

TỔNG QUAN HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THÔNG GIÓ MỎ HÀM LÒ

OVERVIEW OF THE UNDERGROUND MINE VENTILATION CONTROL SYSTEM

Nguyễn Thế Lực*, Đặng Văn Chí

Bộ môn Tự động hóa xí nghiệp Mỏ – Dầu Khí, Trường Đại học Mỏ – Địa chất

*Email: nguyentheluc@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Hệ thống thông gió mỏ hầm lò đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an toàn và hiệu quả trong khai thác than. Bài báo này trình bày tổng quan về hệ thống điều khiển thông gió mỏ hầm lò tại Việt Nam và trên thế giới, tập trung vào các công nghệ và phương pháp được áp dụng, cũng như những thách thức và xu hướng phát triển trong tương lai. Bài báo cũng cung cấp các hình ảnh minh họa để làm rõ hơn các khái niệm và công nghệ được đề cập.

Từ khóa: Thông gió mỏ hầm lò; Điều khiển thông gió mỏ hầm lò; Kỹ thuật thông gió mỏ.

ABSTRACT

The ventilation system for underground mines plays an important role in ensuring the safety and efficiency of coal mining. This paper presents an overview of underground mine ventilation control systems in Vietnam and the world, focusing on applied technologies and methods, challenges and future development trends. The article provides illustrations to better clarify the concepts and technologies.

Keywords: Underground mine ventilation; Underground mine ventilation control; Mine ventilation engineering.

1. GIỚI THIỆU

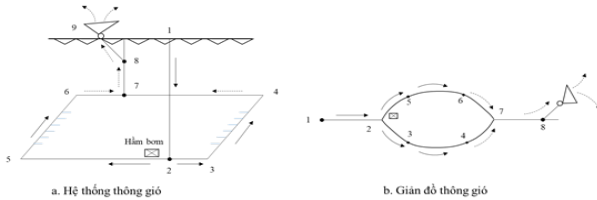
Khai thác than hầm lò là một trong những ngành công nghiệp quan trọng tại Việt Nam, đặc biệt là ở vùng Quảng Ninh. Hệ thống thông gió mỏ hầm lò không chỉ đảm bảo cung cấp không khí sạch cho công nhân mà còn giúp loại bỏ khí độc hại và bụi, duy trì nhiệt độ và độ ẩm phù hợp. Bài báo này sẽ tổng quan về hệ thống điều khiển thông gió mỏ hầm lò tại Việt Nam, từ các công nghệ hiện có đến các nghiên cứu và xu hướng ứng dụng các công nghệ mới.

2. HỆ THỐNG THÔNG GIÓ MỎ HÀM LÒ TẠI VIỆT NAM

2.1. Cơ sở lý thuyết và công nghệ thông gió

Hệ thống thông gió mỏ hầm lò bao gồm các quạt gió chính và quạt gió cục bộ, hệ thống phân phối gió, và các thiết bị điều khiển, giám sát. Các phương pháp thông gió phổ biến bao gồm thông gió đẩy, thông gió hút, và thông gió kết hợp cả đẩy và hút. Phương pháp thông gió phổ biến ở các mỏ hầm lò hiện nay là thông gió

hút. Quạt gió chính làm nhiệm vụ tạo ra áp suất thấp trong các đường lò giúp cho không khí sạch đi vào đường lò qua các giếng trời đồng thời đưa khí bẩn từ trong lò ra ngoài [1].

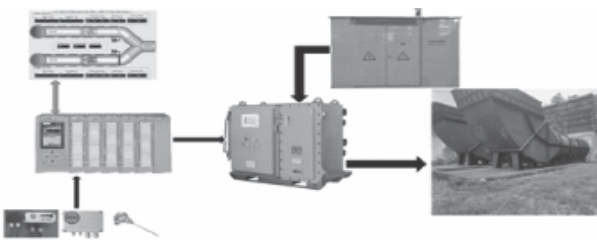


Hình 1. Sơ đồ hệ thống thông gió mỏ hầm lò [1]

Sơ đồ hệ thống thông gió (Hình 1a) mô tả hệ thống thông gió hút. Gió sạch đi vào mỏ từ các giếng trời (1-2) do có sự chênh lệch về áp suất. Gió sạch đi tới các khu vực gương lò khai thác (5-6 và 3-4) để thông gió, pha loãng khí độc, bụi. Gió bẩn được đưa ra ngoài thông qua rãnh gió tại trạm quạt gió chính (7-8-9). Giản đồ thông gió (Hình 1b) thể hiện các nhánh gió, hướng thông gió chính trong mỏ cũng như phương pháp thông gió của mỏ. Đây là hai cách thức phổ biến để biểu diễn một hệ thống thông gió mỏ.

