

Nghiên cứu ứng dụng máy tuyển khô thông minh trong việc tận thu tối đa tài nguyên trong đá thải của quá trình khai thác và tuyển than

TS. Tạ Dương Sơn, TS. Trần Minh Nguyên, ThS. Nguyễn Bảo Linh, TS. Hong Yun Yang
Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện Kim
Đại học Trùng Khánh, Trung Quốc

Tóm tắt:

Chất thải rắn được thải ra trong quá trình khai thác và tuyển than cũng là một nguồn tài nguyên có thể tái chế, việc phát triển công nghệ tận thu tối đa tài nguyên than đá không chỉ nâng cao lợi ích kinh tế cho doanh nghiệp, cải thiện cơ cấu sản xuất của các mỏ than mà còn cải thiện môi trường sinh thái, giảm chiếm dụng đất. Máy tuyển khô thông minh đã được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực tuyển than đá, nhưng nó hiếm khi được sử dụng trong việc tận thu tối đa tài nguyên chất thải rắn. Bài viết này trình bày các nguyên lý cơ bản, ứng dụng và công nghệ lõi của máy tuyển khô thông minh, đồng thời phân tích hàm lượng từng thành phần của chất thải rắn tại một mỏ than ở Sơn Tây - Trung Quốc. Trên cơ sở đó, tiến hành thí nghiệm tuyển chất thải rắn bằng máy tuyển khô thông minh. Kết quả nghiên cứu cho thấy máy tuyển khô thông minh có khả năng tách tốt đối với pyrit, than đá và đá sa thạch có trong chất thải rắn của mỏ, đáp ứng nhu cầu sử dụng của các ngành công nghiệp tiếp theo.

Từ khóa: Tuyển khô thông minh; than đá; sa thạch; tận thu tối đa

Abstract:

Coal gangue discharged during coal mining and extraction is also a recyclable resource, the development of technology to make the most of coal resources not only enhances economic benefits for enterprises, improve the production structure of coal mines, but also improve the ecological environment, reduce land occupation. The intelligent dry separator has been widely used in coal gangue separation, but it is rarely used in utilization of coal gangue resources. This article presents the basic principles, applications and core technologies of intelligent dry separator, and analyzes the content of each component of coal gangue at a coal mine in Shanxi - China. On that basis, conduct an experiment to separate coal gangue by intelligent dry separator. Research results show that the intelligent dry separator has a good separation effect for pyrite, coal and sandstone in the mine's coal gangue, which meets the needs of further industrial applications.

Keywords: intelligent dry separation; coal gangue; sandstone; comprehensive utilization of coal gangue resources

1. Mở đầu

Chất thải rắn (CTR) được thải ra trong quá trình khai thác than và tuyển than, là loại đá màu xám đen, hàm lượng cacbon thấp, cứng hơn than đá, gắn liền với các lớp xen kẽ trong quá trình khai thác vỉa than và trong quá trình hình thành than. Thành phần chính của nó là Al_2O_3 và SiO_2 , ngoài ra nó còn chứa một lượng khác nhau Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , SO_3 và các nguyên tố hiếm (gallium, vanadi, titan, coban).

