

HỘI KỸ THUẬT NỔ MÌN VIỆT NAM



TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC KỸ THUẬT NỔ MÌN VIỆT NAM LẦN THỨ I

**KỸ THUẬT NỔ MÌN TIỀN TIẾN
AN TOÀN VÀ THÂN THIỆN VỚI MÔI TRƯỜNG**



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

15	Kíp điện tử - nền tảng chuyển đổi số cho nổ mìn thông minh <i>Nguyễn Đình An, Hoàng Trung Thành, Trần Đình Bảo, Lê Quý Thảo, Trần Văn Dũng</i>	243
16	Mô hình hóa quỹ đạo đá văng theo điều kiện nổ mìn: Áp dụng cho mỏ đá Điều Phon, Cao Bằng <i>Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Việt, Phạm Văn Hòa, Đỗ Ngọc Hoàn, Nguyễn Anh Kiên, Phùng Văn Thắng, Ngọc Thúy Oanh, Phùng Bảo Ngọc, Phùng Tuấn Kiệt</i>	254
17	Nghiên cứu khả năng tận dụng dầu ăn đã qua sử dụng để chế tạo thuốc nổ nhũ tương <i>Đàm Quang Sang, Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Vũ Hùng</i>	274
18	An toàn, sức khỏe nghề nghiệp cho thợ nổ mìn trong cung ứng dịch vụ nổ mìn trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh - Thực tiễn triển khai tại Tổng công ty Công nghiệp Hóa chất Mỏ (MICCO) <i>Ngô Kim Tú, Lâm Kiều Anh, Trần Văn Dũng</i>	285
19	Đánh giá nguy cơ rủi ro và phòng ngừa ô nhiễm bụi, khí độc trong công tác nổ mìn cho các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp <i>Lâm Kiều Anh</i>	300
20	Tác động môi trường của vật liệu nổ trong xung đột vũ trang và hàm ý đối với quản lý nổ mìn thân thiện môi trường <i>Lê Ngọc Ninh</i>	315

KÍP ĐIỆN TỬ - NỀN TẢNG CHUYỂN ĐỔI SỐ CHO NỔ Mìn THÔNG MINH

Nguyễn Đình An^{1, 2, *}, Hoàng Trung Thành³, Trần Đình Bảo^{1, 2}, Lê Quý Thảo^{1, 2},
Trần Văn Dũng^{2, 4}

TÓM TẮT

Nổ mìn là khâu mở đầu và có vai trò quyết định trong quy trình công nghệ khai thác mỏ, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả kỹ thuật, an toàn lao động và tác động môi trường của các công đoạn tiếp theo. Thực tiễn cho thấy, các phương tiện nổ truyền thống như kíp điện, kíp phi điện và dây nổ vẫn tồn tại nhiều hạn chế về độ chính xác thời gian vi sai, khả năng kiểm soát trình tự nổ và mức độ khai thác dữ liệu, từ đó làm gia tăng rung chấn, sóng và đập không khí và nguy cơ mất an toàn. Trong bối cảnh chuyển đổi số và phát triển mỏ thông minh, kíp điện tử được xem là giải pháp công nghệ then chốt nhằm khắc phục các hạn chế trên. Bài báo tập trung phân tích sự phát triển của kíp điện tử, cấu tạo, nguyên lý hoạt động và hiệu quả kỹ thuật so với các phương tiện nổ truyền thống. Trên cơ sở đó, nghiên cứu làm rõ vai trò của kíp điện tử như một nền tảng số hóa trong nổ mìn, cho phép tích hợp với các công nghệ hiện đại như thiết kế nổ mìn 3D, cảm biến giám sát, UAV, điện toán đám mây và trí tuệ nhân tạo. Kết quả cho thấy việc ứng dụng kíp điện tử không chỉ nâng cao hiệu quả đập vỡ và giảm các tác động có hại của nổ mìn, mà còn tạo lập cơ sở dữ liệu quan trọng phục vụ mô phỏng, tối ưu hóa và quản lý nổ mìn theo hướng thông minh, an toàn và bền vững.

Từ khoá: an toàn và hiệu quả nổ mìn, chuyển đổi số trong khai thác mỏ, kiểm soát thời gian vi sai, kíp điện tử, nổ mìn thông minh.

