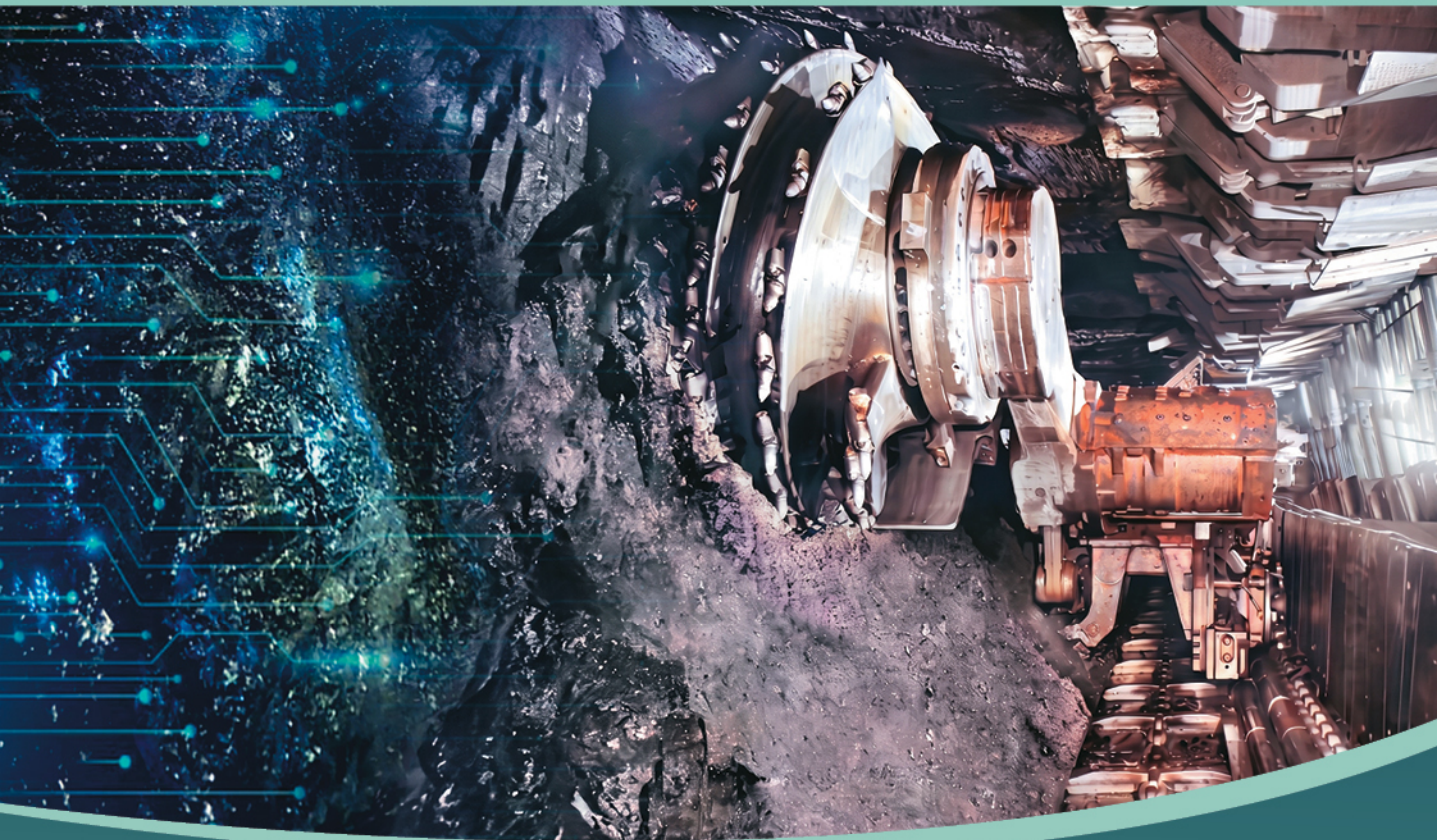




TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA

PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

KHOA HỌC CÔNG NGHỆ MỎ VÀ MÔI TRƯỜNG

Sustainable Development of Mining Science, Technology and Environment



NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC KINH TẾ QUỐC DÂN



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA

PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

KHOA HỌC CÔNG NGHỆ MỎ VÀ MÔI TRƯỜNG



NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC KINH TẾ QUỐC DÂN
2026

MỤC LỤC

	LỜI NÓI ĐẦU	3
	BỘ MÔN KHAI THÁC HẦM LÒ: 60 NĂM XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN (1966 - 2026) & 70 NĂM ĐÀO TẠO NGÀNH KHAI THÁC MỎ HẦM LÒ (1956 - 2026)	12
1	ĐỊNH HƯỚNG ĐỔI MỚI VÀ PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ KHAI THÁC THAN HẦM LÒ TẠI TKV GIAI ĐOẠN 2026 - 2030 Vũ Anh Tuấn¹, Nguyễn Minh Tuyên^{1,*} <i>¹Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam</i>	17
2	TÍNH TOÁN THÔNG GIÓ MỎ KHI TỔ CHỨC KHAI THÁC ĐỒNG THỜI 6 LÒ CHỢ CỦA TẦNG -230/-150 CÔNG TY THAN MẠO KHẾ - TKV Nguyễn Cao Khải^{1,2,*}, Vũ Thái Tiến Dũng^{1,2}, Đinh Thị Thanh Nhân^{1,2}, Vũ Đức Nghĩa^{1,3} <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Nhóm nghiên cứu Phát triển bền vững Khoa học, Công nghệ Mỏ và Môi trường (SDM) ³Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam</i>	29
3	ẢNH HƯỞNG CỦA QUÁ TRÌNH NỔ MÌN KHI ĐÀO LÒ ĐẾN ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA ĐƯỜNG LÒ LÂN CẬN: NGHIÊN CỨU TRƯỜNG HỢP MỘT ĐƯỜNG LÒ TẠI CÔNG TY THAN VÀNG DANH Bùi Mạnh Tùng¹, Ngô Thành Tâm², Trần Trung Thái³, Nguyễn Chí Thành^{1,*} <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Quảng Ninh ³Công ty Cổ phần Than Cao Sơn - TKV</i>	41
4	NGHIÊN CỨU VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH TRÍ TUỆ NHÂN TẠO DỰ BÁO DIỆN TÍCH GƯƠNG LÒ SAU KHI NỔ MÌN TẠI MỘT SỐ ĐƯỜNG LÒ ĐIỂN HÌNH TRONG KHAI THÁC HẦM LÒ KHU VỰC QUẢNG NINH Đỗ Hoàng Hiệp^{1,2}, Nguyễn Việt Hùng³, Bùi Mạnh Tùng¹, Nguyễn Chí Thành^{1,*} <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Công ty 35 - Chi nhánh Tổng Công ty Đông Bắc ³Công ty Cổ phần Tư vấn Đầu tư Mỏ và Công nghiệp - Vinacomin</i>	60
5	MECHANICAL BEHAVIOR OF CFRP-CONFINED HIGH-WATER MATERIAL UNDER DYNAMIC LOADING Feiyang Feng¹, Baiyun Yu¹, Shuling Meng², Hongchao Zhao^{3,*} <i>¹School of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University ²China West Construction Group Co., Ltd. ³State Key Laboratory of Intelligent Construction and Healthy Operation and Maintenance of Deep Underground Engineering</i>	70
6	NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU NỒNG ĐỘ BỤI TẠI MẶT BẰNG CẢNG KHE DÂY THUỘC CÔNG TY CẢNG - CHI NHÁNH TỔNG CÔNG TY ĐÔNG BẮC Bùi Thanh Sơn¹, Bùi Quang Sáng¹, Nguyễn Văn Thịnh^{2,*}, Nguyễn Viết Thắng² <i>¹Công ty Cảng - Chi nhánh Tổng Công ty Đông Bắc ²Trường Đại học Mỏ - Địa chất</i>	80