CTR là một trong những chất thải rắn lớn nhất ở Trung Quốc cũng như tại Việt Nam. Việc tận thu tối đa CTR có giá trị kinh tế lớn, góp phần bảo vệ môi trường và đây là một vấn đề cấp thiết được nghiên cứu trong những năm gần đây để giải quyết về vấn đề môi trường. Các hướng nghiên cứu chính bao gồm tinh chế và thu hồi than đá, silic, nhôm, titan và các thành phần có ích khác trong CTR [1-4]; Điều chế chất xúc tác quang, chất hấp phụ và tạo phân tử zeolit để xử lý nước thải; Thay thế khoáng sét để sản xuất bê tông, xi măng, gạch và các loại vật liệu xây dựng khác; Cải tạo đất, chuẩn bị giá thể trồng cây, phân bón ...; Là vật liệu lấp đê san lấp, lấp nền đường, cải tạo các khu vực sụt lún mỏ than,; phát điện và chuẩn bị giấy, v.v. Những nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào việc sử dụng CTR, ít nghiên cứu khai thác các thành phần có giá trị trong CTR, hoặc đa số sử dụng phương pháp hóa học, khó ứng dụng trong sản xuất công nghiệp. Công nghệ tuyển khô thông minh dựa trên công nghệ quang điện và thuật toán trí tuệ nhân tạo được nghiên cứu nhiều hơn trong các trường hợp tách than trong CTR, đồng thời có nhiều ứng dụng công nghiệp hơn, nhưng ít nghiên cứu hơn về việc tận thu toàn diện CTR. Dựa trên công nghệ quang điện và thuật toán trí tuệ nhân tạo được nghiên cứu trong các phương án phân tách và tách than [16-19] và có nhiều ứng dụng công nghiệp, nhưng ít nghiên cứu về việc sử dụng toàn diện than đá, bài viết này nghiên cứu ứng dụng của máy tuyển khô thông minh trong lĩnh vực tận thu toàn diện CTR và thảo luận về khả năng ứng dụng của máy tuyển khô thông minh trong việc khai thác và tách các khoáng chất có ích từ CTR

2. Khái quát chung

CTR là một loại đá có độ tro hơn 50% được sinh ra trong quá trình xây dựng, phát triển, khai thác và tuyển rửa than trong các mỏ than. Là loại đá màu xám đen, hàm lượng cacbon thấp, cứng hơn than đá, gắn liền trong các vỉa than trong quá trình hình thành than, bao gồm khai thác trong quá trình đào đường lò, vỉa khai thác từ mái, sàn và lớp xen kẽ trong quá trình khai thác và quá trình rửa than. lượng phát thải của CTR tương đương 10% đến 15% sản lượng than đá. Theo dữ liệu được tính toán trong "Báo cáo phát triển sản xuất công nghiệp tận dụng toàn diện chất thải rắn công nghiệp khối lượng lớn của Trung Quốc giai đoạn 2021-2022", trữ lượng CTR ở Trung Quốc là khoảng 7 tỷ tấn và đang tăng lên hàng năm, năm 2021 sản lượng CTR khoảng 743 triệu tấn [1]. Tại Việt Nam các vị trí bãi thải do Tập đoàn công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam quản lý với diện tích khoảng 2.425 ha có tổng trữ lượng khoảng 1,666 tỷ m³. Một lượng lớn CTR chất đống không chỉ lãng phí tài nguyên, chiếm dụng đất mà còn gây ô nhiễm đất và nước, các chất dễ cháy chứa trong CTR dưới những điều kiện nhất định sẽ tự nhiên sinh ra khí thải độc hại, gây ô nhiễm không khí.

Đồng thời, CTR cũng là một nguồn tài nguyên có thể tái chế. Sau khi gia công xử lý, các khoáng chất có ích trong CTR có thể được sử dụng làm vật liệu xây dựng, làm gốm sứ và các sản phẩm hóa học, nhiệt điện than. Việc phát triển công nghệ tận thu tối đa các nguồn tài nguyên CTR không chỉ làm tăng lợi ích kinh tế cho doanh nghiệp, cải thiện cơ cấu sản xuất của các mỏ than mà còn cải thiện môi trường sinh thái, giảm chiếm dụng đất.

Hiện nay công nghệ tách chọn than chủ yếu được chia thành các phương pháp như thủ công, ướt và khô. Hiệu suất của việc tách chọn CTR thủ công thấp và bị ảnh hưởng rất nhiều bởi các yếu tố con người. Các phương pháp tách chọn than cơ giới hóa, trong môi trường nặng có những nhược điểm như chi phí đầu tư và vận hành cao, công nghệ phức tạp, xử lý ô nhiễm môi trường khó khăn. Máy tuyển khô thông minh là một loại công nghệ