¹ Trường Đại học Mỏ – Địa chất

² Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam

³ Công ty Vật liệu nổ công nghiệp – Tổng công ty Kinh tế kỹ thuật Công nghiệp Quốc phòng

⁴ Tổng công ty Công nghiệp Hóa chất mỏ – Vinacomin

*Email: nguyendinhhan@humg.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Trong hoạt động khai thác mỏ, nổ mìn là khâu đầu tiên trong quy trình công nghệ khai thác, chất lượng của nó ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả của những khâu tiếp theo và luôn tiềm ẩn nhiều rủi ro về an toàn, môi trường. Thực tế hiện nay, phần lớn các mỏ vẫn sử dụng những phương tiện nổ truyền thống như kíp điện, kíp điện vi sai, dây nổ và kíp phi điện để thực hiện nổ mìn. Mặc dù các phương tiện nổ này được sử dụng rộng rãi và mang lại những kết quả nhất định, song các phương tiện nổ vẫn còn nhiều hạn chế về khả năng kiểm soát thời gian vi sai, không đủ dữ liệu dẫn đến khó khăn trong việc tối ưu hóa các thông số nổ mìn phù hợp với đặc điểm địa chất từng khu vực. Những giới hạn đó dẫn đến hiệu quả phá vỡ đá chưa cao, chấn động, sóng va đập không khí, đá bay khó kiểm soát, đồng thời làm gia tăng nguy cơ ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và cộng đồng dân cư xung quanh mỏ [1, 2, 6].

Trong bối cảnh cách mạng công nghiệp lần thứ tư (CMCN 4.0) đang thúc đẩy mạnh mẽ quá trình số hóa và tự động hóa trong các ngành công nghiệp nặng, hoạt động nổ mìn trong khai thác mỏ không thể đứng ngoài xu thế này. Việc chuyển đổi từ nổ mìn dựa trên kinh nghiệm sang nổ mìn thông minh - dựa trên dữ liệu, mô hình và thuật toán điều khiển chính xác - trở thành yêu cầu cấp bách. Mô hình nổ mìn thông minh cho phép tích hợp các công nghệ như cảm biến IoT, hệ thống định vị GPS, kíp điện tử, mô phỏng số, và trí tuệ nhân tạo (AI) để đạt được độ chính xác vi sai cao, kiểm soát chặt chẽ tác động môi trường, đồng thời tối ưu hóa hiệu quả kinh tế và an toàn vận hành. Để trở thành mỏ thông minh, vì vậy việc chuyển đổi số trong khâu nổ mìn không chỉ là xu hướng tất yếu mà còn là điều kiện tiên quyết. Trọng tâm của quá trình chuyển đổi này là sự thay thế các phương tiện nổ truyền thống bằng phương tiện nổ kỹ thuật số tiên tiến chính là kíp điện tử.

2. Các loại phương tiện nổ đang sử dụng hiện nay

Khi nổ mìn làm tơi đất đá trên mỏ, việc điều khiển năng lượng nổ gắn liền với các loại phương tiện nổ nhằm điều khiển năng lượng chất nổ (nổ mìn vi sai) tác dụng vào đất đá, sao cho sử dụng tối đa năng lượng chất nổ vào nhiệm vụ công tác nổ. Xuất phát từ yêu cầu trên, hiện nay các mỏ phổ biến sử dụng những phương tiện nổ sau để nổ mìn vi sai: dây nổ + role vi sai, dây nổ + kíp điện vi sai, kíp điện vi sai, phương tiện nổ phi điện, phương tiện nổ phi điện + dây nổ.

- Mạng kíp điện vi sai được đặc trưng bởi khả năng không chế thời gian vi sai tương đối chính xác, phù hợp với các sơ đồ vi sai phổ biến như vi sai qua hàng, rạch (dọc, ngang), qua hàng - qua lỗ, đường chéo, nêm hình thang hoặc tam giác và các cấu hình 2 - 3 lần đặt tải nổ. Ưu điểm chính là chi phí thấp và thao tác lắp ghép tương đối đơn giản về thành phần. Hạn chế kỹ thuật gồm phức tạp trong tính toán thi công khi mở rộng sơ đồ, bị giới hạn bởi nguồn cung cấp kíp điện (số kíp tối đa), không phù hợp hoặc khó kiểm soát khi cần sơ đồ vi sai với 4 lần đặt tải nổ (dẫn đến chấn động lớn), và có rủi ro an toàn liên quan đến mìn cảm, rò điện hoặc xử lý kíp bị lỗi.

- Mạng dây nổ với role vi sai (đoạn nối phần ngàn giây) cung cấp phạm vi điều khiển vi sai rộng hơn so với mạng kíp điện vi sai, có thể đáp ứng các sơ đồ vi sai 2, 3 và 4 lần đặt tải nổ và giảm phần nào tác dụng chấn động so với kíp điện. Tuy nhiên, để không chế đầy đủ các sơ đồ phức tạp (như 4 lần đặt tải) yêu cầu đầu tư lớn về role vi sai hoặc lượng dây nổ nhiều, làm tăng chi phí. Vấn đề an toàn thực tế gồm sự cố mìn cảm do đứt dây trên mặt khi đất đá dịch chuyển (khí nổ thoát sớm theo kẽ nứt), dẫn đến độ tin cậy vận hành không cao. Tác dụng sóng chấn động khi nổ bằng dây nổ vẫn còn tương đối mạnh.