7	CƠ GIỚI HÓA TRONG KHAI THÁC HẦM LÒ TẠI MỎ THAN HÀ LÂM: THỰC TRẠNG VÀ ĐỊNH HƯỚNG CHIẾN LƯỢC PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG GIAI ĐOẠN 2026 - 2030 Nguyễn Hữu Đạt¹, Vũ Ngọc Thắng², Đinh Trung Kiên², Đỗ Trung Thành¹, Vũ Bá Trương^{1*} <i>¹Công ty Cổ phần Than Hà Lâm - Vinacomin</i> <i>²Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam</i>	88
8	NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP PHUN ÉP NƯỚC TĂNG ĐỘ LIÊN KẾT CỦA THAN TẠI CÁC GƯƠNG LÒ ĐÀO QUA VỈA THAN MỀM YẾU, BỎ RỜI TẠI CÔNG TY THAN KHE CHÀM - TKV Trần Quốc Đoàn¹, Nguyễn Cao Khải^{2,3,*}, Đặng Văn Kiên², Đỗ Trọng Tấn¹ <i>¹Công ty Than Khe Chàm - TKV</i> <i>²Trường Đại học Mở - Địa chất</i> <i>³Nhóm nghiên cứu Phát triển bền vững Khoa học, Công nghệ Mỏ và Môi trường (SDM)</i>	98
9	GIẢI PHÁP XÂY DỰNG CÔNG VIÊN TRONG KHU VỰC MỎ THAN NA DƯƠNG, CÔNG TY THAN NA DƯƠNG, TỔNG CÔNG TY CÔNG NGHIỆP MỎ VIỆT BẮC TKV - CTCP Nguyễn Đăng Hiệp¹, Nguyễn Cao Khải^{2,3,*}, Nguyễn Quốc Tuấn¹ <i>¹Công ty Than Na Dương - VVMI</i> <i>²Trường Đại học Mở - Địa chất</i> <i>³Nhóm nghiên cứu Phát triển bền vững Khoa học, Công nghệ Mỏ và Môi trường (SDM)</i>	105
10	NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH LƯỢNG GIÓ CẦN ĐƯA VÀO MỎ THAN HẦM LÒ TRONG NGÀY KHÔNG LÀM VIỆC Trần Xuân Hà¹, Đào Văn Chi^{2,*}, Nguyễn Hồng Cường² <i>¹Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam</i> <i>²Trường Đại học Mở - Địa chất</i>	115
11	AN TOÀN TRONG KHAI THÁC THAN HẦM LÒ VÙNG QUẢNG NINH: THỰC TRẠNG CÔNG TÁC AN TOÀN VỆ SINH LAO ĐỘNG, CÁC VẤN ĐỀ CỐT LỖI VÀ ĐỊNH HƯỚNG CHIẾN LƯỢC Phạm Đức Thang^{1,*}, Hoàng Hùng Thắng¹, Nguyễn Ngọc Minh¹, Lê Quang Phục² <i>¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh</i> <i>²Trường Đại học Mở - Địa chất</i>	123
12	GIẢI PHÁP NÂNG CAO TỐC ĐỘ ĐÀO LÒ TẠI KHU N.V MỎ THAN KHE TAM, CÔNG TY THAN DƯƠNG HUY - TKV Cao Việt Phương¹, Nguyễn Thế Cường¹, Nguyễn Văn Thịnh^{2,*} <i>¹Công ty Than Dương Huy - TKV</i> <i>²Trường Đại học Mở - Địa chất</i>	135
13	THÀNH LẬP HỘ CHIẾU CHỐNG GIỮ CHO CÁC ĐƯỜNG LÒ DƯỚI KHU VỰC MOONG LỘ THIÊN NÚI BÉO TẠI MỎ THAN HÀ LÂM Vũ Trung Tiến^{1,2,*}, Đào Viết Đoàn¹, Đỗ Anh Sơn¹ <i>¹Trường Đại học Mở - Địa chất</i> <i>²Nhóm nghiên cứu Phát triển bền vững Khoa học, Công nghệ Mỏ và Môi trường (SDM)</i>	143
14	COMPUTER-AIDED DESIGN AND PLANNING METHODOLOGY FOR OPEN-PIT AND UNDERGROUND DIMENSION STONE MINES: EUROPEAN EXPERIENCES AND APPLICABILITY IN VIETNAM Nguyen Anh Tuan^{1,2,*}, Pham Van Viet^{1,2}, Pham Van Hoa¹, Ngo Thanh Tuan² Pham Tuan Cuong¹, Tran Trung Anh^{1,2}, Do Anh Son¹ <i>¹Hanoi University of Mining and Geology</i> <i>²Research Centre for Mining and Electro-Mechanical Engineering, HUMG</i>	157

-
- 15** TÍNH TOÁN KIỂM ĐỊNH KẾT CẤU TƯỜNG BÊ TÔNG HẦM CHỨA NƯỚC TẠI CÔNG TY CỔ PHẦN THAN MÔNG DƯƠNG - VINACOMIN 171
Nguyễn Phi Hùng¹, Bùi Mạnh Tùng¹, Phạm Đức Hưng¹, Trần Trung Thái^{2,*}
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Công ty Cổ phần Than Cao Sơn - TKV
-
- 16** MECHANISM OF OVERSIZE BLOCK GENERATION AND BLOCK SIZE CONTROL IN LARGE-SCALE OPEN-PIT COAL MINE BLASTING 179
Hongyan Xu¹, Fei Gao², Hui Chen^{2,*}
¹Xuefeng Science and Technology Group, Xinjiang University, Urumqi, 830000, China
²School of Geological and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi, 830000, China
-
- 17** GIẢI PHÁP KỸ THUẬT NÂNG CAO HIỆU QUẢ THU HỒI THAN NÓC TRONG LÒ CHỢ CƠ GIỚI HÓA ĐỒNG BỘ VỈA 7 MỎ THAN HÀ LÂM 193
Phạm Đức Hưng^{1,*}, Đỗ Anh Sơn¹, Nguyễn Phi Hùng¹, Đào Văn Chi¹, Phạm Văn Quân²
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin
-
- 18** TỔNG QUAN VỀ HỆ SỐ SỨC CẢN MA SÁT CỦA CÁC LOẠI ĐƯỜNG LÒ TRÊN THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM 204
**Đào Văn Chi¹, Phạm Đức Hưng^{1,*}, Đỗ Anh Sơn¹
Phạm Tú Phương², Đàm Huy Tài², Nguyễn Minh Đức³**
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Công ty Cổ phần Tư vấn đầu tư Mỏ và Công nghiệp - Vinacomin
³Cục Công nghiệp, Bộ Công Thương
-
- 19** ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ CƠ GIỚI HÓA KHAI THÁC TẠI CÁC MỎ THAN HẦM LÒ THUỘC TKV VÀ ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN GIAI ĐOẠN 2026 - 2030 217
Dương Đức Hải^{1,*}, Đào Hồng Quảng¹, Đỗ Văn Hoàng¹
¹Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin
-
- 20** KẾT QUẢ TƯ VẤN THIẾT KẾ CÁC MỎ THAN HẦM LÒ KHAI THÁC TRONG ĐIỀU KIỆN PHỨC TẠP CỦA TKV 226
Phạm Văn Quân^{1,2,*}, Đỗ Văn Hoàng², Thân Văn Duy²
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin
-
- 21** MÔ HÌNH TRÍ TUỆ NHÂN TẠO DỰ BÁO VẬN TỐC HẠT CỤC ĐẠI PPV TẠI ĐƯỜNG LÒ CHỊU ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG TÁC NỔ MÌN 235
Nguyễn Chí Thành¹, Phạm Quang Nam², Bùi Mạnh Tùng^{1,*}
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Trường Đại học Điện Lực
-
- 22** GÓC NHÌN VỀ HOÀN THIÊN VĂN HÓA AN TOÀN LAO ĐỘNG TRONG KHAI THÁC THAN HẦM LÒ Ở MỎ THAN VÀNG DANH KHI XUỐNG SÂU 244
Lê Quang Phục^{1,*}, Phạm Đức Thang², Nguyễn Đăng Hiệp³
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
³Công ty Than Na Dương - VVMI
-