tách khoáng khô mới dựa trên công nghệ tia X và trí tuệ nhân tạo, có đặc điểm là mức độ tự động hóa cao, độ chính xác phân tách cao, không cần nước, quy trình đơn giản. chủ yếu được sử dụng để thay thế quá trình xử lý thủ công các vật liệu cục cỡ hạt 6 – 450mm, chọn thủ công bằng tay, sàng động. Trong lĩnh vực toàn diện về tài nguyên CTR, máy tuyển khô thông minh có thể phân loại thêm các thành phần khác nhau trong CTR và các khoáng vật khác trong quặng, nâng cao chất lượng khoáng vật có ích, tạo điều kiện để tiếp tục xử lý và sử dụng khoáng sản.

Một số hình ảnh CTR hình thành thải ra trong quá trình khai thác than



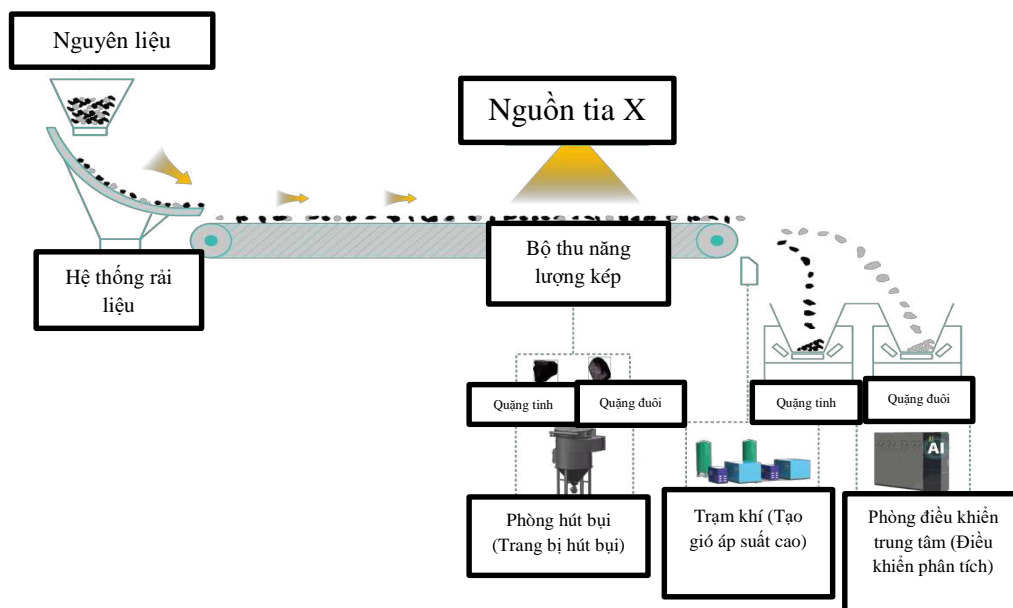
2. Giới thiệu máy tuyển khô thông minh

2.1. Nguyên lý của máy tuyển khô thông minh

Máy tuyển thông minh sử dụng tia X được tích hợp các quang phổ khác nhau để phát hiện các loại khoáng vật, khoáng vật có sự khác nhau về cấu trúc bên trong và thành phần vật chất. Thuật toán AI sẽ nhận dạng thời gian thực, phân loại chính xác với chế độ tiên tiến tùy chỉnh có thể được có thể nhận tách quặng khỏi chất thải hoặc tách thành các sản phẩm.

Máy tuyển khô thông minh là một loại thiết bị tuyển quặng tự động hóa dạng khô kiểu mới được tích hợp các quang phổ khác nhau để phát hiện các loại khoáng vật, khoáng vật có sự khác nhau về cấu trúc bên trong và thành phần vật chất.

dựa trên công nghệ trí tuệ nhân tạo và hình ảnh tiên tiến được nghiên cứu và phát triển bởi Trung Quốc những năm gần đây. Loại thiết bị này sử dụng công nghệ quét đa phổ toàn phổ tia X năng lượng kép/ánh sáng khả kiến để thu thập hình ảnh vật liệu, thông qua công nghệ nhận dạng hình ảnh hình ảnh Deep Learning để phân tích hình ảnh, nhận biết loại khoáng vật, vật liệu, điều khiển chính xác gió áp suất cao để thổi và loại bỏ quặng đuôi, đá thải hoặc các tạp chất khác, đồng thời tuyển chọn nâng cao chất lượng quặng tự động, chính xác, hiệu quả cao, tiết kiệm năng lượng [2].