- Hệ thống truyền tín hiệu nổ là một phương tiện nổ hiện đại đang được dùng phổ biến ở các mỏ nhờ có các ưu điểm sau: lắp ghép đơn giản, chắc chắn, không chế được các sơ đồ vi sai phức tạp nhất (4 lần đặt tải); chỉ cần thay đổi thời gian vi sai giữa các lỗ, các hàng ta sẽ có các sơ đồ vi sai rất đa dạng phát huy tối đa tác dụng của vi sai (vừa tạo ra sự cộng hưởng ứng suất vừa phát huy được vai trò của mặt tự do). Chính vì thế mà hiệu quả đập vỡ đất đá cao hơn đáng kể. Mặt khác, do tạo ra trình tự nổ hầu như không trùng lặp giữa các lượng thuốc nổ (LTN) gần nhau và thậm chí cả bãi mìn mà làm giảm tác dụng chấn động đến mức tối thiểu. Dùng kíp dưới lỗ có thời gian vi sai lớn sẽ khắc phục được nhược điểm của nổ mìn vi sai bằng dây nổ là không gây cắt dây trên mặt do đất đá dịch chuyển,... Nhược điểm duy nhất của loại phương tiện nổ này là đơn giá đắt hơn so với các phương tiện trên. Tuy nhiên nếu xét về hiệu quả tổng hợp (nâng cao chất lượng đập vỡ, giảm tác dụng có hại nói chung và chấn động nói riêng,...) thì dùng phương tiện này là tốt hơn cả, chỉ có điều cần lưu ý là khi dùng đường kính lỗ khoan nhỏ quá thì chi phí phương tiện nổ sẽ khá cao, vì vậy chỉ nên dùng khi đường kính lỗ khoan ≥ 100 mm. Bảng 1 trình bày kết quả so sánh hiệu quả kỹ thuật, an toàn của các phương tiện nổ đang sử dụng hiện nay.

Bảng 1. So sánh các phương tiện nổ truyền thống

Phương tiện nổ vi sai	Khả năng không chế sơ đồ vi sai	An toàn	Hiệu quả nổ mìn và tác động có hại	Chi phí
Mạng kíp điện vi sai	Không chế thời gian vi sai tương đối chính xác, thích hợp cho sơ đồ đơn giản (2 - 3 lần đặt tải).	Rủi ro mìn câm, rò điện; giới hạn số kíp; yêu cầu tính toán thi công phức tạp khi bãi mìn lớn.	Hiệu quả phá vỡ chấp nhận được với sơ đồ đơn giản; chấn động, sóng và đập không khí lớn do lượng nổ một cấp vi sai lớn.	Chi phí thấp phù hợp với mỏ có công suất nhỏ và trung bình.
Mạng dây nổ + role vi sai	Khả năng điều chỉnh vi sai tốt hơn so với kíp điện; hỗ trợ 2, 3 và 4 lần đặt tải nổ khi sử dụng nhiều rơ le vi sai.	Nguy cơ đứt dây trên mặt do dịch chuyển đất đá; tỷ lệ mìn câm thực tế cao hơn.	Hiệu quả phá vỡ tốt hơn và giảm được tác dụng chấn động, sóng và đập không khí so với kíp điện.	Chi phí trung bình đến cao phù hợp với mỏ có công suất trung bình.
Hệ thống truyền tín hiệu nổ (kíp phi điện)	Hệ thống hiện đại, đấu ghép đơn giản, không chế thời gian vi sai linh hoạt và chính xác từ đơn giản đến phức tạp.	Rủi ro thao tác và lỗi hệ thống thấp hơn.	Hiệu quả đập vỡ cao, tác dụng chấn động, sóng và đập được giảm tối thiểu nhờ nổ vi sai toàn phần.	Chi phí cao, phù hợp với mỏ công suất lớn và nổ mìn gần các công trình cần bảo vệ.

3. Sự phát triển của kíp điện tử: từ kiểm soát cơ học đến kỹ thuật số

3.1. Tổng quan lịch sử phát triển của kíp nổ điện tử

Kíp nổ điện tử (Electronic Detonators) được phát triển nhằm khắc phục những hạn chế của các phương tiện nổ truyền thống, đặc biệt về độ chính xác thời gian vi sai và mức độ an toàn trong thi công nổ mìn. Trong giai đoạn 1970 - 1990, các nhóm nghiên cứu tại châu Âu đã tiến hành những thử nghiệm đầu tiên về kíp điện tử có khả năng kiểm soát thời gian vi sai vượt trội. Mặc dù chi phí sản xuất còn cao và mức độ ứng dụng thực tế còn hạn chế, những thành tựu ban đầu này đã đặt nền móng cho sự hình thành và phát triển của công nghệ kíp điện tử.