23	NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG NGUỒN CÁT NGHIÊN TỪ ĐÁ THẢI MỎ CHẾ TẠO BÊ TÔNG VÀ MỘT SỐ SẢN PHẨM ỨNG DỤNG	252
	Phạm Thị Nhân^{1,2,*}, Huỳnh Linh Chi¹, Đặng Quang Hiếu¹, Đỗ Mạnh Dũng¹ <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Nhóm nghiên cứu Địa kỹ thuật, vật liệu và phát triển bền vững, Trường Đại học Mỏ - Địa chất</i>	
24	NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA ĐÚT GẤY ĐẾN QUÁ TRÌNH ĐÀO LÒ CHUẨN BỊ VÀ KHAI THÁC TRONG MỎ THAN HẦM LÒ	261
	Vũ Thái Tiến Dũng¹, Bùi Mạnh Tùng^{1,*}, Nguyễn Minh Đức², Phạm Quang Nam³ <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Cục Công nghiệp, Bộ Công Thương ³Trường Đại học Điện Lực</i>	
25	ĐÁNH GIÁ NGUỒN PHÁT SINH KHÍ BỤI TẠI MỎ THAN CAO SƠN VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP QUẢN LÝ MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ CHO KHU VỰC	271
	Đỗ Mạnh Dũng¹, Trần Thị Thanh Thủy^{2,*}, Trần Anh Quân² <i>¹Công ty Cổ phần Tin học, Công nghệ, Môi trường - Vinacomin ²Trường Đại học Mỏ - Địa chất</i>	
26	XU THẾ KHAI THÁC BẰNG CÔNG NGHỆ CƠ GIỚI HÓA TẠI CÁC MỎ THAN HẦM LÒ VÙNG QUẢNG NINH THUỘC TKV	279
	Phạm Đức Hưng^{1,2,*} <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Nhóm nghiên cứu Phát triển bền vững Khoa học, Công nghệ Mỏ và Môi trường (SDM)</i>	
27	TƯ VẤN THIẾT KẾ CHUYỂN ĐỔI CÔNG NGHỆ KHAI THÁC DƯỚI TRỤ BẢO VỆ ĐƯỜNG LÒ KHU II MỎ NÚI BÉO ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ KINH TẾ	288
	Phạm Văn Quân^{1,2,*}, Phạm Đức Hưng¹, Đào Văn Chi¹, Trương Tiến Quân² <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin</i>	
28	ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ LÀM VIỆC CỦA CÁC TRẠM QUẠT GIÓ CHÍNH TẠI MỎ THAN NAM MẪU NHẪM ĐÁP ỨNG NHU CẦU SẢN XUẤT THỰC TẾ CỦA MỎ	296
	Đào Văn Chi¹, Vũ Thái Tiến Dũng^{1,*}, Trần Xuân Hà², Nguyễn Hồng Cường¹ <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam</i>	
29	NGHIÊN CỨU NGUYÊN NHÂN GÂY MẤT ỔN ĐỊNH HỆ THỐNG ĐỀ BIỂN TỈNH KIÊN GIANG (TRƯỚC KHI SÁP NHẬP)	304
	Nguyễn Tiến Tài¹, Võ Nhật Luân^{2,*} <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất ²Trường Đại học Văn Hiến</i>	
30	ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN TỐI ƯU TRONG MÔ HÌNH HỒI QUY VECTOR HỖ TRỢ ĐỂ DỰ ĐOÁN NHIỆT ĐỘ KHÔNG KHÍ LÒ CHỢ TẠI MỎ THAN NAM MẪU	313
	Nguyễn Văn Quang^{1,*}, Nguyễn Văn Thịnh¹, Bùi Mạnh Tùng¹ <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất</i>	
31	NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH LIÊN KẾT GIỮA CẢI TẠO PHỤC HỒI MÔI TRƯỜNG VỚI TÁI SỬ DỤNG QUỸ ĐẤT SAU KHAI THÁC KHOÁNG SẢN: HƯỚNG TỚI KINH TẾ TUẦN HOÀN	321
	Trần Thị Ngọc^{1,*}, Đào Văn Chi¹, Vũ Thị Lan Anh¹ <i>¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất</i>	

-
- 32** NÂNG CAO HIỆU QUẢ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CƠ GIỚI HÓA ĐỒNG BỘ TRONG ĐIỀU KIỆN KHAI THÁC VĨA PHỨC TẠP 331
Lê Quang Phục^{1,*}, Phạm Đức Thang², Trần Văn Hưng³
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
³Công ty 91 - Chi nhánh Tổng Công ty Đông Bắc
-
- 33** ỨNG DỤNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO DỰ BÁO ĐIỆN NĂNG TIÊU THỤ CỦA BĂNG TẢI KHU VỰC QUẢNG NINH ĐỊNH HƯỚNG TIẾT KIỆM ĐIỆN NĂNG 341
Nguyễn Đình Tiến¹, Nguyễn Huyền Trang^{2,*}, Lê Xuân Thành³
¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội
²Trường Đại học Việt - Hung
³Trường Đại học Mỏ - Địa chất
-
- 34** ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG VÀ ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ỔN ĐỊNH CHẾ ĐỘ THÔNG GIÓ TẠI MỎ THAN MẠO KHÊ 353
Nguyễn Hồng Cường^{1,*}, Đào Văn Chi¹, Lê Văn Thao², Lê Quang Phục¹, Vũ Đức Trọng³
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam
³Công ty Than Mạo Khê - TKV
-
- 35** NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH CHUỖI TRONG LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN MỞ VĨA: VÍ DỤ CHO MỎ CHÌ - KÉM LŨNG HOÀI, BẮC KẠN 362
Đinh Thị Thanh Nhân^{1,*}, Ngô Thái Vinh¹
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
-
- 36** NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP CẢI THIẾN CHẤT LƯỢNG MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ TẠI MẶT BẰNG SẢN CÔNG NGHIỆP MỎ THAN MÔNG DƯƠNG 371
Hoàng Hùng Thắng¹, Nguyễn Văn Thịnh^{2,*}
¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
²Trường Đại học Mỏ - Địa chất
-
- 37** ỨNG DỤNG MÔ PHỎNG SỐ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ KHAI THÁC KHÔNG TRỤ BẢO VỆ DƯỚI ĐÁ VÁCH BỀN VỮNG VÙNG THAN QUẢNG NINH 380
Lê Tiến Dũng^{1,*}, Phạm Trung Nguyên²
¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất
²Trung tâm Hỗ trợ tiến bộ Kỹ thuật mỏ, Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam
-

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỨT GẦY ĐẾN QUÁ TRÌNH ĐÀO LÒ CHUẨN BỊ VÀ KHAI THÁC TRONG MỎ THAN HÀM LÒ

24

Vũ Thái Tiến Dũng¹, Bùi Mạnh Tùng^{1*}, Nguyễn Minh Đức², Phạm Quang Nam³

¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất

²Cục Công nghiệp, Bộ Công Thương

³Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Trong quá trình đào lò chuẩn bị và khai thác mỏ hầm lò, đứt gãy địa chất là một trong những yếu tố bất định nguy hiểm, khó lường nhất. Sự hiện diện của chúng là nguồn gốc của các trạng thái ứng suất dị thường, gây ra sự mất ổn định của khối đá và gián đoạn kế hoạch sản xuất. Khi gặp các đứt gãy, tốc độ đào lò giảm trung bình 30% - 50%, năng suất lò chợ cũng suy giảm đáng kể, thậm chí có thể phải dừng hoạt động đối với lò chợ cơ giới hóa trong một số trường hợp. Bài viết tổng hợp các nghiên cứu trong nước và trên thế giới trong khoảng thời gian gần đây, cung cấp một cái nhìn tổng quan đa chiều về ảnh hưởng của đứt gãy. Trong đó, tác giả tập trung phân tích cơ chế tái phân bố ứng suất, sự kích hoạt đứt gãy và các tác động động học đến các công trình hầm lò. Kết quả phân tích cho thấy sự tái phân bố ứng suất quanh đới đứt gãy là nguyên nhân gốc rễ dẫn đến các hiện tượng nổ đá, bụi nước, phụt khí, đổ lở lò và bùng nền. Bài viết cũng đề xuất các mô hình dự báo tiên tiến dựa trên AI và các giải pháp chống giữ thông minh để tối ưu hóa an toàn và năng suất.

Từ khóa: đứt gãy; mỏ than hầm lò; ứng suất; nổ đá; bụi nước

1. Đặt vấn đề

Trong kỷ nguyên khai thác tài nguyên khoáng sản hiện đại, việc chuyển dịch từ các tầng khai thác nông sang các tầng sâu là xu thế tất yếu khi nguồn tài nguyên dễ tiếp cận dần cạn kiệt. Tuy nhiên, sự gia tăng độ sâu đồng nghĩa với việc phải đối mặt với điều kiện địa chất công trình phức tạp và trạng thái ứng suất ngày càng gia tăng (Rao et al., 2025). Một trong những thách thức lớn nhất đối với an toàn của con người và thiết bị trong hầm lò là sự hiện diện của các cấu trúc đứt gãy địa chất. Đứt gãy không chỉ là các mặt gián đoạn cơ học mà còn là những cấu trúc địa chất động, có khả năng làm biến đổi trường ứng suất nguyên thủy, tích tụ năng lượng đàn hồi lớn và hình thành các kênh dẫn nước áp lực cao xâm nhập vào không gian khai thác (Cao et al., 2024; Xin et al., 2026). Do đó, việc nghiên cứu một cách hệ thống và toàn diện về ảnh hưởng của các loại đứt gãy, bao gồm đứt gãy đơn lẻ, đứt gãy kết hợp và các hệ thống đứt gãy chứa nước là nhiệm vụ trọng tâm nhằm xây dựng các mô hình dự báo nổ đá, bụi nước, đồng thời thiết kế các giải pháp chống giữ tối ưu cho các đường lò chuẩn bị và gương khai thác.

