dốc tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh thường được chọn theo kinh nghiệm từ 12 ÷ 20m ở tất cả các độ sâu khai thác [2]. Điều này đã gây khó khăn không nhỏ cho sản xuất của các đơn vị, cũng như công tác quản lý kỹ thuật của Tập đoàn; đặc biệt là sự hạn chế về cơ sở khoa học, hành lang pháp lý trước cơ quan quản lý Nhà nước liên quan. Do đó, cần thiết nghiên cứu tổng quan các phương pháp tính toán trụ than bảo vệ các đường lò chuẩn bị tại các nước có nền công nghiệp than tiên tiến trên thế giới, trên cơ sở đó, xem xét lựa chọn phương pháp tính toán phù hợp với điều kiện các mỏ than hầm lò của TKV.

2. Tổng quan các phương pháp tính toán, xác định kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị

2.1. Trong nước

Tại Việt Nam, kích thước trụ than bảo vệ trong các dự án mỏ của TKV đang được tính toán, xác định theo công thức của GS. Protodiakonov [3]. Chi tiết thể hiện trong công thức (1) dưới đây.

$$L_{tr} \geq \frac{\cos\alpha}{5} \times \sigma \times \sqrt{\frac{L_d \times H}{f}} \quad (1)$$

Trong đó:

L_d - Chiều dài theo hướng dốc của lò chợ, m;

α - Góc dốc của vỉa, độ;

H - Chiều sâu khai thác trung bình, m;

f - Hệ số kiên cố của đá vách theo thang chia của Protodiakonov;

σ - Hệ số kể đến độ bền của than và đá trụ.

Theo công thức (1), chiều rộng trụ than bảo vệ phụ thuộc trực tiếp và tỷ lệ thuận với chiều sâu khai thác, nghĩa là chiều sâu khai thác càng tăng, chiều rộng trụ than bảo vệ lò chuẩn bị để lại càng lớn. Ví dụ, trong điều kiện các yếu tố như chiều dài theo hướng dốc lò chợ (trung bình L_d = 100 ÷ 120m), góc dốc lò chợ (trung bình α = 15 ÷ 20°), hệ số kiên cố của đá vách f và hệ số kể đến độ

Bảng 1. Chiều rộng trụ than bảo vệ tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh

Stt	Tên mỏ	Tên vỉa than	Mức khai thác, m	Chiều dày vỉa, m	Góc dốc, độ	Chiều rộng trụ than, m	Stt	Tên mỏ	Tên vỉa than	Mức khai thác, m	Chiều dày vỉa, m	Góc dốc, độ	Chiều rộng trụ than, m
1	Mạo Khê	Vỉa 10	+50	2	19	21	7	Hà Lầm	Vỉa 11.1	-170	8.8	7	17
			+220	1.69	31	14				-150	9.6	10	12
		Vỉa 9	-20	1.5	29	23			Vỉa 10	-230	4.5	12	16
		Vỉa 8	-130	1.4	25	22				-20	5.9	8	20
2	Vàng Danh	Vỉa 8	+40	2.8	26	18			Vỉa 7	-180	15	15	19
		Vỉa 7	+50	2.4	25	17				-200	18	30	21
		Vỉa 6	-170	2.8	17	21	8	Uông Bí	Vỉa 10	+20	3	45	21
3	Khe Chàm	Vỉa 14.4	-180	2.03	19	16				-20	2.3	47	15
			-170	2.98	10	20			Vỉa 8(43)	-20	2.3	28	18
			-130	2.11	4	21				+60	1.4	27	11
		14.2	-200	3.0	4	10			Vỉa 5A	+30	2.29	20	16
		Vỉa 14.5	-170	7.75	15	17				-70	2.17	24	16
			-210	6.46	11	25	9	Quang hanh	Vỉa 15	-100	1.46	34	12
			-120	6.24	6	20				-180	1.34	27	15
4	Nam Mẫu	Vỉa 8	+50	2	5	15			Vỉa 14	-140	4.23	24	11
			+80	2.5	30	12				-80	2.3	35	18
		Vỉa 7	+70	5.8	30	12			Vỉa 13	-160	2.5	25	11
			+30	5.12	28	17				-50	2.6	33	16
			-30	5.12	25	22	10	Mông Dương	Vỉa 8	-200	2.7	19	20
		Vỉa 9	+50	2.35	3	11				-150	1.5	30	17
			+80	2.2	15	16				-240	2.3	18	23
5	Núi Béo	Vỉa 11	-100	4.43	5	10			Vỉa 7	-120	5.8	15	19
			-170	4.47	12	11				-160	3.6	15	16
		Vỉa 10	-220	7.71	13	15				-80	7	17	10
			-140	4.7	25	14	11	Thống Nhất	Vỉa 6D	-40	22	28	17
6	Dương Huy	Vỉa 14	-50	6.67	30	17				+0	9.7	21	11
			+20	2	31	13			Vỉa 5C	-70	11	20	17
		Vỉa 13	-30	4.2	11	10	12	Hạ Long	Vỉa 11	-150	3.6	25	12
			+20	3.34	8	10			Vỉa 10	-270	6	21	16
		Vỉa 12	+30	2.7	10	15	13	Hòn Gai	Vỉa 11	-110	3	25	13
			-40	2	12	15			Vỉa 10	-20	3	33	12