Bước sang thập niên 1990 và đầu những năm 2000, với sự phát triển của công nghệ điện tử đã thúc đẩy quá trình thương mại hóa kíp điện tử. Các công ty chuyên

sản xuất vật liệu nổ công nghiệp như Orica và Dyno Nobel,... đã tham gia và đưa ra thị trường những hệ thống kíp điện tử như i-kon™, eDev™ hay DigiShot®. Những hệ thống này chứng minh độ ổn định cao, khả năng lập trình linh hoạt và kiểm soát từng kíp một cách chính xác, mở ra một kỷ nguyên mới cho kỹ thuật nổ mìn.

Từ năm 2010 đến nay, cùng với xu hướng số hóa trong CMCN 4.0, kíp điện tử tiếp tục được hoàn thiện với việc tích hợp các vi điều khiển mạnh hơn, bộ nhớ hóa thông tin ID, hệ thống kiểm tra hai chiều và khả năng mô phỏng vụ nổ trước khi thi công. Kíp điện tử trở thành phương tiện khởi nổ có độ chính xác và mức độ an toàn cao nhất hiện nay, được ứng dụng rộng rãi trong khai thác lộ thiên, khai thác hầm lò và các công trình xây dựng quy mô lớn. Sự ra đời và phát triển của kíp điện tử đánh dấu bước chuyển dịch quan trọng từ công nghệ nổ mìn truyền thống sang nền tảng điều khiển thông minh, hiện đại hóa toàn diện kỹ thuật nổ mìn trong công nghiệp khai thác mỏ [4, 5].

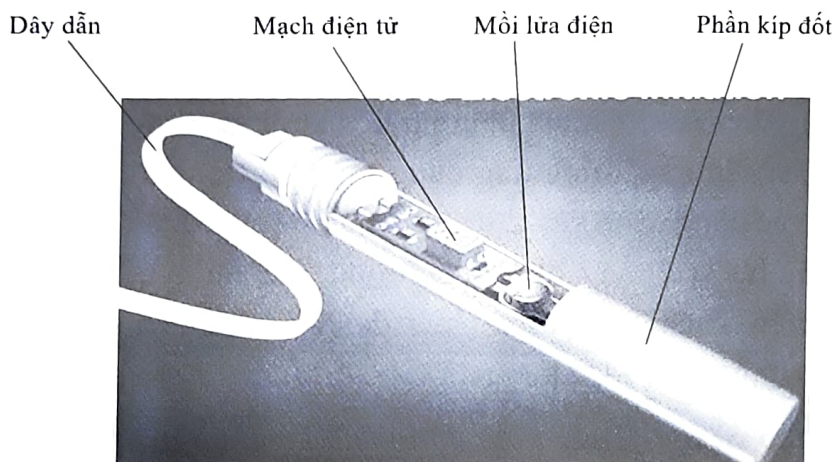
3.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của kíp điện tử

3.2.1. Cấu tạo của kíp nổ điện tử

Cấu tạo của kíp nổ điện tử thể hiện mức độ tích hợp công nghệ cao hơn nhiều so với các loại kíp điện và kíp phi điện truyền thống. Nếu như kíp vi sai thông thường sử dụng thuốc hóa thuật để tạo thời gian vi sai, thì kíp điện tử thay thế hoàn toàn cơ chế đó bằng một mô-đun điều khiển số, cho phép xác lập và duy trì thời gian vi sai với độ chính xác cao (Hình 1). Theo các tài liệu kỹ thuật của Orica và Dyno Nobel, thành phần trung tâm của kíp điện tử là mô-đun vi điều khiển (ASIC), có nhiệm vụ tiếp nhận, lưu trữ và xử lý các thông tin liên quan đến mã định danh của kíp, thời gian vi sai được lập trình và trạng thái làm việc của thiết bị. Vi điều khiển đồng thời đảm nhận chức năng điều phối các khối điện tử khác, bảo đảm trình tự kích hoạt diễn ra đúng theo thuật toán đã thiết lập [4, 5].