2.2. Hệ thống điều khiển trạm quạt thông gió chính

Các trạm quạt thông gió chính thường được điều khiển bằng các bộ khởi động từ, khởi động mềm, hoặc biến tần. Các hệ thống điều khiển tự động sử dụng PLC (Programmable Logic Controller) và các phần mềm giám sát để điều khiển và theo dõi hoạt động của quạt.

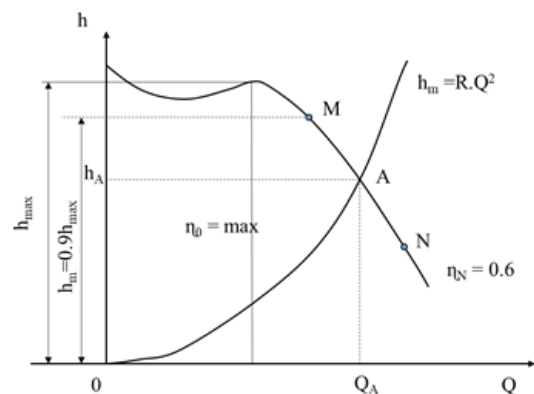


Hình 2. Hệ thống điều khiển trạm quạt thông gió chính

Trên hình 2 minh họa hệ thống điều khiển trạm quạt thông gió chính, bao gồm các bộ điều khiển PLC, hệ thống mạng truyền thông, và giao diện giám sát HMI. Các cảm biến đo nồng độ khí CH_4 , cảm biến đo lưu lượng gió, áp suất, nhiệt độ, ... được lắp đặt trong các đường lò hoặc khu vực khai thác. Tín hiệu từ cảm biến được gửi về các tủ điều khiển trên mặt đất thông qua đường truyền dẫn tín hiệu quang hoặc dây dẫn điện. Bộ điều khiển PLC có chức năng xử lý tín hiệu đo, điều khiển trạm quạt, kết nối với máy tính và phần mềm vận hành, giám sát. Quạt gió chính được cấp nguồn thông qua các tủ khởi động mềm hoặc bộ biến tần. Trạm biến áp cung cấp nguồn điện 3 pha cho quạt. Một số trạm quạt còn được bố trí các nguồn điện dự phòng kết hợp bộ chuyển nguồn tự động ATS (Automatic Transfer Switches) để đảm bảo cung cấp điện liên tục cho quạt làm việc.

2.3. Tối ưu hóa chế độ làm việc của quạt

Tối ưu hóa chế độ làm việc của quạt gió chính là một trong những giải pháp để giảm tiêu thụ điện năng. Các nghiên cứu gần đây đã đề xuất sử dụng biến tần để điều chỉnh tốc độ quạt, từ đó tiết kiệm năng lượng mà vẫn đảm bảo hiệu quả thông gió.



Hình 3. Đồ thị tối ưu hóa chế độ làm việc của quạt gió chính [1]

