

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG LƯU LƯỢNG QUẠT THÔNG GIÓ CỤC BỘ TRONG MỎ HẦM LÒ

**TS. Nguyễn Tuấn Nghĩa, ThS. Hoàng Mạnh Thắng, ThS. Nguyễn Đặng Hoàn,
KS. Trần Minh Tiến – Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin**

Tóm tắt: Hiện nay, các mỏ than hầm lò trong Tập đoàn TKV chủ yếu thực hiện điều khiển lưu lượng quạt thông gió cục bộ bằng phương thức thủ công, phải bố trí nhiều nhân lực thực hiện, dẫn đến những khó khăn, chậm trễ trong bảo trì và phát hiện sự cố. Trên thế giới, với sự phát triển của lĩnh vực bán dẫn và điện tử công suất đã góp phần tạo ra hệ thống điều chỉnh tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong mỏ hầm lò. Hệ thống đã góp phần tăng hiệu quả sản xuất và an toàn thông gió mỏ, giảm số nhân lực quản lý, vận hành, sửa chữa và bảo trì. Để đáp ứng yêu cầu tăng sản lượng, giảm chi phí sản xuất và đảm bảo an toàn khai thác trong TKV, việc nghiên cứu thiết kế, chế tạo và áp dụng thử nghiệm hệ thống điều khiển tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong mỏ hầm lò là rất cấp thiết. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo các bộ phận chính của hệ thống.

Từ khóa: Hệ thống điều chỉnh tự động, lưu lượng, mỏ hầm lò, quạt thông gió cục bộ.

1 Mở đầu

Hiện nay, các mỏ hầm lò trên thế giới, đặc biệt tại Trung Quốc, đều áp dụng hệ thống điều chỉnh tự động lưu lượng quạt thông gió để linh động thay đổi lưu lượng gió cục bộ từ 2-4 cấp khác nhau hoặc liên tục, đồng thời liên kết toàn bộ các trạm điều khiển thông gió cục bộ và các trạm thông gió chính thành một hệ thống giám sát điều khiển thông gió toàn mỏ. Thường hệ thống này tích hợp cùng hệ thống quan trắc khí để hoàn thiện hệ thống thông gió mỏ hiện đại.



Hình 1: Mô hình cơ bản hệ thống điều chỉnh tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong mỏ hầm lò của Trung Quốc

Tại Việt Nam, vấn đề thông gió mỏ tại các gương lò đóng vai trò quan trọng trong khai thác

than hầm lò. Yêu cầu các trạm quạt thông gió cục bộ phải đảm bảo hoạt động điều tiết lưu lượng gió trong hầm lò một cách liên tục, còn các động cơ quạt cục bộ, hoạt động của trạm quạt phải luôn được theo dõi và đáp ứng được tính dự phòng nóng khi có sự cố hay bảo trì. Tuy nhiên, việc vận hành cũng như theo dõi trạm quạt cục bộ các mỏ hiện nay hầu hết đều thực hiện bằng tay. Các mỏ khai thác hầm lò lớn đều sử dụng hệ thống thông gió chính kết hợp với các quạt cục bộ, cửa chắn gió trong lò kết hợp với công tác đo gió để xác định lưu lượng gió có đảm bảo không và thực hiện điều chỉnh lưu lượng gió tại các vị trí cục bộ bằng cách điều chỉnh góc cánh. Thực tế công tác này mất rất nhiều thời gian và không kịp thời, mỗi ca phải bố trí nhiều người đi kiểm tra, tháo dỡ thiết bị để điều chỉnh góc cánh và vận chuyển thay thế. Vì chưa được trang bị các thiết bị giám sát và điều khiển tự động nên việc theo dõi tình trạng của thiết bị, các thông số gió của trạm quạt gặp nhiều khó khăn, đặc biệt khi có tình huống sự cố xảy ra. Cụ thể là công tác theo dõi tình trạng của động cơ để kịp thời bảo trì, bảo dưỡng làm tăng tuổi thọ động cơ, hay theo dõi lưu lượng gió sạch

một cách liên tục cần thiết cung cấp cho môi trường làm việc trong hầm lò.