Gắn liền với mô-đun điều khiển là hệ thống quản lý năng lượng, trong đó tụ điện dung tích nhỏ đóng vai trò tích lũy năng lượng kích nổ. Tụ điện được nạp thông qua mạch nạp điều khiển, vận hành theo nguyên tắc hạn chế dòng, nhằm đảm bảo rằng năng lượng chỉ đạt đến mức kích hoạt khi toàn bộ điều kiện an toàn đã được thỏa mãn. Khi đến thời điểm đã lập trình, tụ điện giải phóng năng lượng một cách tức thời vào hệ khởi nổ, tạo nên xung kích cần thiết để khởi động quá trình truyền nổ.

Bao quanh các bộ phận điện tử là hệ thống bảo vệ, bao gồm các mạch chống nhiễu, các tầng ổn định dòng và vật liệu cách ly nhiều lớp. Những thành phần này được thiết kế để bảo vệ mô-đun điện tử khỏi tác động của nhiễu điện từ, rung động, áp suất, độ ẩm và các yếu tố khắc nghiệt khác của môi trường khai thác mỏ. Sự hiện diện của các lớp bảo vệ này là một trong những lý do giúp kíp điện tử có độ tin cậy cao hơn so với kíp điện thông thường.



Hình 1. Cấu tạo kíp điện tử [6]

3.2.2. Nguyên lý hoạt động của kíp điện tử

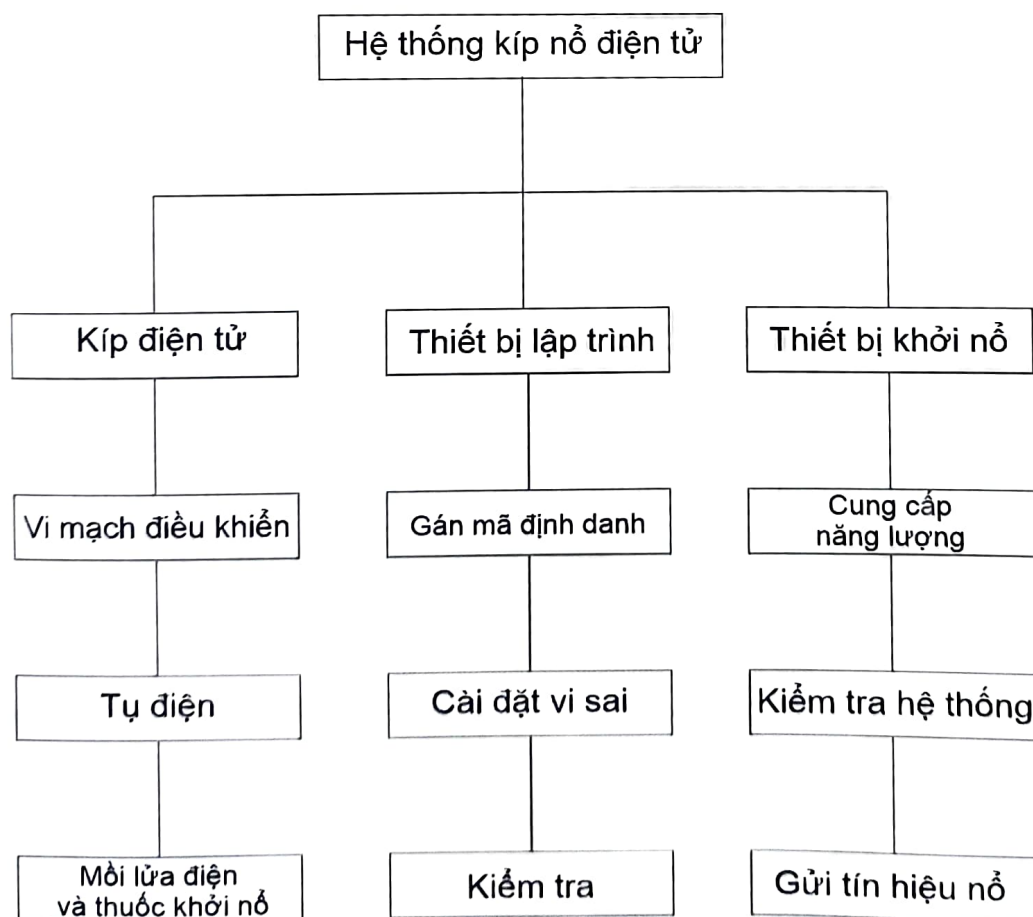
- Hệ thống kíp điện tử bao gồm ba thành phần chính: kíp nổ vi sai điện tử, thiết bị cài đặt thời gian vi sai (Logger) và thiết bị điểm hỏa (Blaster). Ba thành phần được liên kết thông qua mạng dây dẫn và giao thức truyền thông số, hình thành một hệ thống khởi nổ có độ chính xác rất cao, khả năng kiểm soát toàn diện và mức an toàn vượt trội so với các hệ thống truyền thống (Hình 2) và nguyên lý hoạt động được thể hiện ở Hình 3.