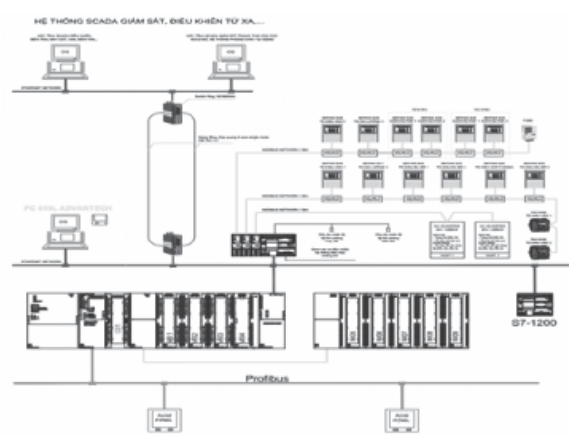
Hình 3 minh họa đồ thị tối ưu hóa chế độ làm việc của quạt gió chính, bao gồm các đường đặc tính hạ áp, công suất, và hiệu suất của quạt. Đường đặc tính $h-Q$ thể hiện quan hệ giữa lưu lượng gió và hạ áp suất của quạt. Đường đặc tính h_m là hạ áp suất của mô phụ thuộc vào sức cản đường lò R và lưu lượng gió Q . Điểm giao giữa hai đường đặc tính này được xem là điểm làm việc tối ưu của quạt. Trên hình là điểm A tương ứng với hạ áp suất h_A và lưu lượng gió Q_A .

3. CÁC NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG TRONG NƯỚC

3.1. Tự động hóa hệ thống thông gió mỏ hầm lò

Cho đến thời điểm hiện nay, trong nước đã có một số các nhà khoa học, các công trình nghiên cứu và ứng dụng tự động hóa nhằm tối ưu và nâng cao hiệu quả cho các hệ thống thông gió mỏ hầm lò. Điển hình trong một đề tài của tác giả TS. Nguyễn Chí Tình [3] đã nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật vi điều khiển để tự động hóa hệ thống thông gió mỏ than hầm lò Quảng Ninh. Trong nghiên cứu này, tác giả đã xây dựng mô hình toán học cho đối tượng nghiên cứu, đã ứng dụng phần mềm Simulink Matlab để mô phỏng các kịch bản thông gió cho một số mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh, kết quả mô phỏng xác định các tham số tối ưu trong điều khiển trạm quạt, đề xuất các giải pháp kỹ thuật phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam [3].

Ngày nay, các hệ thống điều khiển thông gió được tự động hóa bao gồm hệ thống điều khiển tự động và giám sát từ xa sử dụng bộ điều khiển PLC và mạng truyền thông công nghiệp. Việc tự động hóa hệ thống thông gió góp phần nâng cao hiệu quả thông gió, nâng cao mức độ an toàn trong điều khiển, vận hành, sản xuất, giảm chi phí vận hành và tiết kiệm năng lượng.



Hình 4. Sơ đồ điều khiển tự động hóa hệ thống thông gió

Hình 4 minh họa sơ đồ điều khiển tự động hóa hệ thống thông gió, bao gồm các bộ điều khiển, máy tính giám sát, cảm biến, và mạng truyền thông công nghiệp. Đây là cấu trúc điều khiển hiện đại, phổ biến được áp dụng trong nhiều nhà máy sản xuất trong công nghiệp.

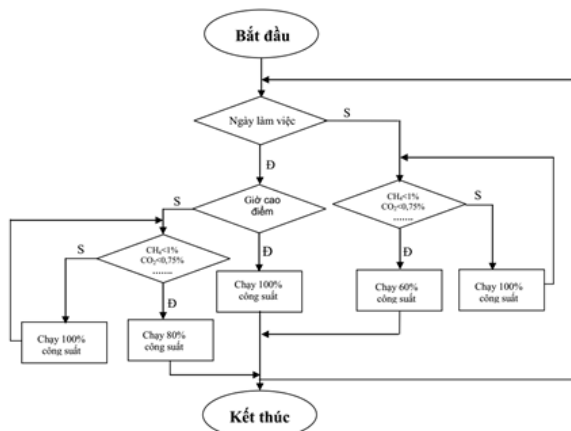
Hệ thống quan trắc khí mỏ theo dõi nồng độ khí O_2 trong đường lò, nồng độ các khí độc hại, khí cháy nổ (CO , CH_4), nồng độ bụi,... phát sinh trong quá trình đào lò, khai thác hoặc nổ mìn. Việc theo dõi và đo đạc nồng độ các chất khí trong lò được thực hiện thông qua các cảm biến có độ nhạy cao và hệ thống truyền dẫn tín hiệu quang cho phép gửi tín hiệu từ các cảm biến về trung tâm xử lý và phòng quan trắc. Thông số đo nồng độ các chất khí được hiển thị trên các màn hình máy tính giám sát hoặc màn hình tivi đặt tại phòng quan trắc khí mỏ (Hình 5). Các thông tin này cũng có thể được theo dõi từ xa thông qua hệ thống kết nối mạng internet.