Hình 1: Thành phần của máy tuyển khô thông minh quang điện và thiết bị đồng bộ MTTM được sử dụng để tuyển những loại khoáng sản sau:

- + Quặng kim loại màu: Quặng đồng, thiếc molybden, chì kẽm, antimon, đồng – niken, اللي ...
- + Quặng phi kim loại: Quặng apatit, flourit, thạch anh, magiee, fenspat, mica ...
- + Kim loại quý: Vàng, bạc ...
- + Kim loại đen: Quặng sắt, mangan, crom ...
- + Than, đá phiến dầu, caolanh ...

2.2. Thành phần chính, nguyên lý của máy tuyển khô thông minh

2.2.1. Hệ thống hình ảnh truyền tia X năng lượng kép

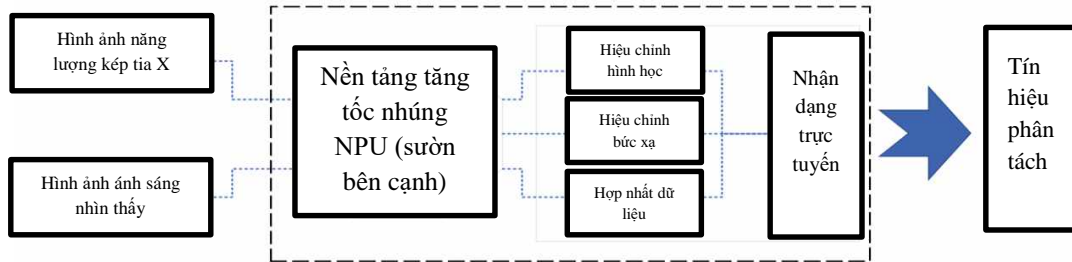
Bởi vì hầu hết các đường vân bề mặt khoáng sản, màu sắc và các đặc điểm khác là tương tự nhau, nên công nghệ hình ảnh phân loại truyền thống không thể thu được các đặc tính vật liệu một cách hiệu quả. Để đạt được hiệu quả phân loại tốt hơn, máy tách khô thông minh sử dụng hệ thống hình ảnh tia X năng lượng kép để thu thập kết cấu bên trong và thông tin truyền dẫn của vật liệu. Phương pháp truyền tia X là phương pháp phân loại vật liệu bằng cách sử dụng các hiệu ứng vật lý khác nhau do vật liệu tiếp xúc với tia X tạo ra và các vật liệu khác nhau có thể được phân biệt theo sự khác biệt về mức hấp thụ tia X [10-11].

Máy dò tia X là mô-đun cảm biến nhận tín hiệu và chất lượng hình ảnh có liên quan mật thiết đến hiệu suất của máy dò tia X. Các thông số chính của máy dò bao gồm độ phân giải không gian, tính đồng nhất của phản hồi, độ nhạy tương phản, dải động, tốc độ thu nhận và tốc độ khung hình, v.v. [12-13].

2.2.2. Hệ thống nhận dạng hình ảnh Deep Learning

Khái niệm Deep Learning bắt nguồn từ nghiên cứu về mạng lưới thần kinh nhân tạo. Deep Learning kết hợp các tính năng cấp thấp để tạo thành các danh mục thuộc tính biểu