Hình 2. Hệ thống kíp điện tử của hãng ORICA [5]

- Kíp nổ vi sai điện tử có khả năng lập trình được (Programmable Electronics Detonator) và có thể cung cấp thời gian giữ chậm lên đến 20.000 ms, mỗi kíp có một số ID xác định, có tụ điện để tích và giải phóng năng lượng, có tính năng an toàn để ngăn ngừa bị nổ do dòng đi lạc, sóng điện từ,...

- Thiết bị đặt thời gian vi sai (Logger) là thiết bị dùng để lập trình thời gian vi sai cho từng kíp và kiểm tra tình trạng kỹ thuật trước khi triển khai mạng nổ. Logger sẽ kiểm tra tính liên tục của mạch trong kíp, xác định mã định danh cho từng kíp, xác nhận trạng thái hoạt động và lưu trữ thời gian vi sai vào bộ nhớ của kíp. Logger cho phép cài đặt ở hai chế độ: tự động (Auto) và thủ công (Manual). Trong chế độ Auto, Logger tự động gán thời gian vi sai cho nhóm kíp theo thuật toán định sẵn và chế độ Manual, người sử dụng có thể gán thời gian cụ thể cho từng kíp theo thiết kế hệ chiếu nổ mìn. Tất cả thông tin lập trình được lưu lại, cho phép người sử dụng xem lại danh sách thời gian vi sai và xác nhận mạng nổ trước khi chuyển sang bước kích nổ. Logger đồng thời đóng vai trò kiểm tra mạng sau khi đấu nối xong để đảm bảo không có kíp hỏng hoặc đấu sai vị trí.



Hình 3. Nguyên lý hoạt động của hệ thống kíp nổ điện tử

- Thiết bị điểm hỏa (Blaster) là thiết bị điều khiển trung tâm của toàn bộ hệ thống kíp điện tử, trước khi cho phép kích nổ, thiết bị điểm hỏa tiến hành kiểm tra toàn diện mạng nổ, bao gồm tình trạng kết nối, thông số lập trình và mức độ an toàn của từng kíp. Chỉ khi tất cả các kíp đều được xác nhận hoạt động đúng và đáp ứng đầy đủ yêu cầu kỹ thuật, thiết bị điểm hỏa mới gửi tín hiệu nổ được mã hóa để khởi động quá trình khởi nổ theo đúng thiết kế.

3.2.3. Hiệu quả khi sử dụng kíp điện tử

Kíp phi điện có ưu điểm an toàn hơn kíp điện truyền thống do không nhạy với điện rò, tia sét và sóng vô tuyến; giá thành hợp lý; dễ sử dụng. Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra hạn chế lớn về độ chính xác thời gian nổ. Theo Hiệp hội Kỹ sư Nổ mìn Quốc tế (ISEE, Blasters' Handbook, 18th Edition), kíp phi điện có sai số thời gian trong khoảng $\pm 3 - 5\%$ so với giá trị danh định. Điều này đồng nghĩa với việc một kíp 25 ms có thể nổ trong khoảng 24 - 26 ms hoặc xa hơn, còn các kíp có thời gian trễ 100 - 400 ms có thể sai lệch hàng chục miligiây. Trên thực tế, khảo sát của Orica (2008) tại một mỏ đá granit ở Úc cho thấy kíp 42 ms nổ trong khoảng 39 - 45 ms, sai lệch ± 6 ms. Nghiên cứu tại một mỏ đá vôi ở Thái Lan (năm 2015) cũng ghi nhận độ trễ sai lệch đáng kể, làm biên độ rung chấn tăng 20 - 30% so với thiết kế. Các sai số này dẫn đến hiện tượng trùng nổ, làm tăng tải nổ tức thời, từ đó gây rung chấn mạnh và tăng nguy cơ đá văng [1].

Ngược lại, kíp nổ điện tử là bước tiến quan trọng trong công nghệ nổ mìn, khắc phục hoàn toàn các nhược điểm của kíp truyền thống. Kíp điện tử có khả năng điều khiển vi sai trong khoảng rộng từ 1 đến 20.000 ms, với độ sai lệch cực nhỏ chỉ $\pm 0,005\%$ đến $\pm 0,03\%$. Điều này cho phép lập trình chính xác thời gian nổ theo đúng thiết kế, không phụ thuộc vào vị trí vật lý của kíp trong mạng nổ. Mỗi kíp có mã định danh (ID) riêng, giúp nhận diện chính xác từng kíp, loại bỏ hoàn toàn nguy cơ nhầm lẫn trong thi công [6]. Như vậy, việc sử dụng kíp điện tử mang lại nhiều lợi ích như:

- Tối ưu hóa mức độ đập vỡ, cải thiện đồng đá nổ mìn: với khả năng kiểm soát tốt hơn các thông số nổ khoan - nổ mìn, kíp điện tử giúp cải thiện hình dạng đồng đá nổ mìn, mức độ đập vỡ đất đá đồng đều hơn, giảm đá quá cỡ do đó làm tăng năng suất các khâu công nghệ tiếp theo.