Khi tiến vào đới ảnh hưởng của đứt gãy, tốc độ biến dạng đường lò thường gia tăng từ 3 - 5 lần. Để đánh giá, nhận định nguy cơ gây mất ổn định công trình đường lò và đề xuất các giải pháp kỹ thuật hợp lý, bài viết đi vào tập trung giải quyết ba vấn đề cốt lõi: (1) cơ chế cơ học của sự kích hoạt đứt gãy; (2) tác động kỹ thuật đến các giai đoạn sản xuất; và (3) giải pháp công nghệ tích hợp AI. Việc hiểu rõ cơ chế kích hoạt đứt gãy dưới tác động của hoạt động đào lò và khai thác là điều kiện tiên quyết để đảm bảo an toàn cho con người và thiết bị (Lu et al., 2024).

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Hệ thống phân loại và đặc điểm cơ học của các cấu trúc đứt gãy

Các đứt gãy địa chất trong lòng đất là kết quả của các quá trình kiến tạo kéo dài, biểu hiện dưới dạng các đới phá hủy có quy mô từ vài mét đến hàng chục kilômét. Trong kỹ thuật khai thác mỏ, đứt gãy không chỉ được xem là một mặt trượt mà còn là một cấu trúc phức hợp, bao gồm lõi đứt gãy có độ bền thấp và

*Tác giả liên hệ

Email: buimanh tung@humg.edu.vn

các vùng đá nứt nẻ bao quanh, với đặc tính cơ học suy giảm đáng kể so với đá nguyên trạng. Việc phân loại chính xác cấu trúc đứt gãy là bước khởi đầu quan trọng để hiểu cơ chế phản ứng của chúng đối với các hoạt động đào lò và khai thác.

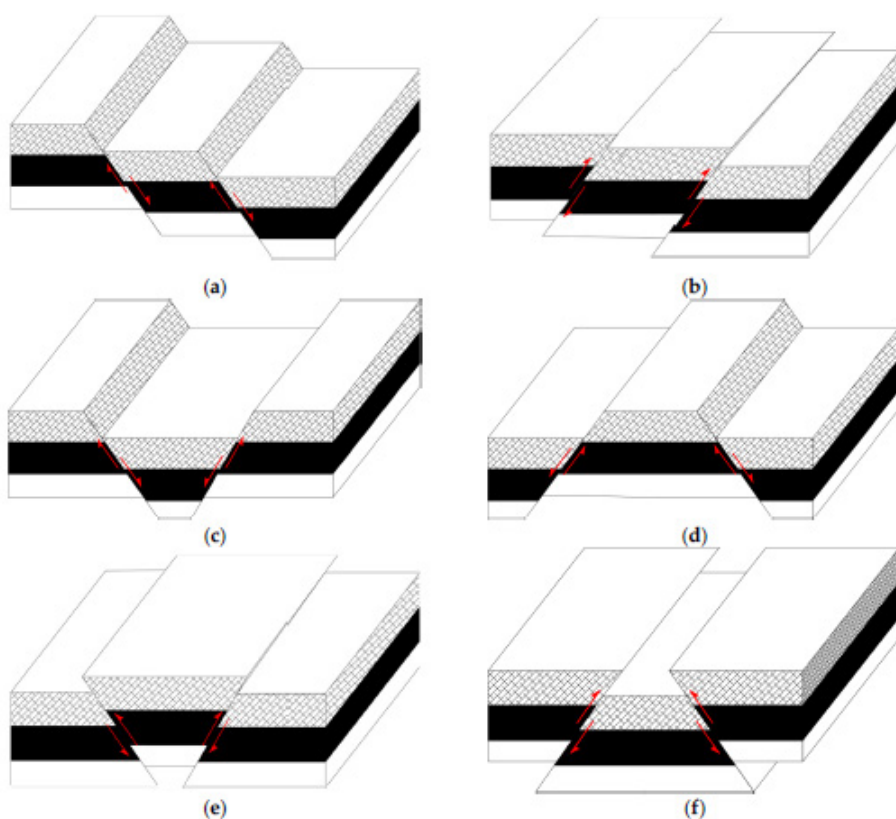
2.1.1. Các loại đứt gãy đơn lẻ và cơ chế chuyển dịch

Về mặt hình học và động học, các đứt gãy đơn lẻ thường được phân loại dựa trên hướng dịch chuyển tương đối giữa khối treo và khối trụ. Đứt gãy thuận hình thành dưới tác động của ứng suất kéo giãn kiến tạo, trong đó khối treo dịch chuyển xuống dưới dọc theo mặt trượt. Ngược lại, đứt gãy nghịch là sản phẩm của môi trường nén ép, nơi khối treo bị đẩy lên trên. Khi góc dốc của đứt gãy nghịch nhỏ, loại này thường được gọi là đứt gãy nghịch dốc thấp; dạng này thường gây ra sự lặp lại của các vỉa than trong cột địa tầng, gây khó khăn cho công tác thăm dò và điều khiển đá vách.

Sự hiện diện của các đứt gãy đơn lẻ tạo ra sự bất đối xứng rõ rệt trong phân bố ứng suất xung quanh đường lò. Các quan sát hiện trường cho thấy biến dạng của đá vách và hồng lò thường diễn ra mạnh hơn ở phía khối treo, do trạng thái ứng suất tại khu vực này thường cao hơn và vùng phá hủy dẻo phát triển rộng hơn.

2.1.2. Các tổ hợp đứt gãy phức hợp và tác động cộng hưởng

Trong thực tế địa chất mỏ, đứt gãy hiếm khi tồn tại độc lập mà thường xuất hiện theo cặp hoặc nhóm, tạo thành các tổ hợp cấu trúc có tác động cơ học mạnh mẽ hơn nhiều so với tổng đơn giản của các thành phần lẻ. Sáu loại tổ hợp đứt gãy chính đã được xác định thông qua các nghiên cứu mô phỏng số và thực nghiệm địa chất cấu tạo, mỗi loại mang lại những thách thức riêng biệt cho công tác an toàn hầm lò (Cao et al., 2021).



Hình 1. Các tổ hợp đứt gãy

Nguồn: Cao và cộng sự (2021)

Bảng 1. Đặc điểm cơ học của các tổ hợp đứt gãy

Ký hiệu	Loại tổ hợp đứt gãy	Cấu trúc thành phần	Đặc điểm cơ học và rủi ro chính
(a)	Đứt gãy bậc thang (Stair-stepping fault)	Hai đứt gãy thuận song song dốc cùng hướng	Tạo ra sự hạ thấp tầng nấc của vỉa than, gây tập trung ứng suất dạng bậc và lún lệch nghiêm trọng
(b)	Đứt gãy dạng ngói lợp (Imbricate fault)	Hai đứt gãy nghịch song song dốc cùng hướng	Khối đá giữa hai mặt trượt bị nén ép cực mạnh, dễ gây nổ đá trụ than bảo vệ
(c)	Cấu trúc địa hào (Graben fault)	Hai đứt gãy thuận dốc về phía nhau	Khối đá trung tâm hạ thấp, tạo vùng hội tụ ứng suất tại đáy địa hào, nguy cơ nổ đá nóc lò rất cao
(d)	Cấu trúc địa lũy (Horst fault)	Hai đứt gãy thuận dốc ngược hướng nhau	Khối đá trung tâm được nâng cao, tạo ra hiệu ứng rào cản ứng suất tại các biên, dễ gây sập đổ quy mô lớn
(e)	Đứt gãy nén ngược (Back thrust fault)	Hai đứt gãy nghịch dốc về phía nhau	Tương tự địa hào nhưng dưới lực nén, gây ra sự biến dạng dẻo cực lớn cho đá vách
(f)	Đứt gãy dốc đứng (Ramp fault)	Hai đứt gãy nghịch tạo ra sự thay đổi độ cao đột ngột	Gây ra sự không liên tục của các tầng đá cứng, dẫn đến tích tụ năng lượng đàn hồi lớn tại các góc dốc

Nguồn: Hu (2015); Cao và cộng sự (2021)

Các tổ hợp đứt gãy này làm suy giảm đáng kể độ cứng tổng thể của hệ thống khai thác. Khi độ cứng hệ thống giảm, năng lượng đàn hồi tích tụ trong các trụ than bảo vệ giữa hai đứt gãy có xu hướng gia tăng, qua đó làm tăng xác suất phát sinh các sự kiện địa chấn động lực khi diện khai thác đi qua.