điển cấp cao trừu tượng hơn hoặc các tính năng để khám phá các biểu diễn tính năng phân tán của dữ liệu [14]. Dựa trên thuật toán Deep Learning, máy tuyến khô thông minh sẽ thu thập một số lượng nhất định các hình ảnh mẫu được sắp xếp và đặt nhãn trên các hình ảnh mẫu điển hình đã chọn thông qua phân tích máy phân tích huỳnh quang tia X, phân tích cấu trúc bề mặt và các phương pháp khác, các nhãn được đặt trên các hình ảnh mẫu điển hình đã chọn để xây dựng một bộ dữ liệu hình ảnh để đào tạo. Khi gặp quặng thô có thành phần khác nhau, lô khác nhau, hệ thống có thể tự tìm hiểu và điều chỉnh các thông số nhận dạng trong phạm vi nhất định để đảm bảo hiệu quả phân tách ổn định. Thành phần của hệ thống được thể hiện trong hình 2



Hình 2: Hệ thống nhận dạng trực tuyến dựa trên Deep learning

2.2.3. Hệ thống thực hiện phân tách

Hệ thống thực hiện phân tách của MTTM chủ yếu bao gồm xi lanh phụ thực hiện và cút vòi phun được kết nối với xi lanh phụ thực hiện [15]. Hệ thống thực hiện phân tách phân loại nhận đầu ra tín hiệu phân loại bằng hệ thống nhận dạng trực tuyến, điều khiển gió áp suất cao thông qua việc mở và đóng van điện từ, đồng thời phun thổi vật liệu trong quá trình bay của vật liệu mục tiêu để thực hiện phân loại vật liệu tự động.

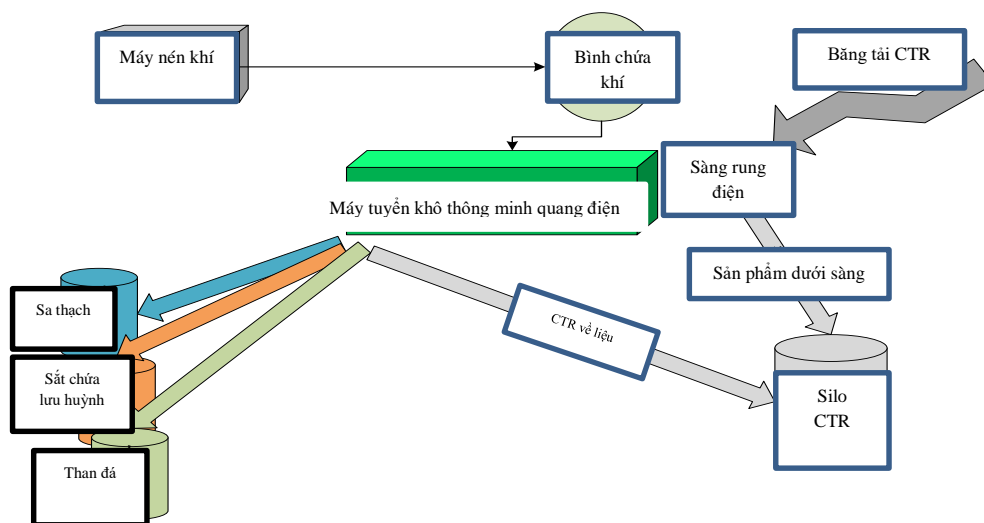
Hệ thống thực hiện phân tách có thể linh hoạt chuyển đổi sơ đồ phân tách phương án phân tách phun thổi theo yêu cầu về độ chính xác của sản phẩm và loại quặng đầu vào.

3. Kết quả thí nghiệm công nghiệp tách CTR

Mẫu nghiên cứu là nguồn CTR của mỏ ở Thái Nguyên, Sơn Tây, Trung Quốc. Mẫu chứa một lượng nhất định pyrit, sa thạch, than đá và bùn thải, cần phải phân tách từng thành phần trong CTR để nâng cao chất lượng của từng sản phẩm trước khi có thể sử dụng tiếp. Nghiên cứu này sử dụng MTTM được sử dụng để phân tích thành phần, mô hình hóa dữ liệu và thí nghiệm khả năng tách của pyrit, đá sa thạch, than đá và bùn thải trong CTR của mỏ và thảo luận về khả năng thích ứng của MTTM trong việc làm sạch và tách các khoáng vật có ích trong CTR.