bền của than σ không đổi, chiều rộng trụ than bảo vệ lò chuẩn bị theo tính toán sẽ phải lớn hơn 20m với chiều sâu khai thác như hiện nay tại các mỏ hầm lò của TKV là 300m và lớn hơn 35m khi chiều sâu khai thác theo kế hoạch của các mỏ trong thời gian tới là 750m so với bề mặt địa hình. Như vậy, lượng than tổn thất phải để lại trong các trụ bảo vệ lò chuẩn bị là rất lớn và tăng nhanh khi diện khai thác ngày càng xuống sâu. Điều đó cho thấy, việc áp dụng công thức (1) trong tính toán, lựa chọn kích thước trụ bảo vệ là chưa thực sự hợp lý.

Qua khảo sát, đánh giá sơ bộ tại 13 mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh cho thấy, kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị hầu hết được lựa chọn theo kinh nghiệm từ 10 ÷ 25m. Chi tiết xem tại bảng 1.

Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp kết quả lựa chọn chưa phù hợp với điều kiện thực tế. Cụ

thể, tại một số mỏ như Tân Lập, Công ty than Hạ Long, trụ than có kích thước 12m tại độ sâu khai thác -150m đã đảm bảo yêu cầu bảo vệ lò dọc vỉa. Ngược lại, quá trình đào lò chuẩn bị và khai thác tại khu giếng Vàng Danh, Công ty than Vàng Danh, trụ than bảo vệ lò dọc vỉa đã có kích thước lên tới 21m tại độ sâu khai thác -175m vẫn chưa đáp ứng yêu cầu bảo vệ, lò bị nén lún phải chống xén nhiều mới đảm bảo yêu cầu sử dụng lại cho lò chợ kế tiếp, làm tăng chi phí và gây ảnh hưởng không nhỏ đến tiến độ sản xuất. Tại mỏ Khe Chàm III, ở độ sâu khai thác -200m để lại trụ bảo vệ có chiều rộng trung bình 10m vẫn đảm bảo yêu cầu chống giữ. Điều nay đặt ra vấn đề, cần xem xét nghiên cứu tổng hợp nhiều yếu tố khác trong việc tính toán xác định kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị trong từng điều kiện mỏ cụ thể.

2.2. Trên thế giới

Tại các nước trên thế giới như Mỹ, Úc, Ba Lan, Nga, Trung Quốc… từ lâu đã nghiên cứu xây dựng và ban hành các hướng dẫn tính toán, xác định kích thước trụ than bảo vệ các đường lò dọc vỉa trong hệ thống khai thác cột dài theo phương tại các mỏ hầm lò [4, 5, 6, 7, 8]. Theo đó, chiều rộng trụ bảo vệ được tính toán thiết kế không chỉ phụ thuộc hoàn toàn vào chiều sâu khai thác mà còn trên cơ sở xem xét nhiều yếu tố khác như tải trọng đất đá lên trụ than, cường độ kháng nén của đá vách, đá trụ và than, bước gãy thường kỳ của đá vách, chiều dày vỉa... Thực tế cho thấy, các phương pháp xác định chiều rộng trụ bảo vệ đã đưa ra kết quả tính toán tương đối chính xác, giúp giảm tổn thất tài nguyên than và đảm bảo an toàn trong quá trình khai thác.

Việc lựa chọn chiều rộng trụ than phụ thuộc chủ yếu vào đặc điểm điều kiện địa chất kỹ thuật mỏ của từng khu vực cụ thể hoặc loại vì chống sử dụng tại các đường lò dọc vỉa hoặc kinh nghiệm khai thác mỏ tại quốc gia đó. Ví dụ, chiều rộng trụ than bảo vệ các đường lò dọc vỉa của các lò chợ dài, chống giữ hoàn toàn bằng vì neo tại Anh thường được lấy từ 20 ¸ 140m, tại Úc từ 24 ¸ 55m, tại Mỹ từ 10 ¸ 135m [6]. Thực tế cho thấy, chiều rộng trụ than bảo vệ các đường lò dọc vỉa được chống giữ hoàn toàn bằng vì neo sẽ tỷ lệ thuận với chiều sâu khai thác (hình 1b). Đối với các đường lò dọc vỉa chống giữ bằng vì thép, tại Trung Quốc chiều rộng trụ than thường được lấy từ 3 - 4m đối với vỉa than có độ bền từ trung bình trở lên hay từ 4 - 5m đối với vỉa than có độ bền nhỏ; tại Đức từ 2 - 5m; hoặc tại Ba Lan được chọn tối thiểu khoảng 5m [6].