- Kiểm soát chấn động, sóng va đập không khí, đá bay nhờ khả năng cài đặt thời gian vi sai chính xác, đặc biệt khi nổ mìn gần khu dân cư, các công trình cần bảo vệ.

Về mặt kinh tế, nếu chỉ xét riêng chi phí thì kíp điện tử luôn đắt hơn đáng kể so với kíp phi điện và kíp điện vi sai. Các kết quả nghiên cứu đều thừa nhận rằng hệ thống kíp điện tử có giá thành cao hơn, đòi hỏi thêm chi phí đào tạo nhân lực vận hành. Tuy nhiên, xét về tổng thể hiệu quả kinh tế lại vượt trội nhờ tăng năng suất, giảm chi phí bảo trì, hạn chế tổn thất sản lượng và giảm rủi ro mất an toàn.

4. Kíp điện tử - nền tảng chuyển đổi số trong nổ mìn thông minh

Chuyển đổi số trong nổ mìn là quá trình hệ thống hóa, số hóa và từng bước tự động hóa toàn bộ quá trình nổ mìn khai thác mỏ, từ khâu lập hộ chiếu, thiết kế, khoan, thi công bãi nổ đến giám sát và đánh giá sau nổ mìn, thông qua việc thu thập, xử lý và khai thác dữ liệu số. Bên cạnh công nghệ kíp điện tử, chuyển đổi số trong nổ mìn còn đòi hỏi sự tích hợp đồng bộ của nhiều công nghệ tiên tiến khác như: các phần mềm thiết kế nổ mìn 3D cho phép xây dựng mô hình không gian chính xác của khu vực nổ, tối ưu hóa các thông số khoan - nổ mìn dựa trên dữ liệu địa chất, địa chất thủy văn, tính chất cơ lý đá và dữ liệu từ các vụ nổ trước. Hệ thống cảm biến được triển khai để giám sát theo thời gian thực các tác động có hại của nổ mìn như chấn động, sóng va đập không khí, bụi và khí độc. Trí tuệ nhân tạo và học máy được ứng dụng nhằm dự báo kết quả nổ mìn, đặc biệt là chấn động, sóng va đập không khí và mức độ đập vỡ đất đá, trong khi điện toán đám mây cung cấp hạ tầng lưu trữ, xử lý và chia sẻ dữ liệu lớn, cho phép truy cập và phân tích dữ liệu linh hoạt [4, 5].

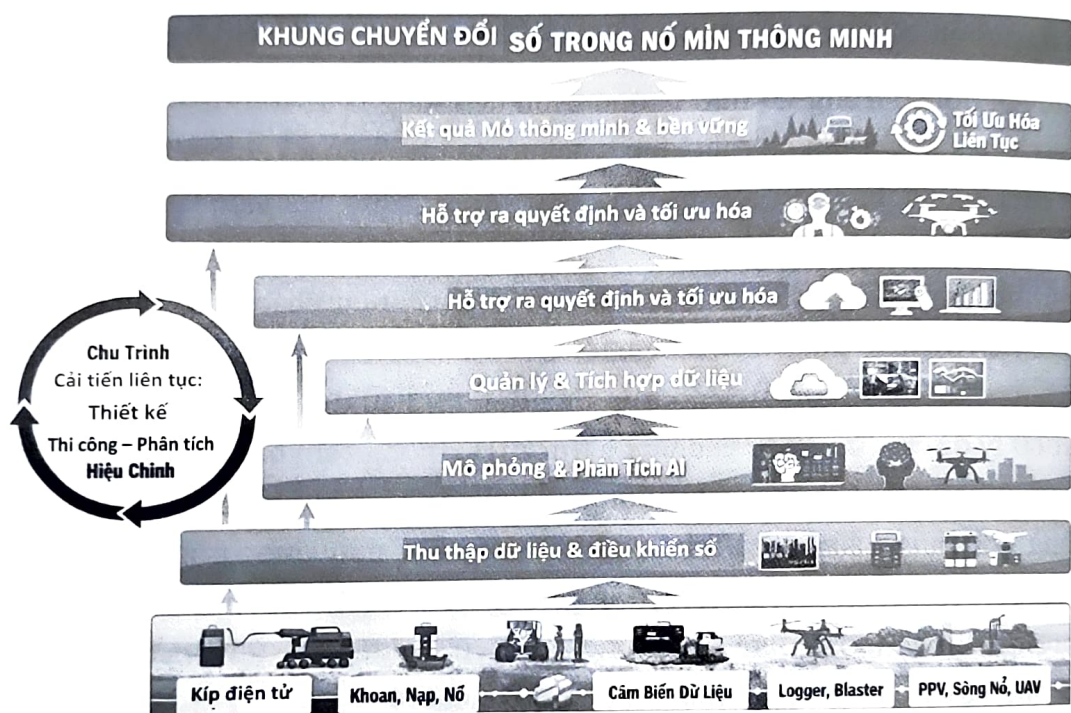
- Chuyển đổi số mang lại nhiều lợi ích quan trọng, trước hết là khả năng mô phỏng và tối ưu hóa phương án nổ mìn thông qua việc đánh giá các kịch bản khác nhau trước khi thi công, bao gồm dự báo mức độ đập vỡ, hình dạng đồng đá dựa trên các thông số khoan - nổ mìn, sơ đồ nổ. Việc tích hợp các dữ liệu này giúp người cán bộ kỹ thuật lựa chọn được phương án nổ mìn phù hợp với điều kiện thực tế của mỏ.