Muốn giải quyết vấn đề trên cần có hệ thống điều chỉnh tự động quạt cục bộ trước, có khả năng điều chỉnh linh động một số cấp tốc độ (ba cấp trở lên) mà không cần điều chỉnh thông số một cách thủ công, đồng thời liên động với các thiết bị ngoại vi như đầu đo khí, gió, nhiệt độ, trạng thái cửa gió để tự động điều chỉnh lưu lượng gió cho phù hợp và đảm bảo an toàn thông gió mỏ. Hệ thống phù hợp với điều kiện hầm lò và có khả năng kết nối với hệ thống điều khiển, giám sát tập trung toàn mỏ để phục vụ công tác giám sát tình trạng và điều tiết thông gió một cách an toàn, hiệu quả.

2 Tổng quan thiết kế hệ thống điều chỉnh tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong các mỏ khai thác than hầm lò

Đối với các công tác trong mỏ than hầm lò, hệ thống tự động hóa thông gió mỏ nói chung và hệ thống tự động điều chỉnh lưu lượng quạt cục bộ nói riêng có mục đích như sau:

- Tự động điều chỉnh, cung cấp đủ lưu lượng gió cần thiết cho các hộ tiêu thụ trong mỏ, góp phần giảm thiểu tổn thất gió và những phần lưu lượng gió không có ích;
- Cải thiện điều kiện môi trường làm việc, nâng cao năng suất lao động;
- Cho phép mỏ than hầm lò sản xuất tập trung với sản lượng cao.

Để đạt được những mục đích trên, hệ thống cần thực hiện các nhiệm vụ như sau:

- Điều khiển tự động hệ thống thông gió mỏ hầm lò;
- Cung cấp, điều chỉnh các luồng gió đảm bảo nhu cầu sử dụng cho các hộ tiêu thụ như gương khai thác, gương đào lò, hầm, trạm...

Với khả năng tự động điều chỉnh lưu lượng gió cho các hộ tiêu thụ, hệ thống có thể giảm thiểu các lưu lượng gió thừa, tổn thất gió, nâng cao hiệu suất làm việc của quạt gió, giảm năng lượng tiêu thụ. Ở các mỏ không áp dụng hệ

thống tự động điều chỉnh lưu lượng quạt thông gió cục bộ, công tác kiểm tra, điều chỉnh được thực hiện thủ công, quy trình có nhiều công đoạn, mất nhiều thời gian nên sẽ gặp phải khó khăn khi gặp các sự cố lớn như lượng khí tăng cao, đường lò sập đổ đột ngột... Hệ thống tự động điều chỉnh lưu lượng quạt thông gió cục bộ sẽ loại bỏ những nhược điểm trên, tự động phân phối và điều tiết lưu lượng gió phù hợp với khu vực xảy ra sự cố nói riêng và toàn mỏ nói chung.

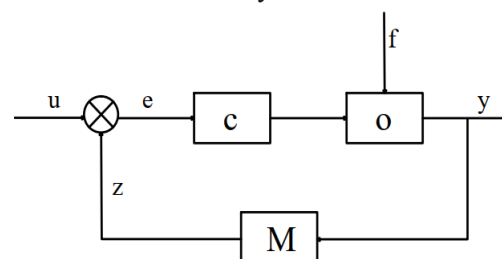
Hệ thống tự động điều chỉnh lưu lượng quạt thông gió cục bộ được nhóm tác giả xây dựng từ ba bộ phận chủ yếu như sau:

- Đối tượng điều khiển O (Objectives): Là đối tượng có thể điều khiển trong hệ thống thông gió để đạt được mục đích yêu cầu mà cụ thể ở đây là các động cơ của quạt gió cục bộ;

- Cơ cấu đo lường M (Measure): Là hệ thống các thiết bị đo, chuyển đổi tín hiệu, trong đó chủ yếu là các cảm biến đo lưu lượng gió, khí mê tan, nhiệt độ, hạ áp;

- Bộ điều khiển, hiệu chỉnh C (Control): Bộ phận tiếp nhận, xử lý thông tin tín hiệu từ các cơ cấu đo lường và đưa ra những tín hiệu điều khiển đến đối tượng điều khiển. Các tín hiệu điều khiển được quy định theo chương trình lập trình sẵn dựa trên công nghệ, các quy định và an toàn mỏ. Ở đây, nhóm tác giả sử dụng bộ điều khiển lập trình hãng Siemens, dòng PLC S7-1200.

Sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển được cho như hình 2 dưới đây:



Hình 2: Sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển tự động: u – tín hiệu đầu vào, tín hiệu điều khiển; y – tín hiệu đầu ra; f – các tác động bên ngoài; z – tín hiệu phản hồi; e – sai lệch điều khiển

Hệ thống điều chỉnh tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong các mỏ khai thác than hầm lò được nghiên cứu thiết kế, chế tạo theo các tiêu chuẩn an toàn toàn cho thiết bị điện sử dụng trong mỏ hầm lò: Đáp ứng các yêu cầu chung theo tiêu chuẩn TCVN 7079-0, đạt yêu cầu vỏ không xuyên nổ theo TCVN 7079-1 và đạt yêu cầu về mạch điện an toàn tia lửa theo tiêu chuẩn TCVN 7079-11. Ngoài ra, trong quá trình thiết kế, chế tạo đòi hỏi phải tính đến tính linh hoạt của thiết bị, khả năng vận hành, sửa chữa sao cho thuận tiện, dễ dàng nhất. Hệ thống có các tính năng chính như:

Hệ thống có các chức năng:

- Trong quá trình thông gió bình thường, theo nhiệt độ và lưu lượng không khí cần thiết tại môi trường làm việc, hệ thống sẽ tự động điều chỉnh tốc độ quạt để đạt được sự cân bằng hài hòa giữa hai yếu tố chính là tiết kiệm năng lượng trong khi đảm bảo nồng độ khí thải ở mức tiêu chuẩn;

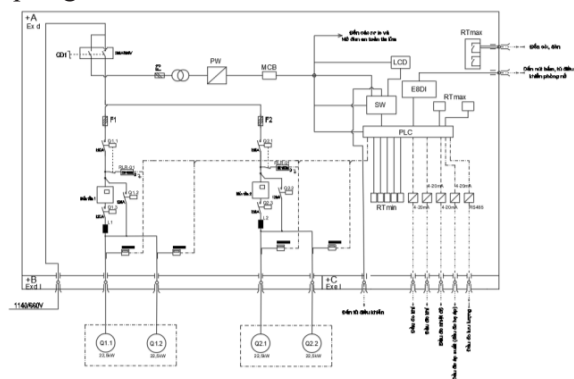
- Chức năng thoát khí mê tan: Dựa theo nồng độ khí mê tan được cảm biến phát hiện, hệ thống có thể điều chỉnh lưu lượng gió để đạt được độ thoát khí mê tan với hiệu quả cao;

- Tự động chuyển đổi nguồn cấp điện kép: Khi nguồn điện chính bị lỗi, bộ biến tần sẽ tự động đưa nguồn điện dự phòng vào sử dụng và khởi động quạt để thông gió, giúp đảm bảo quạt luôn luôn vận hành;

- Tự động chuyển đổi chuyển đổi trạng thái làm việc: Chuyển đổi điều khiển tự động sang điều khiển bằng tay trong trường hợp bộ điều khiển bị lỗi.

Mô hình hệ thống được mô tả như hình 3. Hệ thống tự động điều chỉnh lưu lượng quạt thông gió cục bộ bằng việc điều khiển tốc độ động cơ thông qua biến tần. Dựa trên các kết quả đo của cảm biến là các đầu đo khí, lưu lượng, hạ áp, nhiệt độ bảo vệ, bộ điều khiển lập trình PLC sẽ xử lý thông tin, từ đó điều khiển các cấp tốc độ của biến tần. Vì thông gió trong khai thác

hầm lò luôn luôn cần đảm bảo tính vận hành liên tục, hệ thống được trang bị hai chế độ điều khiển tốc độ quạt là chế độ vận hành thông qua biến tần và chế độ chạy trực tiếp thông qua khởi động từ để dự phòng khi hệ thống bị lỗi. Tại phòng điều khiển trung tâm có máy tính điều khiển vận hành từ xa, giám sát và hiển thị các thông số của hệ thống như điện áp, dòng điện, tốc độ động cơ của quạt và các thông số lưu lượng gió, nhiệt độ... thông qua mạng LAN bằng chuyển mạch mạng Ethernet tốc độ cao truyền dẫn bằng cáp quang.