Tổng quan kinh nghiệm trên thế giới cho thấy, hiện nay có rất nhiều phương pháp khác nhau liên quan đến việc tính toán xác định kích thước trụ than bảo vệ. Trước đây, tại Anh chiều rộng trụ than tính toán theo kinh nghiệm chỉ phụ thuộc vào chiều sâu khai thác [6] như tại công thức (2):

W = 0,1H + 15 (m) (2)

Trong đó,

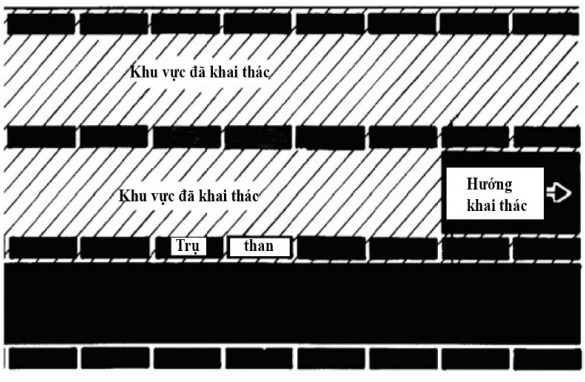
W - chiều rộng trụ than bảo vệ;

H - Chiều sâu khai thác.

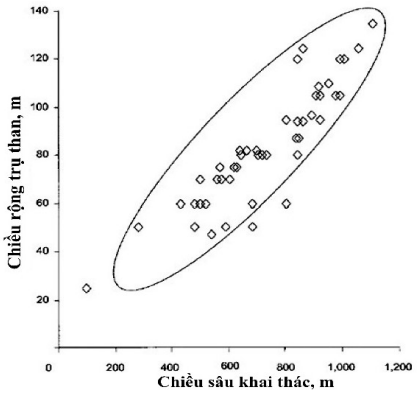
Hay tại Trung Quốc [7], đưa thêm yếu tố độ bền của trụ và chiều dày vỉa than vào tính toán chiều rộng trụ than bảo vệ như tại công thức (3) và hình 2.

$$S_1 = \sqrt{\frac{H(2,5+0,6M)}{f}} \quad (3)$$

Trong đó:



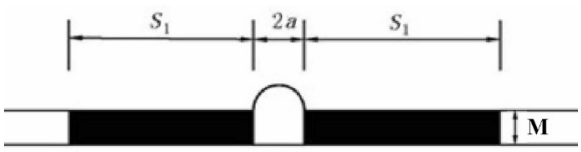
a) Sơ đồ HTKT cột dài theo phương



b) Mối quan hệ giữa chiều sâu khai thác và chiều rộng trụ than

Hình 1. Kích thước trụ than bảo vệ trong HTKT cột dài theo phương [6]

S_1 - chiều rộng trụ than bảo vệ;
H - chiều sâu của đường lò chuẩn bị, m;
M - chiều dày của vỉa than, m;
f - độ bền của trụ than, f = $0,1\sqrt{10R_c}$;
R_c - cường độ kháng nén của khối than nguyên (được xác định bằng thí nghiệm nén trên mẫu than nguyên), MPa.

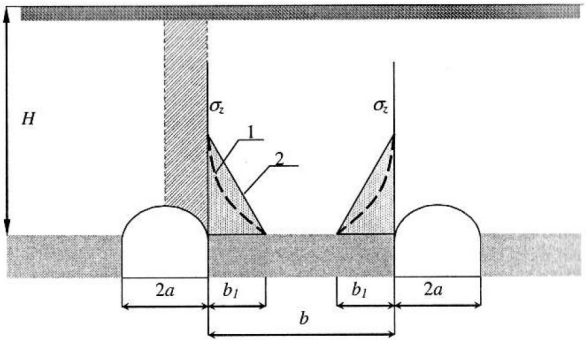


Hình 2. Kích thước trụ than bảo vệ tại các mỏ hầm lò Trung Quốc [6]

Tại Ba Lan [8], chiều rộng trụ than bảo vệ giữa hai đường lò chuẩn bị (hình 3) được xác định trên cơ sở *hệ số an toàn n* (*tiếng Anh: Stability Factor hay SF*) theo công thức (4):

$$b = 2b_1n = 0,33n\sqrt{\frac{\gamma Ha}{f}} \quad (4)$$

Trong đó:
n - hệ số an toàn, được lấy giá trị từ 1,5 ÷ 2,0;
H - chiều sâu của đường lò chuẩn bị, m;
g - trọng lượng thể tích của đất đá, MN/m^3;
a - 1/2 chiều rộng đường lò chuẩn bị, m;
f - độ bền của trụ than.