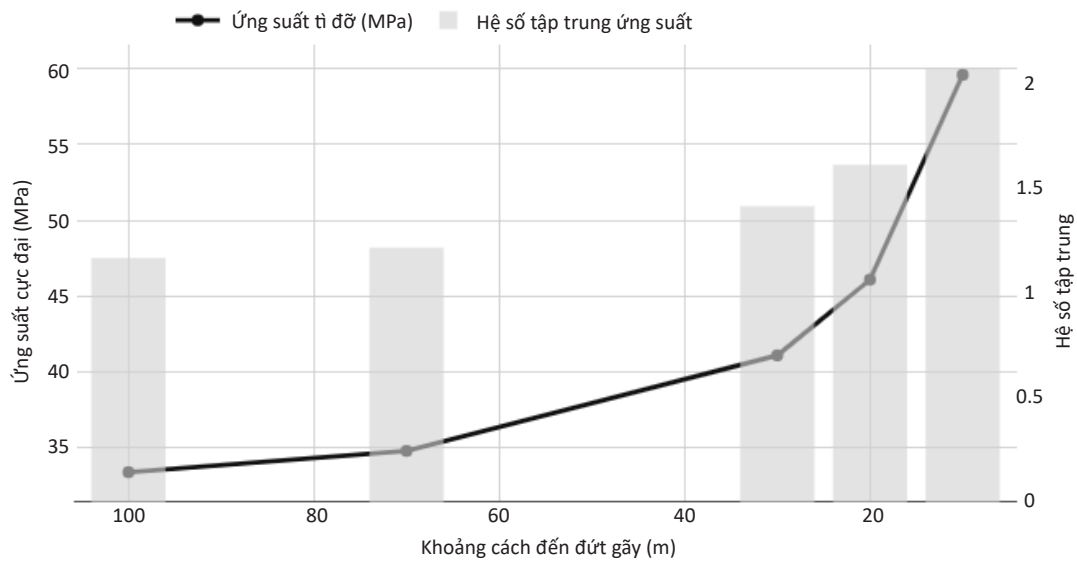
2.2. Tái phân bố ứng suất dưới tác động của hoạt động khai thác gần đứt gãy

Quá trình đào lò và khai thác than hầm lò là quá trình dỡ tải cục bộ và phân bố lại tải trọng lên các khu vực xung quanh. Khi có sự hiện diện của đứt gãy, quy luật phân bố ứng suất tĩnh (áp lực tựa) bị thay đổi một cách căn bản do đặc tính rào cản và khả năng tích tụ năng lượng của mặt đứt gãy.

2.2.1. Hiệu ứng rào cản và tập trung ứng suất bất thường

Mặt đứt gãy đóng vai trò như một ranh giới gián đoạn, cản trở sự truyền dẫn áp lực tựa từ diện khai thác vào sâu trong khối đá gốc. Điều này khiến ứng suất có xu hướng tích tụ trong một không gian hẹp giữa gương khai thác và đứt gãy, thường được gọi là trụ bảo vệ đứt gãy. Một số nghiên cứu sử dụng phương pháp mô phỏng số cho thấy đỉnh ứng suất tĩnh ở đây trong điều kiện có đứt gãy cao hơn khoảng 32% so với điều kiện địa chất đồng nhất.

Khoảng cách từ diện khai thác đến đứt gãy là biến số quyết định mức độ tập trung ứng suất. Khi khoảng cách này giảm, hệ số tập trung ứng suất có xu hướng tăng theo hàm mũ. Dữ liệu thực tế tại mỏ than Zhangshuanglou (Trung Quốc) cho thấy khi diện khai thác tiến đến gần đứt gãy trong phạm vi khoảng 20m, năng lượng địa chấn và áp lực mỏ thường tăng đột biến, biến khu vực này thành đối tượng kiểm soát trọng yếu đối với các thảm họa áp lực mỏ (Tang et al., 2024).



Hình 2. Sự gia tăng ứng suất khi gương khai thác tiến gần đến đứt gãy

Số liệu mô phỏng cho thấy hệ số tập trung ứng suất có thể tăng từ 1,18 (tại 100m) lên 2,10 khi cách đứt gãy 10m (Rao et al., 2025).

Bảng 2. Bảng tổng hợp dữ liệu thực tế tại mỏ Zhangshuanglou, Trung Quốc

Khoảng cách đến đứt gãy (m)	Áp lực tựa cực đại (MPa)	Hệ số tập trung ứng suất	Đặc điểm biểu hiện
100	33,4	1,18	Ổn định, ảnh hưởng của đứt gãy chưa rõ rệt
70	34,8	1,23	Bắt đầu có sự tương tác nhẹ, áp lực mỏ tăng dần
30	41,1	1,43	Áp lực tăng mạnh, xuất hiện nứt nẻ cục bộ tại hông lò
20	46,1	1,63	Vùng nguy hiểm, năng lượng vi địa chấn tăng vọt
10	59,6	2,10	Trạng thái tới hạn, biến dạng dẻo mạnh, nguy cơ nổ đá tức thời

Nguồn: Tang và cộng sự (2024)

2.2.2. Vai trò của góc dốc đứt gãy trong phân bố ứng suất

Góc dốc (α) của đứt gãy ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng trượt và phân bố tải trọng. Theo tiêu chuẩn Anderson kết hợp với giới hạn bền Mohr-Coulomb, các đứt gãy có góc dốc nằm trong một phạm vi nhất định sẽ dễ bị kích hoạt nhất dưới tác động của ứng suất khai thác.

Đối với đứt gãy thuận, góc dốc tới hạn tối thiểu để kích hoạt là $\alpha = \pi/4 + \varphi/2$, trong đó: φ - góc ma sát trong của mặt đứt gãy. Đối với đứt gãy nghịch, giá trị này là $\alpha = \pi/4 - \varphi/2$. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, ứng suất kiến tạo đạt giá trị cực đại khi góc dốc đứt gãy đạt khoảng $65^\circ - 75^\circ$ (Guo et al., 2022). Đặc biệt, rủi ro nổ đá do đứt gãy đạt mức cao nhất khi biên độ dịch chuyển dọc nằm trong khoảng 6 - 8m và chiều rộng trụ than bảo vệ nhỏ hơn 50m (Cao et al., 2021). Trong các đới đứt gãy dốc đứng này, tỷ lệ ứng suất cắt trên ứng suất pháp tuyến tăng cao, tạo điều kiện thuận lợi cho sự trượt đột ngột và giải phóng năng lượng.

2.3. Quy luật biến dạng đất đá và sự phá hủy của khối đá phía trên

Sự hiện diện của đứt gãy làm thay đổi lộ trình phá hủy của các tầng đá vách, từ đó ảnh hưởng đến sự ổn định tổng thể của khu vực khai thác.

2.3.1. Chuyển đổi mô hình lún: Từ hình thang sang hình tam giác ngược

Trong điều kiện địa chất thông thường, sự sập đổ và lún của khối đá phía trên sau khai thác hình thành một vùng có dạng hình thang cân, với sự phân định rõ ràng của “ba đới”: đới sập đổ, đới nứt nẻ và đới uốn nếp liên tục. Tuy nhiên, khi khai thác cắt qua đứt gãy, sự trượt dọc theo mặt đứt gãy làm phá vỡ tính đối xứng này, thay vào đó là trạng thái biến dạng không đối xứng rõ rệt giữa khối treo và khối trụ (Zeng et al., 2022; Xin et al., 2026).