Hình 5. Phần mềm quan trắc khí mở

3.2. Tối ưu hóa chế độ làm việc trạm quạt gió chính

Trong một nghiên cứu của TS. Nguyễn Cao Khải đã đề xuất các phương pháp tối ưu hóa chế độ làm việc của trạm quạt gió chính, bao gồm việc sử dụng biến tần và các thuật toán điều khiển thông minh để giảm tiêu thụ điện năng [2].



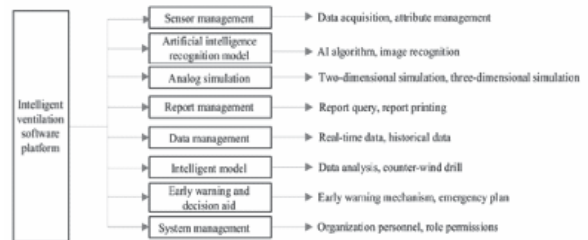
Hình 6. Thuật toán tối ưu hóa chế độ làm việc của quạt gió chính [2]

Hình 6 minh họa thuật toán tối ưu hóa chế độ làm việc của quạt gió chính, bao gồm các bước tính toán và điều chỉnh tốc độ quạt.

4. XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN VÀ THÁCH THỨC

4.1. Ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy (ML)

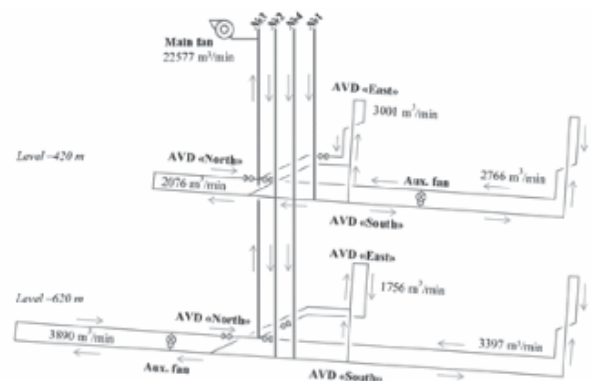
Việc ứng dụng AI và ML trong thông gió mở hàm lò đang là xu hướng phát triển mới. Các hệ thống thông gió thông minh có khả năng tự động điều chỉnh lưu lượng gió theo nhu cầu thực tế, giảm thiểu nguy cơ tai nạn và tiết kiệm năng lượng [4], [5].



Hình 7. Hệ thống thông gió thông minh tích hợp AI [6]

Hình 7 minh họa hệ thống thông gió thông minh tích hợp AI được đề xuất bởi tác giả Yong Wan, gồm các cảm biến, hệ thống điều khiển, và giao diện giám sát [6].

Hệ thống thông gió tự động đã được triển khai tại các mỏ Kali ở Belarus để điều khiển các quạt chính đạt được hiệu quả tiết kiệm năng lượng từ 36% đến 50% [7].



Hình 8. Hệ thống thông gió tự động được áp dụng tại mỏ Kali ở Belarus [7]

Hệ thống thông gió tự động AVD (Automatic Ventilation on Demand) giúp điều chỉnh lưu lượng không khí cung cấp theo nhu cầu

thực tế, giảm tiêu thụ năng lượng của quạt chính, tuy nhiên hệ thống còn gặp những khó khăn trong việc xác định hướng thông gió và điều chỉnh chế độ hoạt động của quạt. Các tác giả Aleksey V. KASHNIKOV, Yuri V. KRUGLOV thuộc viện khai thác mỏ của chi nhánh Ural thuộc RAS, Perm, Nga đã đề xuất giải pháp cải thiện hiệu quả của hệ thống điều khiển thông gió tự động trong các mỏ bằng cách sử dụng bộ điều khiển logic mờ [8]. Bộ điều khiển logic mờ đã được các tác giả thiết kế và thử nghiệm thực tế dựa trên việc khảo sát cấu trúc hệ thống thông gió và sử dụng các dữ liệu thực tế thu thập được từ hệ thống thông gió tự động của mỏ. Kết quả thử nghiệm tại mỏ khai thác Kali 3RU ở Belarus cho thấy Hệ thống điều khiển sử dụng bộ điều khiển logic mờ có thể tự động xác định hướng khó thông gió nhất và điều chỉnh chế độ hoạt động của quạt để tối ưu hóa lượng không khí cung cấp và tiêu thụ năng lượng.