Hình 3. Kích thước trụ than bảo vệ tại các mỏ hầm lò Ba Lan [8]

Những năm gần đây, nhiều nhà khoa học tại Mỹ, Úc, Nam Phi, Ba Lan, Nga... đã đưa ra những công trình nghiên cứu tính toán *hệ số an toàn SF* nhằm nâng cao sự chính xác trong việc xác định chiều rộng trụ than tối ưu, như thể hiện tại công thức (5):

$$SF = \frac{P_{tr}}{P_v} \quad (5)$$

Trong đó:
P_{tr} - Khả năng chịu tải của trụ than hay độ bền của trụ;
P_v - Tải trọng của khối đất đá lên trụ than.

Các nhà khoa học đã cố gắng nghiên cứu tìm ra giá trị phù hợp của *hệ số SF* đảm bảo trụ than làm việc ổn định trong thực tế khai thác. Điển hình là các quan sát được thực hiện trong nhiều năm bởi Salamon&Munro (1967) đối với 125 trụ than ở các độ sâu khác nhau, trong đó chỉ có 27 trụ than sập đổ, đã chỉ ra rằng đối với hệ số an toàn SF ³ 1,6 các trụ than tương đối ổn định, thể hiện qua số lượng lớn các trụ than không bị sập đổ (tỷ lệ lỗi là 27/125, khoảng 21%). Năm 1991, Sroka tiếp tục nghiên cứu và cho thấy rằng với SF = 1,6, tỷ lệ trụ than bị phá hủy là 0,0015. Kết quả nói trên được khẳng định bởi Wagner và Maddena (1984) đã phân tích 1,2 triệu trụ than, trong đó chỉ có 4.000 trụ than bị phá hủy. Ngoài ra, quá trình khai thác thực tế cho thấy, các trụ than ổn định khi có hệ số an toàn SF = 1,5 ¸ 1,8 tại các mỏ hầm lò của Mỹ, Nam Phi và Úc [10, 11]; hoặc từ 1,5 ÷ 2,0 tại Nga và Ba Lan [8].

Tổng quan các phương pháp tính toán xác định *hệ số an toàn SF* được trình bày chi tiết sau đây:

2.2.1. Xác định tải trọng lên trụ than (P_v)

Thực tế cho thấy, việc xác định chính xác các ứng suất lực tác dụng lên trụ than đòi hỏi rất phức tạp, phụ thuộc vào nhiều yếu tố như (i) ứng suất nguyên sinh của khối đá, (ii) những thay đổi về ứng suất gây ra bởi hoạt động khai thác, (iii) kiến tạo, (iv) hình dạng và sự bố trí của các trụ than, (v) tỷ lệ giữa diện tích của các trụ than với không gian khai thác, và (vi) độ ẩm của đá... Có thể thấy rằng, không thể đưa vào đồng thời tất cả các yếu tố nói trên trong tính toán, do đó người ta chủ yếu xây dựng phương pháp tính toán giá trị tải trọng lên trụ than (P_v) theo (iv, v) và chiều sâu khai thác. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, đối với mỗi hình dạng trụ than khác nhau, tải trọng tác dụng lên trụ than cũng khác nhau tương ứng. Đối với các **trụ than bảo vệ dạng dải trong hệ thống khai thác cột dài theo phương**, tải trọng lên trụ than được xác định theo công thức (6) [10].

$$P_v = H \cdot \gamma \cdot \left(1 + \frac{d}{w}\right) \quad (6)$$

Trong đó: w - Chiều rộng trụ than, m; d - chiều rộng đường lò dọc vỉa, m; H - độ sâu khai thác, m; g - trọng lượng thể tích trung bình của các tầng đất đá, kg/m^3.

Theo [5], mặc dù phạm vi các tầng đất đá tác dụng lên trụ than có hình dạng và thể tích khác nhau, song tải trọng tác động (P_v) có thể được tính toán theo công thức (7) (hình 4):

$$P_v = 0,5\gamma H(2B_1 + a + L_o + Htg\omega) \quad (7)$$

Trong đó:

g - dung trọng trung bình của các tầng đất đá, tấn/m^3;

a - chiều rộng đường lò dọc vỉa, m;

w - góc nghiêng sập đổ của vùng biến dạng, dịch chuyển bên trên trụ than;

H - chiều sâu của đường lò dọc vỉa, m;

L_o - Bước gãy thường kỳ của đá vách cơ bản, m. Theo giả thuyết áp lực mỏ dầm côngxơn, bước phá hoả thường kỳ của đá vách cơ bản xác định theo công thức [12]:

$$L_o = h_{cb}\sqrt{\frac{\sigma_u}{6(q+\gamma_{cb}h_{cb})}} \quad (8)$$

h_{cb} - chiều dày của đá vách cơ bản, m;

s_u - ứng suất uốn của đá vách cơ bản, KG/cm^2;

q - tải trọng của đá vách cơ bản, T/m^2;

g_{cb} - trọng lượng thể tích của đá vách cơ bản, tấn/m^3

2.2.2. Phương pháp xác định khả năng chịu tải của trụ than (P_{tr})

Yếu tố cơ bản thứ hai của hệ số an toàn SF cần xác định là khả năng chịu tải của trụ than hay độ bền của trụ (P_{tr}). Phương pháp xác định độ bền của trụ than P_{tr} trong hệ thống khai thác cột dài theo phương tương tự như đối với các hệ thống khai thác buồng-cột. Độ bền của trụ than phụ thuộc vào ba yếu tố chính gồm: kích thước của trụ (chiều rộng, chiều cao), hình dạng và tính chất của than. Hiện nay có 3 loại công thức được xây dựng để xác định độ bền của trụ than, cụ thể:

- Công thức LSEF (xây dựng bằng các hàm tuyến tính - *Linear Shape Effect Formula*);
- Công thức PSEF (xây dựng bằng các hàm số mũ - *Power Shape Effect Formul*a);
- Công thức SEF (xây dựng bằng hệ số ảnh hưởng - *Size Effect Formula*).

Công thức LSEF giả định rằng các trụ than với mỗi tỷ lệ chiều rộng *w*/chiều cao *h* sẽ có các giá trị độ bền khác nhau và không phụ thuộc vào thể tích của trụ than, như thể hiện tại công thức chung (9):

$$P_{tr} = \sigma_{ci}\cdot\left(A + B\frac{w}{h}\right) \quad (9)$$

Trong đó:

s_{ci} cường độ kháng nén của than (giá trị này được xác định bởi nhiều tác giả tùy thuộc vào kích thước và hình dạng của mẫu than thử nghiệm);

A, B - hằng số không thứ nguyên. Giá trị của A và B theo một số nghiên cứu xem tại bảng 2.

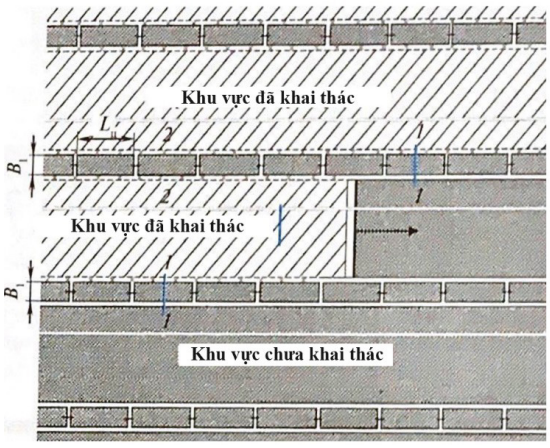
Công thức PSEF giả định rằng, độ bền của trụ than phụ thuộc chủ yếu vào căn bậc hai của tỷ số giữa chiều rộng và chiều cao (*w/h*) và theo công thức (10):

$$P_{tr} = \sigma_{ci}\cdot\sqrt{\frac{w}{h}} \quad (10)$$

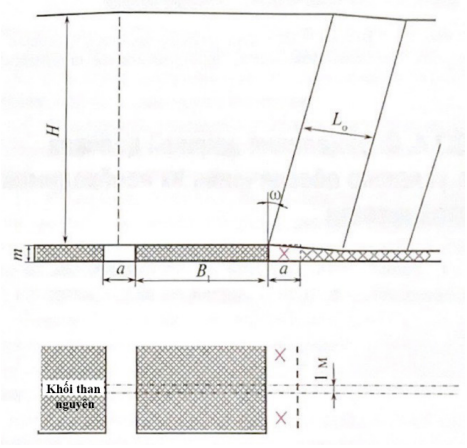
Công thức SEF cho rằng mức độ tăng của độ bền trụ phụ thuộc vào chiều cao.

$$P_{tr} = k\frac{w^{\alpha}}{h^{\beta}} \quad (11)$$

Trong đó: a, b - hằng số không thứ nguyên,



a) Mặt cắt theo hướng dốc



b) Mặt cắt theo phương

Hình 4. Xác định tải trọng lên trụ than theo phương pháp của Nga [5]

Bảng 2. Tổng hợp các giá trị hệ số trong công thức LSEF theo các công trình nghiên cứu [10]

TT	Tên tác giả	A	B	w/h
1	Bunting (1911)	0,700	0,300	0,5 ÷ 1,0
2	Sałustowicz (1961)	0,750	0,250	-
3	Obert & Duvall (1967)	0,778	0,222	0,5 ÷ 2,0
4	Bieniawski (1968)	0,556	0,444	1,0 ÷ 3,1
5	Van Heerden (1974)	0,704	0,296	1,1 ÷ 3,4
6	Bieniawski (1975)	0,640	0,360	1,0 ÷ 3,1
7	Wang (1977)	0,780	0,220	≤8,0
8	Sorenson & Pariseau (1978)	0,693	0,307	0,5 ÷ 2,0
9	Belesky (1980)	0,640	0,360	>5,0

Bảng 3. Tổng hợp các giá trị hệ số trong công thức SEF theo các công trình nghiên cứu [10]