Các mô hình thực nghiệm tương đồng cho thấy tải trọng từ các tầng đá phủ bị gián đoạn bởi mặt đứt gãy và truyền lệch sang hai bên, khiến đặc trưng “ba đới” không còn được duy trì. Thay vào đó, mô hình lún chuyển sang dạng hình tam giác ngược (Zeng et al., 2022). Khối treo thường lún mạnh hơn và sớm hơn so với khối trụ, tạo ra các khe nứt dọc lớn tại vùng tiếp giáp đứt gãy.

Sự biến dạng không đồng nhất này gây ra ứng suất cắt lớn tác động lên hệ thống chống giữ của đường lò đi qua đứt gãy, dẫn đến các hiện tượng như đứt neo hoặc biến dạng hình học đáng kể của khung chống.

2.3.2. Ảnh hưởng của tốc độ đào lò và thông số hình học đứt gãy

Tốc độ đào lò có mối tương quan chặt chẽ với sự phát triển của các vết nứt nẻ quanh đường lò đi qua đứt gãy. Khi tốc độ đào lò tăng, tốc độ gia tải ứng suất lên khối đá tăng theo. Các mô hình cơ học chỉ ra rằng, ở tốc độ đào lò cao, số lượng các vết nứt kéo giảm đi nhưng cường độ tích tụ ứng suất tại gương đào lại tăng lên, làm tăng rủi ro nổ đá dạng nén ép.

Ngoài ra, biên độ dịch chuyển dọc cũng là một yếu tố then chốt. Trong các hệ thống đứt gãy kết hợp dạng địa hào, rủi ro nổ đá cao nhất được ghi nhận khi biên độ dịch dọc nằm trong khoảng từ 6 - 8m (Cao et al., 2021). Nếu biên độ quá nhỏ, ảnh hưởng của đứt gãy không đủ để phá vỡ cấu trúc nóc lò; nếu biên độ quá lớn, các khối đá có xu hướng hoạt động độc lập hơn, làm giảm sự tương tác cộng hưởng.

2.4. Cơ chế nổ đá do đứt gãy kích hoạt

Nổ đá do đứt gãy là một trong những hiểm họa động lực khủng khiếp nhất, thường gây ra thương vong lớn và phá hủy hoàn toàn hạ tầng hầm lò. Cơ chế của hiện tượng này gắn liền với sự giải phóng đột ngột năng lượng đàn hồi tích tụ trong khối đá dưới sự kích thích của sự trượt đứt gãy (Feng et al., 2024).

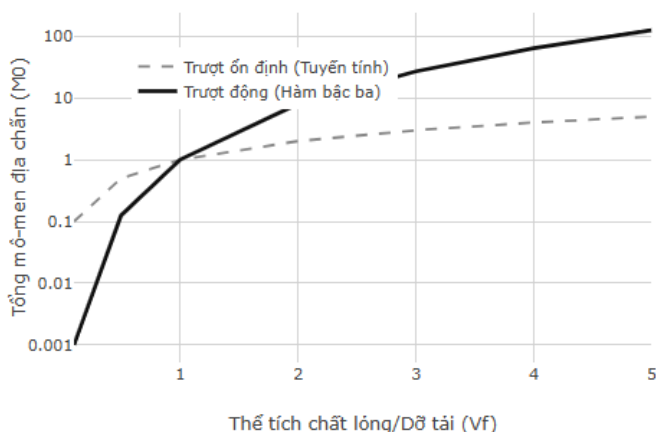
2.4.1. Năng lượng biến dạng trượt và trượt đồng địa chấn

Năng lượng biến dạng trượt là đại lượng vật lý cốt lõi trong sự hình thành nổ đá. Trong các mô hình hầm lò sâu, hoạt động khai thác làm thay đổi đột ngột trạng thái ứng suất, kích hoạt sự trượt đồng địa chấn trên các mặt đứt gãy có ứng suất tới hạn. Sự trượt này giải phóng năng lượng dưới dạng sóng địa chấn và làm thay đổi trường ứng suất tĩnh trong khu vực lân cận. Như tại mỏ than Yuejin, Trung Quốc, khi diện khai thác cách đứt gãy nghịch F16 dưới 100m, sự tích tụ năng lượng này diễn ra cực kỳ mạnh mẽ. Các sự kiện vi địa chấn có năng lượng trên 10^5 J thường tập trung tại vùng không gian giữa diện khai thác và đứt gãy, nơi có sự chồng lấn của ứng suất tì đỡ và ứng suất kiến tạo.

2.4.2. Mối quan hệ giữa thể tích xâm nhập và mô-men địa chấn

Một phát hiện quan trọng từ các thí nghiệm nén ba trục có bơm ép chất lỏng trên các mẫu đá có vết nứt là sự khác biệt trong quy luật giải phóng năng lượng giữa trượt ổn định và trượt động.

- Trượt ổn định: Tổng mô-men địa chấn giải phóng tỷ lệ thuận tuyến tính với thể tích chất lỏng xâm nhập vào đứt gãy. Điều này thường thấy ở các đứt gãy có tốc độ gia tải chậm hoặc độ cứng hệ thống cao.
- Trượt động: Khi đứt gãy chuyển sang trạng thái trượt không ổn định, mối quan hệ này chuyển sang hàm bậc ba.



Hình 3. Quy luật giải phóng mô-men địa chấn theo thể tích xâm nhập

Sự sai lệch khỏi xu hướng tuyến tính này chính là dấu hiệu cảnh báo sớm cho một vụ nổ đá sắp xảy ra (Wang et al., 2020). Việc giám sát áp suất lỗ rỗng và lượng nước rò rỉ từ đứt gãy có thể cung cấp dữ liệu quan trọng để đánh giá trạng thái ổn định của đứt gãy.

2.5. Phát triển vết nứt dẫn nước và rủi ro bụi nước từ đứt gãy

Trong điều kiện địa chất thông thường, sự sập đổ và lún của khối đá phía trên sau khai thác hình thành một vùng có dạng hình thang cân, với sự phân định rõ ràng của “ba đới”: đới sập đổ, đới nứt nẻ và đới uốn nếp liên tục. Tuy nhiên, khi khai thác cắt qua đứt gãy, sự trượt dọc theo mặt đứt gãy làm phá vỡ tính đối xứng này, thay vào đó là trạng thái biến dạng không đối xứng rõ rệt giữa khối treo và khối trụ (Zeng et al., 2022; Xin et al., 2026).

Các mô hình thực nghiệm tương đồng cho thấy tải trọng từ các tầng đá phủ bị gián đoạn bởi mặt đứt gãy và truyền lệch sang hai bên, khiến đặc trưng “ba đới” không còn được duy trì. Thay vào đó, mô hình lún chuyển sang dạng hình tam giác ngược (Zeng et al., 2022). Khối treo thường lún mạnh hơn và sớm hơn so với khối trụ, tạo ra các khe nứt dọc lớn tại vùng tiếp giáp đứt gãy.

Sự biến dạng không đồng nhất này gây ra ứng suất cắt lớn tác động lên hệ thống chống giữ của đường lò đi qua đứt gãy, dẫn đến các hiện tượng như đứt neo hoặc biến dạng hình học đáng kể của khung chống.

Sự phát triển của vết nứt dẫn nước diễn ra theo hai chiều:

- Từ trên xuống dưới: Do sự trượt và mở rộng các khe nứt trong đới đứt gãy khi chịu tác động của ứng suất khai thác.

- Từ dưới lên trên: Do sự phát triển của đới nứt nẻ phía trên nóc lò đào hoặc khu khai thác.

Khi hai hệ thống vết nứt này kết nối với nhau, một kênh dẫn nước xuyên suốt được hình thành, cho phép nước từ các tầng chứa nước trên cao đổ vào hầm lò với lưu lượng và áp lực cực lớn.

Nghiên cứu tại lò chợ 7618, mỏ Yaoqiao, Trung Quốc sử dụng phương pháp bơm nước ép và camera soi lỗ khoan đã thu được các thông số quan trọng về sự phát triển của vết nứt dẫn nước (Cao et al., 2024).