Hình 3: Mô hình hệ thống điều chỉnh tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong hầm lò

3 Thiết kế vỏ tủ phòng nổ

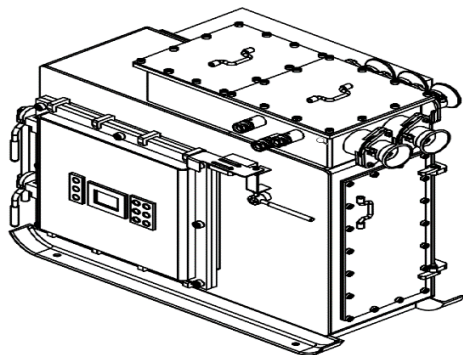
Những yêu cầu chủ yếu đối với vỏ thiết bị an toàn tia lửa dùng trong mỏ hầm như sau:

- Có kết cấu chắc chắn, có ngăn thiết kế dành riêng cho phép kết nối nhiều đầu cáp phòng nổ, đảm bảo các tiêu chuẩn cho thiết bị điện làm việc trong môi trường có khí, bụi gây nổ (TCVN 7079-0:2002, TCVN 7079-11:2002);

- Trong điều kiện lắp đặt thiết bị tại các khu vực khai thác có độ ẩm và bụi cao thì về cơ bản cần đáp ứng cấp bảo vệ IP54 (bảo vệ chống bụi và chống nước phun vào từ mọi hướng) theo yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7079:2000 (viện dẫn IEC 60079). Để đáp ứng được cấp bảo vệ IP54, vỏ cần được thiết kế và gia công chính xác, tấm nắp và vị trí bắt giắc kết nối ra bên ngoài, các vị trí lắp ghép màn hình LCD, nút bấm trên tấm

nắp mặt trước cần có các gioăng cao su để đảm bảo độ kín;

- Vật liệu vỏ chống tĩnh điện, điện trở bề mặt $< 1 \text{ G}\Omega$;
- Ghi nhãn rõ ràng theo yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7079-11:2002.



Hình 4: Vỏ phòng nổ tủ biến tần điều chỉnh tần số, công suất động cơ quạt cục bộ

4 Thiết kế cấu trúc và lựa chọn linh kiện cho mạch phần cứng tủ biến tần

Do đặc điểm điều kiện môi trường làm việc trong mỏ hầm lò, điều kiện an toàn điện giật và tính chất tổ chức cung cấp điện của mạng điện mỏ hầm lò ở Việt Nam nên các thiết bị điện làm việc trong hầm mỏ có những yêu cầu kỹ thuật và đặc điểm thiết kế riêng để bảo vệ an toàn, chống chịu môi trường khắc nghiệt. Mạng điện trong mỏ thường sử dụng các thiết bị điện có công suất lớn và phải làm việc ở chế độ nặng, thường xuyên phải đóng cắt tải liên tục nên dễ gây ra các nhiễu động trong mạng điện, làm xuất hiện thường xuyên các xung điện áp, các hiện tượng quá áp, thấp áp. Ngoài ra, xu hướng chung của Tập đoàn TKV về áp dụng tự động hóa vào sản xuất yêu cầu các thiết bị có khả năng kết nối đồng bộ với các hệ thống điều khiển tập trung tự động. Vì vậy, khi nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống điều chỉnh tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ làm việc trong mỏ hầm lò, rất cần thiết phải xét đến các điều kiện làm việc, tiêu chuẩn kỹ thuật an toàn và xu hướng sử dụng thiết bị ở hiện tại và tương lai. Những yêu cầu cần đáp ứng đối với hệ thống bao gồm:

- Tính an toàn nổ và độ bền cơ học của thiết bị điện mỏ, đáp ứng các tiêu chuẩn TCVN-7079;
- Tản nhiệt tốt trong môi trường mỏ hầm lò có độ ẩm và bụi cao;
- Độ tin cậy, ổn định của hệ thống;
- Khả năng chịu biến động điện áp đầu vào cao và phù hợp với cấp điện áp hạ thế của mỏ than hầm lò Việt Nam;
- Khả năng cắt lọc sóng hài;
- Tính mở, có thể cho phép kết nối thành hệ thống, cài đặt tùy biến, khả năng chuẩn đoán từ xa...