TT	Tên tác giả	α	β
1	Zern (1926)	0,50	0,50
2	Greenwald et al. (1939)	0,50	0,83
3	Steart (1954)	0,50	1,00
4	Morrisom, Cortell & Rice (1956)	0,50	0,50
5	Holland & Gaddy (1962)	0,50	1,00
6	Salamon & Munro (1967)	0,46	0,66
7	Bieniawski (1968)	0,16	0,55
8	Hedley & Grant (1972)	0,50	0,75
9	Sheorey et al. (1987) (dành cho các trụ nhỏ)	0,50	0,86

được xác định theo các điều kiện khai thác và địa chất cụ thể; k - cường độ kháng nén của than (mẫu lập phương có chiều dài mỗi cạnh 0,3m).

Tổng hợp các giá trị của hệ số a, b theo một số các công trình nghiên cứu được thể hiện tại bảng 3. Cần lưu ý rằng các giá trị α và β được ước tính cho kích thước trụ tính bằng feet, áp lực tính bằng pound trên inch vuông.

Trên cơ sở các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, trên thế giới đã đưa ra được rất nhiều công thức tính toán trụ than bảo vệ theo các kiểu công thức nói trên phù hợp với từng điều kiện địa chất kỹ thuật mỏ cụ thể, như tổng hợp tại bảng 4.

Tại Mỹ, độ bền của trụ than được tính theo phương pháp ALPS (tiếng Anh: *Analysis of Longwall Pillar Stability*) [14]. Trong phương pháp này độ bền của khối than, được xác định theo công thức thực nghiệm của Bieniawski (1975):

$$P_{tr} = S_1(0,64 + 0,36\frac{w}{h}) \quad (12)$$

S_1 - độ bền của than được tính trung bình trên cơ sở thí nghiệm các mẫu (psi)

Phương pháp này đã và đang được áp dụng rộng rãi tại các mỏ than của Mỹ và Úc [6]. Tại Ba Lan, việc thiết kế các trụ than bảo vệ cũng sử dụng phương pháp của Salustowicza dựa trên công thức của Bieniawski [6]. Tại Nam Phi - một trong những nước dẫn đầu thế giới về công tác nghiên cứu thiết kế trụ than bảo vệ - sử dụng công thức của Salamon và Munro năm 1967 với hệ số SF = 1,3 ÷ 1,9, trung bình 1,6 [10].

3. Đề xuất phương pháp tính toán, xác định kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị cho các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh

Kết quả tổng quan trên thế giới cho thấy, hiện nay có rất nhiều phương pháp tính toán kích thước các trụ than bảo vệ lò chuẩn bị khác nhau. Kết quả đã xây dựng được các công thức thực nghiệm phù hợp với từng điều kiện mỏ cụ thể. Tựu chung lại, việc xác định kích thước trụ than bảo vệ không chỉ dựa trên một số yếu tố như chiều sâu khai thác, độ cứng của than như trong công thức (1) (2) và (3), mà còn phải xem xét tổng hợp nhiều yếu tố khác, bằng cách sử dụng *hệ số an toàn SF*. Thực tế áp dụng cho thấy, việc tính toán, lựa chọn kích thước trụ than bảo vệ dựa trên hệ số SF đã giúp tăng độ

Bảng 4. Tổng hợp các công thức tính toán độ bền trụ trên thế giới [13]

Zern Edward Nathan (1928)	**Greenwald (1941)**	**Salamon and Munro (1967)** *dùng cho Nam Phi*
$C_p = C_1\sqrt{\frac{w_p}{h_p}}$	$C_p = 0,67k\frac{\sqrt{w_p}}{h_p^{0,83}}$	$C_p = k_{SM}h_p^{\alpha}w_p^{\beta}$
C_p là độ bền của trụ, C_1 là độ bền của than, w_p chiều rộng trụ, h_p chiều cao trụ	C_p là độ bền của trụ, k là độ bền của mẫu than, w_p chiều rộng trụ, h_p chiều cao trụ	C_p là độ bền của trụ,k_{SM} = 7,176 kPa, w_p chiều rộng trụ, h_p chiều cao trụ α = -0,66, β = 0,46
	Độ bền của khối than được tính cho một đơn vị thể tích của mẫu than	k được tính toán cho mẫu than kích thước 30cm
Obert and Duvall (1967)	**Bieniawski (1975)**	**Logie and Matheson (1982)**
$C_p = C_{10}\left[0,778+0,222\left(\frac{w_p}{h_p}\right)\right]$	$C_p = k_B\left[0,64+0,36\left(\frac{w_p}{h_p}\right)\right]$	$C_p = k_B\left[0,64+0,34\left(\frac{w_p}{h_p}\right)\right]^{1,4}$
C_p là cường độ kháng nén, C_{10} là cường độ kháng nén của mẫu than với tỷ lệ $\frac{d}{h}=1$, d là đường kính của mẫu, h là chiều cao mẫu	C_p là độ bền của trụ k_B là cường độ kháng nén của mẫu than hình lập phương với các cạnh 30cm (MPa), w_p chiều rộng trụ, h_p chiều cao trụ	C_p là cường độ kháng nén, k_B là hệ số cường độ kháng nén, w_p chiều rộng trụ, h_p chiều cao trụ
	Mẫu than nên là hình lập phương với các cạnh 30cm	