Bảng 3. Sự phát triển của vết nứt dẫn nước tại lò chợ 7618 mỏ Yaoqiao, Trung Quốc

Thông số	Giá trị không có đứt gãy	Giá trị có đứt gãy	Ý nghĩa
Chiều cao phát triển tối đa ($H_{\max}$)	73,2 m	73,7 m	Đứt gãy ít ảnh hưởng đến độ cao tuyệt đối nhưng làm thay đổi tính liên thông
Tỷ lệ phát triển vết nứt ($H_{\max}/m$)	-	13,7	Chỉ số quan trọng để thiết kế trụ than chống nước
Khoảng cách bắt đầu ảnh hưởng	-	20 - 30 m	Vùng cần triển khai khoan thăm dò tháo khô

Như trên bảng, chiều cao phát triển tối đại của vết nứt dẫn nước đạt khoảng 73,7m và tỷ lệ sản sinh vết nứt là 13,7. Sự kích hoạt đứt gãy thường bắt đầu từ khoảng cách 20 - 30m, dẫn đến việc nước từ các tầng chứa nước áp lực cao tràn vào không gian khai thác thông qua các khe nứt mở rộng từ trên xuống dưới dọc theo mặt đứt gãy.

Mặc dù chiều cao tuyệt đối không thay đổi nhiều, nhưng sự hiện diện của đứt gãy làm cho các vết nứt có xu hướng phát triển theo chiều xiên dọc theo mặt trượt, kết nối với các nguồn nước ở xa hơn về phía hông diện khai thác, điều mà các mô hình tính toán thông thường thường bỏ qua.

3. Ảnh hưởng của đứt gãy đến quá trình đào lò chuẩn bị và khai thác

Đào lò chuẩn bị qua đứt gãy là giai đoạn rủi ro cao, thường đối mặt với nhiều vấn đề nghiêm trọng. Đối với lò chợ hoạt động trong khu vực có sự tồn tại của đứt gãy, ảnh hưởng tiêu cực có thể dẫn đến việc ngừng hoàn toàn loại hình công nghệ đang sử dụng tại lò chợ dựa trên việc đánh giá hiệu quả sản xuất và công tác an toàn.

3.1. Ảnh hưởng đến quá trình đào lò chuẩn bị

Khi đường lò được đào song song hoặc cắt với đứt gãy ở góc nhọn, vùng dẻo xung quanh lò không còn duy trì hình dạng tròn hoặc elip mà chuyển sang dạng “cánh bướm”, mở rộng về phía mặt đứt gãy. Các “cánh bướm” phá hủy này có thể lan rộng gấp 5 - 10 lần bán kính đường lò, vượt xa phạm vi làm việc hiệu quả của hệ thống neo thông thường. Điều này lý giải việc các thanh neo có chiều dài khoảng 2,4m thường bị mất liên kết, do phần neo vẫn nằm trong vùng đá đã bị phá hủy dẻo. Khi chiều dài neo không vượt ra ngoài vùng này, hệ thống chống giữ không thể liên kết với khối đá ổn định, dẫn đến hiện tượng sụt lở biên lò. Khi gương lò tiến vào vùng ảnh hưởng của đứt gãy, tốc độ biến dạng (mm/ngày) có xu hướng gia tăng theo quy luật hàm lũy thừa. Trong điều kiện này, các sơ đồ chống giữ thông thường thường không đáp ứng được yêu cầu chịu tải khi thi công qua đới đứt gãy. Do đó, để duy trì ổn định không gian đường lò, cần áp dụng các giải pháp chống giữ tăng cường như những biện pháp xử lý tình huống.

Bên cạnh đó, đứt gãy với vai trò như một “siêu kênh dẫn” có thể trở thành nơi tích tụ nước và khí ở trạng thái tiềm ẩn. Dưới tác động của hoạt động đào lò, trong những điều kiện và phạm vi nhất định, các đứt gãy này có thể bị tái hoạt hóa, giải phóng năng lượng vào không gian lò. Các hiện tượng như nổ đá, bực nước hoặc phụt khí có thể xảy ra, gây ra những hậu quả nghiêm trọng nếu không có biện pháp phòng ngừa và ứng phó kịp thời.

Tại một số mỏ hầm lò thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV), sự hiện diện của hệ thống đứt gãy, trong một số trường hợp, được đánh giá là không mang lại hiệu quả cho công tác đào lò chuẩn bị. Những khu vực có quy mô không lớn nhưng mật độ đứt gãy cao thường không được đưa vào khai thác do lo ngại về hiệu quả kinh tế - kỹ thuật và mức độ an toàn, từ đó làm gia tăng tỷ lệ tổn thất tài nguyên.

Nhìn chung, các công đoạn thi công đường lò trong vùng ảnh hưởng của đứt gãy luôn tiềm ẩn rủi ro cao. Khối lượng công việc ở từng công đoạn thường gia tăng so với điều kiện bình thường, dẫn đến tốc độ đào lò suy giảm đáng kể, trung bình khoảng 30% - 50%, và có thể giảm sâu hơn khi thi công qua các đới đứt gãy có độ dốc lớn.

3.2. Ảnh hưởng đến quá trình khai thác

Trong trường hợp lò chợ khẩu than gây đỡ tải một phía của đứt gãy, trạng thái cân bằng ma sát tĩnh bị phá vỡ. Sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng hoặc sự suy giảm ứng suất pháp có thể kích hoạt quá trình trượt đột ngột. Khi ứng suất cắt vượt quá ngưỡng ma sát, đứt gãy sẽ xảy ra trượt nhanh, giải phóng năng lượng đàn hồi dưới dạng vi chấn, gây hư hỏng hệ thống giàn chống trong lò chợ. Khi gương khẩu tiến vuông góc về phía đứt gãy, hiện tượng hội tụ áp lực tựa và biến đổi chu kỳ áp lực có thể xảy ra. Vùng áp lực tựa phía trước gương chống lẫn với vùng ảnh hưởng của đứt gãy, tạo nên sự cộng hưởng ứng suất. Hiện tượng này dẫn đến “siêu tập trung ứng suất”, với hệ số tập trung có thể đạt 3,5 - 5,0, vượt quá cường độ chịu nén của than. Do đó, khối than trong khu vực này bị phá vỡ và nghiền vụn trước khi thiết bị khẩu tiếp cận, gây ra hiện tượng lở gương.

Bên cạnh đó, bước hạ trần bị biến đổi do đứt gãy cản trở quá trình sập tự nhiên của đá vách, dẫn đến sự tích lũy năng lượng treo vách. Đá vách không sập kịp thời mà treo qua mặt đứt gãy, tạo ra áp lực tựa lớn tác động lên gương khẩu, thậm chí có thể tập trung cục bộ lên một số giàn chống. Khi đá vách sập đổ đột ngột qua đứt gãy, xung lực lớn phát sinh, tác động mạnh lên hệ thống giàn chống lò chợ và có thể gây hư hỏng thiết bị.

Ngoài ra, khi máy khâu gặp đứt gãy có độ dịch chuyển lớn hơn chiều dày vỉa, việc cắt vào đá vách hoặc đá trụ là không thể tránh khỏi, gây hư hỏng răng cắt và quá tải hệ thống vận chuyển. Bên cạnh đó, những nguy cơ về nổ đá, bụi nước, phụt than, phụt khí, bùng nổ luôn luôn tiềm ẩn trong quá trình khai thác.

Trên thực tế, việc cắt đá trụ nhiều chính là nguyên nhân chính khiến cho lò chợ cơ giới hóa có công suất thiết kế lớn nhất ở Việt Nam – lò chợ 1,2 triệu tấn/năm tại mỏ than Hà Lầm thường xuyên không đạt được công suất thiết kế. Sự kết hợp với phương pháp khoan nổ mìn phá đá mặt gương khẩu làm phức tạp thêm quá trình sản xuất, công suất thực tế của lò chợ thường chỉ đạt 700.000 - 800.000 tấn/năm.

4. Giải pháp kỹ thuật nhằm đảm bảo an toàn khi đào lò và khai thác

Nhằm đảm bảo an toàn khi đào lò chuẩn bị và khai thác trong khu vực chịu ảnh hưởng của các đứt gãy địa chất, các giải pháp kỹ thuật được đề xuất bao gồm:

(1) Khoan thăm dò và tháo khô trước: Thực hiện nghiêm túc, đầy đủ công tác khoan thăm dò từ gương lò để xác định chính xác vị trí đứt gãy và tháo khô các túi nước áp lực cao trước khi đào lò đi qua.

(2) Điều chỉnh thông số đào lò: Giảm tốc độ đào và góc giao cắt giữa đường lò và đứt gãy để hạn chế sự hình thành vết nứt kéo.