5 Thiết kế chức năng phần mềm điều khiển và hiển thị các thông số

5.1 Xây dựng sơ đồ thuật toán

Từ quá trình khảo sát thực tế, nhóm tác giả đưa ra hai điều kiện chính ảnh hưởng đến chế độ làm việc của hệ thống quạt cục bộ trong hầm lò:

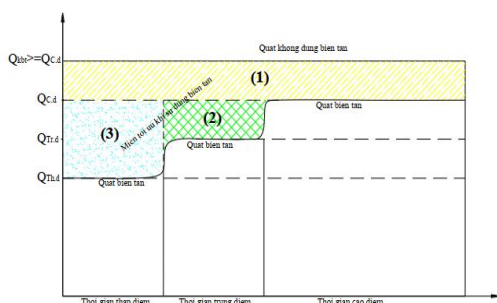
- Tiêu chuẩn môi trường trong hầm lò nơi đặt quạt cục bộ, cụ thể ở đây là tiêu chuẩn về nhiệt độ môi trường [1], nồng độ CH_4 , CO_2 : Nhiệt độ $< 30^\circ\text{C}$, nồng độ $\text{CH}_4 < 0,5\%$, nồng độ $\text{CO}_2 < 0,75\%$. Yếu tố nhiệt độ và nồng độ khí sẽ được đầu đo nhiệt độ, đầu đo khí đo lường và phản hồi lại hệ thống. Một trong ba điều kiện xảy ra thì quạt cục bộ sẽ hoạt động hết công suất;
- Mỏ có hệ thống thông gió đáp ứng kế hoạch biểu mẫu thời gian hoạt động theo tính toán tối ưu được xác định theo ba khung giờ:

+ Giờ cao điểm là khoảng thời gian thực hiện nổ mìn khâu than, nhu cầu gió sạch cho mỏ là lớn nhất ($Q_{C.d}$) và tính bằng 100% lưu lượng gió tính toán tối đa (Q_{max});

+ Giờ trung điểm là khoảng thời gian không thực hiện nổ mìn khâu than trong những ngày mỏ làm việc (giao ca, củng cố, bảo dưỡng thiết bị...), nhu cầu gió sạch cho mỏ ($Q_{Tr.d}$) chỉ cần bằng 80% Q_{max} ;

+ Giờ thấp điểm là khoảng thời gian trong những ngày mỏ nghỉ làm việc (chủ nhật, lễ tết...), nhu cầu gió sạch cho mỏ ($Q_{Th.d}$) chỉ cần bằng 60% Q_{max} ;

Lưu lượng và áp suất gió của quạt cục bộ được giám sát, phản hồi qua đầu đo lưu lượng và hạ áp.



Hình 5: Biểu đồ minh họa miền tối ưu lưu lượng gió khi sử dụng biến tần để tối ưu chế độ làm việc của quạt gió cục bộ

5.2 Chức năng bảo vệ

Hệ thống có chức năng bảo vệ động cơ được điều khiển và bảo vệ bộ van bán dẫn tránh bị hư hỏng, bao gồm:

- Bảo vệ quá nhiệt, quá dòng điện động cơ;
- Bảo vệ quá nhiệt bộ chỉnh lưu, nghịch lưu;
- Bảo vệ điện áp cao, điện áp thấp;
- Cảnh báo xuất hiện tính không đối xứng dòng điện;

- Bảo vệ mất pha/sai trình tự pha...;

- Bảo vệ ngắn mạch hệ thống van chỉnh lưu, van nghịch lưu.