Mark-Bieniawski (1997)	**Sheorey (1992)**
$C_p = S_1\left[0,64+\left(0,54\frac{w_p}{h_p}-0,18\left(\frac{w_p^2}{h_pL_p}\right)\right)\right]$	$C_p = 0,27\sigma_c h_p^{-0,36}+\left(\frac{H}{250}+1\right)\left(\frac{w_p}{h_p}-1\right)$
C_p là độ bền của trụ than, S_1 độ bền của than nguyên khối, w_p chiều rộng trụ, h_p chiều cao trụ, L_p chiều dài theo phương của trụ	C_p là độ bền của trụ than, H - độ sâu khai thác của vỉa than, σ_c độ bền của than, w_p chiều rộng trụ, h_p chiều cao trụ

chính xác, do đó, ngày càng được áp dụng phổ biến tại các mỏ than hầm lò trên thế giới.

Trên cơ sở kết quả tổng quan và phân tích nêu trên, nhóm tác giả đề xuất phương pháp xác định kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị cho các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh sử dụng *hệ số an toàn SF* theo công thức (13) và trình tự các bước tính toán như sau:

$$SF = \frac{P_{tr}}{P_v} \geq 1,6 \quad (13)$$

Bước 1: Xác định tải trọng tác dụng lên trụ than bảo vệ (P_v) được tính toán và xác định theo công thức số (7).

Bước 2: Xác định độ bền của trụ than bảo vệ (P_{tr}) dựa trên công thức thực nghiệm của Bieniawski đang được áp dụng tương đối rộng rãi tại các nước:

$$P_{tr} = \sigma_n(0,64+0,36\frac{w}{h}) \quad (14)$$

Trong đó: s_n cường độ kháng nén của than được xác định bằng thí nghiệm nén đối với mẫu than hình lập phương kích thước mỗi cạnh 30cm.

Bước 3: Trên cơ sở các công thức (13), (7), (8) và (14) sẽ tính toán và lựa chọn được chiều rộng hợp lý của trụ than bảo vệ lò dọc vỉa.

Ví dụ, tính toán xác định kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị tại một mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh với các thông số đầu vào như sau: chiều rộng đường lò dọc vỉa 3,0m tại độ sâu khai thác 300m. Vỉa than có chiều dày trung bình 2,2m, góc dốc vỉa 10°. Vách trực tiếp là bột kết có chiều dày 9,0m, trọng lượng thể tích 2,6T/m³. Vách cơ bản là cát kết có chiều dày 25m, trọng lượng thể tích

Bảng 5. Kết quả tính toán xác định chiều rộng trụ than bảo vệ

TT	Nội dung	Ký hiệu	Đơn vị	Kết quả tính toán	Công thức áp dụng
I	**Tải trọng tác dụng lên trụ than**	**P_v**	**tấn**	**38.559,6**	(7)
1	Trọng lượng thể tích trung bình của các tầng đất đá	□	tấn/m^3	2,3	
2	Chiều rộng đường lò dọc vỉa	a	m	3	
3	Bước gãy thường kỳ của đá vách cơ bản	L_o	m	15	(8)
4	Góc nghiêng sập đổ của vùng biến dạng, dịch chuyển bên trên trụ than	□	độ	12	
5	Chiều sâu của đường lò dọc vỉa	H	m	300	
II	**Độ bền của trụ than**	**P_{tr}**	**tấn**	**61.890,91**	(14)
1	Chiều cao trụ than bảo vệ	h	m	2,2	
2	Cường độ kháng nén của than	□	tấn/m^2	20.000	
-	**Hệ số an toàn**	**SF**	≥	**1,60**	(13)
-	**Chiều rộng trụ than bảo vệ**	**W**	**m**	**≥15**	

2,8T/m^3, cường độ kháng uốn 290KG/cm^2. Cường độ kháng nén của than được xác định trong phòng thí nghiệm s_n = 2000 kg/cm^2. Trọng lượng thể tích trung bình của các tầng đất đá 2,3T/m^3.

Với các thông số đầu vào nêu trên, theo phương pháp tính toán đề xuất có thể xác định được chiều rộng trụ than bảo vệ các đường lò chuẩn bị yêu cầu ³15m sẽ đảm bảo hệ số an toàn SF ³ 1,6. Kết quả tính toán chi tiết được thể hiện chi tiết tại bảng 5.