(3) Thiết kế hệ thống chống giữ phù hợp: Trong phạm vi 30m kể từ đứt gãy, hệ thống chống giữ cần được nâng cấp về mật độ và cường độ để đối phó với sự tập trung ứng suất và lún lệch. Khuyến cáo sử dụng neo cáp dự ứng lực có khả năng hấp thụ năng lượng lớn với chiều dài neo $L > 6m$ để bám vào vùng đá ổn định ngoài đới hư hại. Chuyển từ vì chống cứng sang hệ thống vì chống có độ lún kiểm soát, cho phép khối đá giải phóng năng lượng mà không làm hỏng cấu trúc vì chống. Các loại neo dẻo có khả năng biến dạng lớn có thể hấp thụ năng lượng giải phóng từ đứt gãy mà không bị đứt gãy thanh neo.

(4) Gia cường chủ động bằng bơm ép vỉa áp lực cao: Bơm ép vỉa hóa học hoặc xi măng vào đới đứt gãy để lấp đầy các khe nứt, tăng lực dính kết và giảm độ thấm, từ đó ngăn chặn nước và tăng cường độ ổn định của đá.

(5) Thiết lập trụ than bảo vệ tối ưu: Tùy thuộc vào các thông số của đứt gãy trong điều kiện thực tế và mối tương quan đến công trình đào lò hoặc khai thác để tính toán thiết lập trụ than bảo vệ với kích thước tối ưu để ngăn chặn sự kết nối các vết nứt dẫn nước.

(6) Hệ thống giám sát vi địa chấn thời gian thực: Lắp đặt mạng lưới cảm biến vi địa chấn để theo dõi thời gian thực sự giải phóng năng lượng và di chuyển của đỉnh ứng suất. Các cụm sự kiện vi địa chấn tập trung là tín hiệu cảnh báo nổ đá đáng tin cậy.

(7) Ứng dụng AI và Big Data trong quản trị địa tầng: Phát triển các thuật toán học máy để dự báo độ lún và biến dạng của đường lò dựa trên dữ liệu địa chất lịch sử. Phân tích hình ảnh gương lò cùng với dữ liệu từ máy khâu, máy đào lò để tự động nhận diện các mặt trượt địa chất tiềm ẩn và dự báo vị trí đứt gãy phía trước gương. Xây dựng “Bản sao số” của mỏ để mô phỏng mọi kịch bản tương tác với đứt gãy trước khi triển khai thực tế.

(8) Xây dựng mô hình dự báo dựa trên bộ dữ liệu đầu vào với các thông số cơ bản của hệ thống đứt gãy cùng với sơ đồ công nghệ sử dụng khi đào lò và khai thác nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng với độ chính xác cao.

5. Kết luận

Nghiên cứu chi tiết về ảnh hưởng của đứt gãy địa chất trong khai thác hầm lò cho thấy đây là một vấn đề đa yếu tố, đòi hỏi sự kết hợp giữa cơ học đá, cấu tạo địa chất và thủy văn mỏ. Sự hiện diện của đứt gãy, đặc biệt là các tổ hợp phức hợp như địa hào hay địa lũy, làm biến đổi hoàn toàn quy luật phân bố ứng suất và biến dạng, tạo ra các vùng hội tụ năng lượng đàn hồi cực lớn. Nguy cơ nổ đá đạt giá trị đỉnh

khi diện khai thác tiến gần đứt gãy trong khoảng 20m, đặc biệt với các đứt gãy có góc dốc từ 65° - 75°. Đồng thời, sự kích hoạt đứt gãy tạo ra các lộ trình dẫn nước mới, biến các đứt gãy chứa nước thành kênh dẫn thấm họa.

Để giảm thiểu ảnh hưởng tiêu cực của đứt gãy đến quá trình đào lò chuẩn bị và khai thác, nhiều phương án công nghệ đã được đề xuất. Trong đó, công tác chống giữ không chỉ là ngăn chặn biến dạng bề mặt mà còn phải là việc chủ động điều chỉnh trạng thái ứng suất và kiểm soát sự phát triển của các vết nứt nẻ sâu trong khối đá. Trong tương lai, việc tích hợp giữa các mô hình dự báo số chính xác cao và hệ thống giám sát vi địa chấn thời gian thực là hướng đi duy nhất để đảm bảo an toàn tuyệt đối cho hoạt động khai thác than tại các tầng sâu có điều kiện địa chất bất lợi.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Mỏ - Địa chất theo mã số đề tài cơ sở T26-30.

Tài liệu tham khảo

1. Cao, A., Liu, Y., Jiang, S., Hao, Q., Peng, Y., Bai, X., & Yang, X. 2021. Numerical investigation on influence of two combined faults and its structure features on rock burst mechanism. *Minerals*, 11(12), 1438.
2. Cao, Z., Yang, X., Li, Z., & Du, F. 2024. Evolution mechanism of water-conducting fractures in overburden under the influence of water-rich fault in underground coal mining. *Scientific Reports*, 14, 5081.
3. Feng, X., Zhao, X., Ding, Z., Hu, Q., Wang, D., & Cao, Z. 2024. Numerical study on the influence of fault orientation on risk level of fault slip burst disasters in coal mines: A quantitative evaluation model. *Environmental Earth Sciences*, 83, 94.
4. Guo, W., Cao, A., Hu, Y., Xue, C., Liu, Y., & Lv, D. 2022. Stress distribution and rockburst characteristics of roadway group under the influence of fault and fold structures: a case study. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 736 - 761.
5. Hu, M. 2015. *Structural Geology*, Petroleum Industry Press: Beijing, China.
6. Lu, S., Chan, A., Wang, X., Wang, S., Wan, Z., & Cheng, J. 2024. The influence of the disturbing effect of roadways through faults on the faults' stability and slip characteristics. *Deep Underground Science and Engineering*, 3(4), 399 - 412.
7. Rao, Z., Du, Q., Xiang, C., Han, Z., & Liang, Y. 2025. A numerical simulation investigation on the distribution characteristics of coal seam in situ stress under the influence of normal fault. *Processes*, 13, 538.
8. Tang, L., Tu, S., Tu, H., Zhang, L., Miao, K., Zhao, H., & Ma, J. 2024. Interaction law between mining stress and fault activation and the effect of fault dip angle in longwall working face. *Scientific Reports*, 14, 25654.
9. Wang, L., Kwiatek, G., Rybacki, E., Bohnhoff, M., & Dresen, G. 2020. Injection-induced seismic moment release and laboratory fault slip: Implications for fluid-induced seismicity. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL089576.
10. Xin, T., Ji, Y., Wang, J., Wang, B., Bai, G., & Jin, J. 2026. Mine pressure behavior law and fault activation response of normal fault zones in thick coal seams under mining disturbance. *Scientific Reports*, 15, 25954.
11. Zeng, C., Zhou, Y., Zhang, L., Mao, D., & Bai, K. 2022. Study on overburden failure law and surrounding rock deformation control technology of mining through fault. *PLoS ONE*, 17(1), e0262243.

A COMPREHENSIVE REVIEW OF THE EFFECTS OF FAULTING ON ROADWAY DEVELOPMENT AND COAL EXTRACTION IN UNDERGROUND MINES

Vu Thai Tien Dung¹, Bui Manh Tung^{1,*}, Nguyen Minh Duc², Pham Quang Nam³

¹*Hanoi University of Mining and Geology*

²*Industry Agency, Ministry of Industry and Trade*

³*Electric Power University*

ABSTRACT

During roadway development and underground mining, geological faults represent one of the most hazardous and unpredictable sources of uncertainty. Their presence acts as a primary driver of anomalous stress states, leading to rock mass instability and significant disruptions to production schedules. When geological faults are encountered, roadway development rates typically decrease by 30% - 50%, and working face output is considerably reduced. In some cases, operations at fully mechanized longwall faces may even be suspended. This paper synthesizes recent domestic and international research to provide a multidimensional overview of fault-related impacts. Specifically, the study focuses on the mechanisms of stress redistribution, fault reactivation, and the kinematic effects on underground workings. The results indicate that stress redistribution in fault zones is the root cause of hazards such as rockburst, water inrush, gas outbursts, roof falls, and floor heave. Furthermore, the paper discusses advanced predictive models based on artificial intelligence (AI) and intelligent support systems to enhance both safety and operational efficiency.

Keywords: *fault; underground coal mining; stress redistribution; rockburst; water inrush*



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA

PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

KHOA HỌC CÔNG NGHỆ MỎ VÀ MÔI TRƯỜNG

Sustainable Development of Mining Science, Technology and Environment



ISBN: 978-632-615-267-8



Sách không bán