4.2. Thách thức trong việc triển khai công nghệ mới

Mặc dù có nhiều tiềm năng, việc triển khai các công nghệ mới như AI và ML trong hệ thống thông gió mỏ hầm lò tại Việt Nam vẫn gặp nhiều thách thức, bao gồm chi phí đầu tư cao, thiếu nhân lực có chuyên môn, và sự phức tạp trong việc tích hợp với các hệ thống hiện có. Mặc dù vậy, với sự phát triển nhanh của công nghệ, đặc biệt là sự ra đời của các mô hình trí tuệ nhân tạo với nhiều ưu điểm và tính năng thông minh sẽ thúc đẩy sự phát triển các hệ thống điều khiển thông gió mỏ, rút ngắn thời gian nghiên cứu, tăng tính khả thi trong các phương án nâng cấp và cải tạo hệ thống thông gió.

5. KẾT LUẬN

Hệ thống điều khiển thông gió hầm lò tại Việt Nam đã có những bước tiến đáng kể trong việc ứng dụng công nghệ hiện đại bao

gồm hệ thống điều khiển, hệ thống quan trắc. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều thách thức cần được giải quyết để nâng cao hiệu quả và an toàn trong khai thác. Các hệ thống điều khiển thông gió ở các mỏ hiện nay chưa được đồng bộ do đặc điểm địa hình phức tạp, độ sâu mỏ khai thác ngày càng lớn, các thiết bị chính có tuổi thọ lớn, năng lực đội ngũ còn hạn chế,... Việc tiếp tục nghiên cứu và phát triển các giải pháp thông minh, ứng dụng các công nghệ tiên tiến vào tự động hóa hệ thống thông gió sẽ là chìa khóa để cải thiện hệ thống thông gió mỏ hầm lò, góp phần nâng cao hiệu quả thông gió, đảm bảo an toàn và giảm chi phí sản xuất. ❖

Ngày nhận bài: 07/3/2025

Ngày phản biện: 17/3/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. PGS,TS. Trần Xuân Hà và nnk, “*Giáo trình thông gió mỏ*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2014.
- [2]. TS. Nguyễn Cao Khải, “*Tối ưu hóa chế độ làm việc của quạt gió chính ở mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh*”. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội, 2018.
- [3]. TS. Nguyễn Chí Tình, “*Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật vi điều khiển để tự động hóa hệ thống thông gió mỏ than hầm lò Quảng Ninh*”. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội, 2005.
- [4]. Yong Wan (2024), “*Design and optimization of intelligent ventilation system in coal mine*”. E3S Web of Conferences 528, 03020 (2024).
- [5]. Wang, W., and Siau, K. (2019), “*Artificial Intelligence, Machine Learning, Automation, Robotics, Future of Work, and Future of Humanity – A Review and Research Agenda*”. Journal of Database Management, 30(1), 61-79. doi:10.4018/JDM.2019010104.
- [6]. Yong Wan (2024), “*Design and optimization of intelligent ventilation system in coal mine*”. E3S Web of Conferences 528, 03020 (2024).
- [7]. Mikhail A. Semin, Lev Y. Levin, Stanislav V. Maltsev, “*Development of automated mine ventilation control systems for belarusian potash mines*”. Polska Akademia Nauk, Arch. Min. Sci. 65 (2020), 4, 803-820.
- [8]. Aleksey V. Kashnikov, Yuri V. Kruglov, “*Strategy of mine ventilation control in optimal mode using fuzzy logic controllers*”. Journal of Mining Institute (2023), Vol. 262, p. 594-605. EDN BGJLGA. DOI: 10.31897/PMI.2022.75.