4. Kết luận và kiến nghị

Việc xác định kích thước trụ bảo vệ tối ưu của các đường lò chuẩn bị trong hệ thống khai thác cột dài theo phương là vấn đề hết sức quan trọng trong thực tế sản xuất, đặc biệt trong xu thế các mỏ hầm lò ngày càng khai thác xuống sâu và đi xa như hiện nay. Tại các nước có nền công nghiệp khai thác than phát triển trên thế giới như Mỹ, Úc, Ba Lan, Trung Quốc… từ lâu đã quan tâm nghiên cứu và đưa ra các kết quả tính toán tương đối chính xác chiều rộng trụ than bảo vệ các đường lò chuẩn bị. Trên cơ sở tổng quan kinh nghiệm áp dụng tại các nước, nhóm tác giả đã đề xuất phương pháp tính toán xác định kích thước trụ than bảo vệ cho các đơn vị sản xuất than hầm lò của TKV, nhằm tận thu tối đa tài nguyên, cũng như giảm khối lượng chống xén và duy trì bảo vệ các đường lò chuẩn bị, góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế của các dự án đầu tư khai thác mỏ. Để có thể xây dựng các công thức tính toán kích thước trụ than bảo vệ lò chuẩn bị phù hợp cho điều kiện mỏ cụ thể, trước hết cần tiến hành xác định cường độ kháng nén các mẫu than từ các trụ bảo vệ trong phòng thí nghiệm, đồng thời xác định tính chất cơ lý đá của các tầng đất đá bên trên vỉa than, cũng như đặc điểm địa chất kỹ thuật mỏ khu vực áp dụng.

Tài liệu tham khảo:

[1]. *Báo cáo tổng hợp khối lượng mỏ năm 2021 của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV).*

[2]. NCS. Đinh Văn Cường, PGS. TS. Trần Văn Thanh, TS. Nguyễn Anh Tuấn. *Đánh giá khả năng sử dụng trụ nhân tạo thay thế trụ than bảo vệ lò chuẩn bị trong quá trình khai thác tại các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh*. Hội thảo chuyên đề "Áp dụng công nghệ khai thác tiết kiệm tài nguyên ở các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh", Hà Nội tháng 12/2018, trang 27 - 35.

[3]. *Задачик по подземной разработке угольных месторождений*.

[4]. Mark C. *The state of the art in coal pillar*

design. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. USA, 1999.

[5]. О.И. Казанин. *Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс"*. Том 3 подземные горный работы, Книга двенадцатая., Издательства "Горное дело", Москва, 2014.

[6]. Wrana. A., Prusek S., (GIG). *Assessment of fractures in coal pillars left between gateroads. Przegląd Górniczy*, № 3, Str. 17 - 27. Katowice, 2016.

[7]. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范, 国家安全监管总局, 05/2017

[8]. B.H.G. Brady, E.T. Brown. *Rock mechanics for underground mining - Third edition*. Kluwer Academic publishers. Dordrecht, 2004.

[9]. *https://home.agh.edu.pl/~cala/bieniawski/filary.pdf*

[10]. Tajduś K., Misa R., Sroka A. *Eksploatacja częściowa pokładów węgla ze szczególnym uwzględnieniem stabilności filarów i ochrony powierzchni*. Górnictwo i geologia, Tom 7, Zeszyt 1, Str. 211 - 226. Poland, 2012.

[11]. Hoek, E. and Brown, E.T. *Underground Excavations in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980.

[12]. Đỗ Mạnh Phong, Thái Hồng Phương, Vũ Đình Tiến. *Xác định bước phá hoả của đá vách vỉa 5 khu Cánh Gà Công ty than Vàng Danh*. Tuyển tập báo cáo Hội nghị khoa học lần thứ 15 Đại học Mỏ - Địa chất, trang 10 - 14. Hà Nội, 2002.

[13]. A. K. Verma. *A Comparative Study of Various Empirical Methods to Estimate the Factor of Safety of Coal Pillars*. American Journal of Mining and Metallurgy, 2014, Vol. 2, No. 1, Pg. 17 - 22.

[14]. C. Mark. Phần mềm "Analysis of Longwall Pillar Stability" (ALPS), version 5. The United States Bureau of Mines, Pittsburgh Research Center (NIOSH).

Overview study of the coal pillar size calculating methods in preparation tunnels

Dr. Duong Duc Hai, Dr. Nguyen Ngoc Giang, Eng. Nguyen Nam Khanh

Vinacomin-Institute of Mining Science and Technology

Abstract:

Currently, in the underground coal mines in Quang Ninh, there is no consensus in determining the size of coal pillars to protect the preparation tunnel in the long column mining system. This has caused significant difficulties for the production of the units, as well as the technical management of Vinacomin; especially the restrictions on scientific basis and legal corridors of the relevant State management agencies. To solve the above problem, the authors reviewed the protection coal pillar calculating methods in countries with advanced coal industries in the world, on that basis, the suitable calculation methods are selected in the conditions of underground coal mines of Vinacomin.