- Công nghệ số cũng cho phép giám sát và điều khiển nổ mìn từ xa, nâng cao mức độ an toàn. Các hệ thống kích nổ từ xa và hệ thống giám sát theo thời gian thực dựa trên IoT, kết hợp với các thuật toán học máy, cho phép phát hiện sớm các điều kiện nguy hiểm và phát cảnh báo kịp thời.

- Phân tích dữ liệu là trọng tâm của quá trình chuyển đổi số, tạo cơ sở cho chu trình cải tiến liên tục. Sau nổ mìn, UAV và các phần mềm xử lý ảnh được sử dụng để đánh giá mức độ đập vỡ, so sánh với mục tiêu thiết kế và hiệu chỉnh các thông số cho các lần nổ tiếp theo. Việc khai thác dữ liệu lịch sử, kết hợp các mô

hình học máy, cho phép tối ưu hóa dần các thông số nổ mìn, nâng cao hiệu quả kỹ thuật, an toàn và tính bền vững của hoạt động khai thác mỏ.

Sơ đồ tổng thể hệ thống nổ mìn thông minh dựa trên kíp điện tử được tổng quát hoá qua Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ tổng thể hệ thống nổ mìn thông minh dựa trên kíp điện tử

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy kíp điện tử là phương tiện khởi nổ với độ chính xác thời gian vi sai vượt trội, và đóng vai trò quan trọng trong quá trình chuyển đổi số hoạt động nổ mìn khai thác mỏ. So với các phương tiện nổ truyền thống, kíp điện tử cho phép kiểm soát chặt chẽ trình tự nổ, giảm khối lượng nổ tức thời, qua đó nâng cao hiệu quả đập vỡ đất đá đồng thời hạn chế đáng kể các tác động có hại như chấn động, sóng va đập không khí và đá văng.

Kíp điện tử không chỉ nằm ở độ chính xác kỹ thuật, mà còn ở khả năng tạo lập và khai thác dữ liệu về thời gian vi sai, mã định danh kíp và trình tự nổ mìn là cơ sở quan trọng cho việc mô phỏng, phân tích và tối ưu hóa, tự động hóa quá trình nổ mìn. Như vậy, kíp điện tử trở thành một phần không thể tách rời của hệ thống nổ mìn thông minh, cho phép tích hợp với các công nghệ số như mô hình 3D, hệ thống giám sát theo thời gian thực và máy học, hướng tới quản lý chủ động thay vì bị động.

Tài liệu tham khảo

[1] Nhữ Văn Bách (2008). *Nâng cao hiệu quả phá vỡ đất đá bằng nổ mìn trong khai thác mỏ*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải. Hà Nội.

[2] Nhữ Văn Bách và nnk. (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 Việt Nam*. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội.

[3] QCVN 01:2019/BCT (2019). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ*. Bộ Công Thương.

[4] ISEE (2011). *Blasters' Handbook, 18th Edition*. International Society of Explosives Engineers. Cleveland. USA.

[5] Orica Mining Services (2008). *Electronic Blasting Systems - Technical Reference Manual*. Orica Explosives, Australia.

[6] Dyno Nobel (2015). *Electronic Detonators and Blast Optimization*. Dyno Nobel Inc., USA.



ISBN: 978-604-76-3270-1



9 786047 632701

SÁCH KHÔNG BÁN