3.1. Thành phần hệ thống thí nghiệm

Hệ thống thí nghiệm lấy máy tách khô thông minh quang điện làm chủ thể và được trang bị một trạm cấp khí bao gồm máy nén khí và bình chứa khí. Model máy tuyến khô thông minh quang điện là PIDS-1800-A01, sàng rung lỗ 50mm.



Hình 3: Sơ đồ hệ thống thiết bị thí nghiệm

3.2. Thiết lập tập dữ liệu và mô hình

Để thiết lập mô hình thuật toán phân tách của MTTM, chúng tôi đã tiến hành lấy mẫu phân tích thành phần và nhiệt trị của than trong mỏ và các tính chất khác của CTR trong mỏ. Một phần mẫu được chọn để lấy mẫu và dán nhãn, đồng thời xây dựng bộ dữ liệu thuật toán để tạo mô hình. Phương pháp lựa chọn tập dữ liệu như sau:

Tập dữ liệu Than đá: 950 khối quặng có tỷ trọng nhỏ hơn $1,8 \text{ g/cm}^3$ đã được lấy mẫu và dán nhãn là sản phẩm than đá; 900 mẫu quặng có tỷ trọng lớn hơn $1,8 \text{ g/cm}^3$ đã được lấy mẫu và dán nhãn là mẫu CTR.

Tập dữ liệu pyrit: Do mức độ nhận dạng quặng có hàm lượng pyrit cao hơn, tập dữ liệu này áp dụng phương pháp chọn thủ công, cuối cùng chọn 900 mẫu pyrit, được lấy mẫu và dán nhãn là mẫu pyrit.

Tập dữ liệu đá sa thạch: 900 mẫu đá sa thạch và 900 khối mẫu không phải đá sa thạch được chọn thủ công, được lấy mẫu và dán nhãn là tập dữ liệu đá sa thạch và không phải đá sa thạch.

Ba loại tập dữ liệu được thiết lập và học riêng biệt, cuối cùng thu được ba mô hình phân loại.

3.3. Thí nghiệm tuyển tách

3.3.1. Mô tả phương án thử nghiệm

Để nghiên cứu hiệu quả phân tách của MTTM đối với CTR (sau đây gọi là nguyên liệu) được tạo ra trong quá trình sản xuất của mỏ, chúng tôi tiến hành 3 thí nghiệm tách than đá, tách pyrit và tách sa thạch. Đối với mỗi thí nghiệm lấy 3 đoạn nguyên liệu, thống kê tỉ lệ trung bình của từng thành phần trong nguyên liệu đầu vào;

Đối với đầu ra của thí nghiệm tách than đá, nhiệt trị được tính; đối với các thí nghiệm phân tách pyrit và phân tách đá sa thạch, đầu ra sau khi tách được tính tỷ lệ thành phần của đầu ra.

3.3.2. Kết quả thử nghiệm

3.3.2.1 Thí nghiệm tách than đá

Tuyển lấy ra 3 sản phẩm, khoáng vật có tỷ trọng < 1,8 g/cm³ chiếm 0,97% trọng lượng nguyên liệu ứng với nhiệt trị trung bình 976 kcal/kg. Sử dụng máy tách khô thông minh để phân tách, sau khi phân tách nhiệt trị của các sản phẩm tạo thành là 2906 kcal/kg ở mức thấp nhất và 3250 kcal/kg ở mức cao nhất.

3.3.2.2. Thí nghiệm phân tách quặng pyrit

Nguyên liệu pyrit được lấy ra 3 lần và tỷ lệ trọng lượng của quặng sắt pyrit đã được tính toán thể hiện trong Bảng 1. Tỷ lệ pyrit trong nguyên liệu đầu vào tương đối nhỏ, tỷ lệ tổng trọng lượng sắt pyrit trung bình trong ba lần lấy mẫu được tính là 1,64%.