5.3 Chức năng hiển thị cài đặt

Hệ thống điều khiển tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong hầm lò gồm hai phần mềm chính: Một là, chương trình điều khiển tự động được xây dựng cho bộ điều khiển PLC, tích hợp trong tổ hợp biến tần phòng nổ; và hai là, chương trình giám sát, điều khiển được xây dựng cho máy chủ trên phòng điều khiển. Hệ thống được trang bị một PLC cùng với một màn hình LCD để hiển thị và lưu trữ trạng thái hoạt động của các trạng thái nếu thiết bị được lắp đặt bên trong. Màn hình LCD được đặt phía sau kính quan sát trên ngăn chính, sử dụng chín nút được tích hợp với kính quan sát, có thể thay đổi màn hình hiển thị và đặt một số thông số vận hành. Giao diện cho biến tần được xây dựng bằng phần

mềm Easy Builder Pro, cho phép người dùng thông số hóa thiết bị và đọc trên màn hình LCD các thông tin như hình 6. Bảng hiển thị LCD bao gồm hai màn hình cơ bản có thể chuyển đổi. Các màn hình này hiển thị trạng thái hoạt động của dòng điện, điện áp, công suất, lưu trữ thông báo, cảnh báo từ các thiết bị an toàn và một số cài đặt của các thông số vận hành. Thực hiện chuyển đổi giữa các màn hình kế tiếp bằng cách nhấn nút bấm.



Hình 6: Giao diện quản lý, điều khiển và hiển thị thông số của biến tần

Trên phòng điều khiển được trang bị máy chủ và phần mềm được thiết kế cho việc giám sát và điều khiển hệ thống từ trên mặt bằng thông qua mạng cáp quang.

Sau khi đã có được sơ đồ quy trình các bước thực hiện phần mềm thì bước tiếp theo là tiến hành thiết kế giao diện để vận hành, điều khiển và thiết lập thiết bị bằng phần mềm dựa trên nền tảng của Visual Studio Basic.

6 Chế tạo sản phẩm

Hệ thống điều khiển tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong hầm lò đã được chế tạo thành công và kiểm định các thông số kỹ thuật

đạt tiêu chuẩn về phòng nổ - an toàn tia lửa để sử dụng trong mỏ hầm lò tại Trung tâm An toàn Mỏ - Viện Khoa học Công nghệ Mỏ.



Hình 6: Kiểm tra, thử tải tại mặt bằng kho xưởng Công ty Than Quang Hanh - TKV

Hệ thống đã được chạy thử nghiệm cho hai động cơ 5,5 kW tại Kho vật tư trung tâm, thuộc Công ty Than Quang Hanh - TKV. Kết quả, hệ thống vận hành ổn định trong một ca và cho ra

các thông số kỹ thuật tốt. Hiện tại, hệ thống đã được đấu nối và đang trong quá trình vận hành thử nghiệm trong điều kiện môi trường thật trong mỏ tại khai trường Ngã Hai - Công ty than Quang Hanh - TKV, bước đầu cho kết quả tốt, sản phẩm vận hành ổn định.

7 Kết luận

Nhóm tác giả đã nghiên cứu thiết kế, chế tạo thành công hệ thống điều khiển tự động lưu lượng quạt thông gió cục bộ trong mỏ hầm lò với các thông số kỹ thuật đạt tiêu chuẩn về phòng nổ - an toàn tia lửa theo các tiêu chuẩn và quy chuẩn của Việt Nam. Sản phẩm đã được áp dụng thử nghiệm thực tế, bước đầu cho kết quả tốt, vận hành ổn định, đáp ứng các yêu cầu ứng dụng trực tiếp trong ngành than ở thời điểm hiện tại cũng như trong tương lai.

Sản phẩm góp phần tăng cường khả năng chủ động về khoa học công nghệ và kỹ thuật chế tạo nội địa, hạn chế nhập khẩu thiết bị tương tự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cẩm nang Thông gió mỏ hầm lò các đường hầm giao thông và quạt gió. *Hà Nội: NXB Xây dựng, 2019.*
2. **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. **Wuhai Energy Gongwusu.** Coal Mine Underground Local Ventilation Realizes Ground Remote Control. *China, 2021.*
4. **Binchang Mining Hujahe Mine.** The “Remote Care” Mode is Enabled for the Local Ventilator in the Mine. *China, 2021.*