Bảng 1: Thống kê tỉ lệ sắt lưu huỳnh nguyên liệu

Trọng lượng pyrit (kg)	Trọng lượng CTR khác (kg)	Thu hoạch pyrit (%)
10	257	0.037
7	494	0.014
5	587	0.008

Sử dụng MTTM cho các thí nghiệm phân tách, tỷ lệ quặng sắt pyrit trong các nguyên liệu tách ra lần lượt là 85,4%, 88% và 88,5%, trung bình tăng đến 87,54%, hiệu quả rõ rệt

Bảng 2 Thống kê sản lượng tách sắt lưu huỳnh

Trọng lượng pyrit (kg)	Trọng lượng than (kg)	Thu hoạch pyrit (%)
76	13	0.854
110	15	0.880
123	16	0.885

3.3.2.3. Thí nghiệm phân tách sa thạch

Nguyên liệu sa thạch được lấy ra 3 lần, thống kê tỉ lệ trọng lượng sa thạch như trong Bảng 3. Tỷ lệ sa thạch trong nguyên liệu tương đối nhỏ, tỷ lệ tổng trọng lượng đá sa thạch trong ba lần lấy mẫu trên tổng trọng lượng mẫu ba lần được tính là 1,82%.

Bảng 3: Thống kê tỉ lệ sa thạch nguyên liệu vào

Trọng lượng sa thạch (kg)	Trọng lượng than (kg)	Thu hoạch sa thạch (%)
8	392	0.020
11	605	0.017
7	427	0.016

Sử dụng MTTM cho thí nghiệm phân loại, tỷ lệ đá sa thạch trong vật liệu được chọn lần lượt là 7,5%, 6,3% và 14,2%, tăng trung bình lên 9,3%

Sử dụng MTTM cho các thí nghiệm phân tách, tỷ lệ sa thạch trong các nguyên liệu tách ra lần lượt là 7,5%, 6,3% và 14,2%, trung bình tăng đến 9,3%.

Bảng 4: Thống kê vật sản sinh từ phân tách sa thạch

Trọng lượng sa thạch (kg)	Trọng lượng than (kg)	Thu hoạch sa thạch (%)
66	816	0.075
15	223	0.063
36	217	0.142

3.3.3. Nhận xét

Trong quá trình thí nghiệm, chúng tôi thống kê tỷ lệ từng thành phần trong nguyên liệu, nhiệt trị của sản phẩm sau khi phân tách, tỷ lệ các thành phần. Nhiệt trị của sản phẩm là 2906 kcal/kg, có thể được bán dưới dạng than nhiệt; hàm lượng lưu huỳnh trong sản phẩm sắt pyrit tương đối cao, đáp ứng yêu cầu sử dụng của nhà máy sản xuất axit sunfuric và các nhà máy có nhu cầu sử dụng. Kết quả thí nghiệm cho thấy MTTM phù hợp để ứng dụng tách CTR. So với nguyên liệu thô, tỷ lệ sản phẩm đá sa thạch đã được cải thiện.

4. Kết luận

CTR là một trong những chất thải rắn lớn nhất trong ngành công nghiệp của Trung Quốc cũng như của Việt Nam hiện nay, đồng thời nó cũng là nguồn tài nguyên có thể tận thu, và việc phân tách CTR là tiền đề để tận thu tối đa tài nguyên trong CTR, mang lại lợi ích kinh tế và xã hội to lớn. Qua kết quả nghiên cứu của Trung Quốc cho thấy MTTM có hiệu quả phân tách khá tốt đối với các khoáng vật như than đá và sắt pyrit trong CTR của mỏ. Nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng MTTM để tách than đá, sắt pyrit và đá sa thạch khỏi CTR được sản xuất từ mỏ của Việt Nam. Sản phẩm cuối cùng có thể được sử dụng trong các ứng dụng công nghiệp cho các ngành liên quan.

Tài liệu tham khảo

1. Wang Jianjun, Liu Chunlong, Nghiên cứu khả thi về tách và cải thiện chất lượng của than tại Nhà máy luyện than Antaibao Pingshuo. Khai thác than bằng thủy lực và vận chuyển đường ống, 2017.
2. Xu Zesheng, Chen Jiarui, Wang Senbiao, et al. Nghiên cứu về chế biến và sử dụng than thải theo phân loại và chất lượng China Coal, 2021.
3. Liu Chenglong, Xie Yuchong, Xia Jupei, v.v. Nghiên cứu thực nghiệm về quá trình axit hóa để chiết xuất nhôm và titan từ đá thải than và xỉ than đá. Bản tin Silicat, 2015, 34(4):966-972
4. Quách Tú Quân. Nghiên cứu và Ứng dụng Công nghệ Phân loại đá thải Than. Coal Engineering, 2017, 49(1): 74-76.
5. Dương Tuyên Thành. Nghiên cứu chiết xuất nhôm từ thải than đá và điều chế vật liệu chức năng. Bắc Kinh: Đại học Mỏ và Công nghệ Trung Quốc (Bắc Kinh), 2020.
6. Wang Jiaowen. Phân tích về hiện trạng sử dụng toàn diện than thải. Công nghệ mới và sản phẩm mới của Trung Quốc, 2011, 3;191.

7. Zhang Changsen. Công nghệ mới sử dụng tài nguyên than đá. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Công nghiệp Hóa chất, 2007.
8. Cui Junqiang, Chang Baolong, Huang Bangsong, và cộng sự Chuyên đổi hệ thống xả gangue than số lượng lớn ở Mỏ Wutongzhuang. Chế biến và sử dụng toàn diện than, 2018(7): 45-47,50.
9. Jin Chao, Fan Hailong. Phân tích tính khả thi của ứng dụng Máy tách khô thông minh TDS tại Nhà máy luyện than Majiliang. Chế biến và sử dụng toàn diện than, 2021(7): 10-13, 17.
10. MESINA M B, JONG T P R D, DALMIJN W L. Tự động phân loại kim loại phế liệu bằng cảm biến truyền tia X năng lượng kép và điện từ kết hợp. Tạp chí Quốc tế về Chế biến Khoáng sản, 2007, 82(4): 222-232.
11. ROBBEN C, DE KORTE J, WOTRUBA H, và các cộng sự Kinh nghiệm tách than thô khô bằng phương pháp tách dựa trên truyền tia X. Tạp chí Quốc tế về Chuẩn bị và Sử dụng Than, 2014, 34(3/4) : 210-219.
12. Korner M, Weber CH, Wirth S và cộng sự Radiographics, 2007, 27(3): 675
13. Milbrath B D, Peurrung A J, Bliss M và cộng sự Tạp chí Nghiên cứu Vật liệu, 2011, 23(10): 2561
14. He Xiping, Liu Bo. Lý thuyết và thực hành học sâu. Nhà xuất bản Khoa học, 2017
15. Wang Jincheng, Qi Meishi, Sun Shuo, v.v. Thiết bị súng phun cao áp cho máy tách quặng khô thông minh CN209406888U. 2019.
16. Shi Changyu. Phân tích ứng dụng của công nghệ sàng lọc khô và tách khô thông minh hiệu quả cao tại khu vực khai thác mỏ Zhungeer. Khoa học và Công nghệ Shenhua, 2019, 17(10): 5
17. Zang Jie. Ứng dụng phân tích sóng con trong nhận dạng hình ảnh than Hệ thống điều khiển phân loại ARM [Luận án]. Đại học Khoa học và Công nghệ Tây An.
18. Zheng Shuang. Phương pháp phân loại than và đá thải dựa trên mạng AlexNet-SN. Công nghiệp khai thác mỏ Trung Quốc, 2022, 31(6): 7
19. Wang Guanjun, Su Tingting, Liu Wenbo và cộng sự Thiết kế hệ thống phân loại than thông minh dựa trên EAIDK. Tự động hóa mỏ và công nghiệp, 2020, 46(1): 4.

Nguồn: Tuyển tập báo cáo “Hội nghị Khoa học Công nghệ Tuyển khoáng toàn quốc lần thứ VI”.