

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 8623:2015

ISO 23380:2013

Xuất bản lần 2

**THAN - LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH
CÁC NGUYÊN TỐ DẠNG VẾT**

Selection of methods for the determination of trace elements in coal

HÀ NỘI - 2015

Lời nói đầu

TCVN 8623:2015 thay thế TCVN 8623:2010

TCVN 8623:2015 hoàn toàn tương đương với ISO 23380:2013.

TCVN 8623:2015 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC27 *Nhiên liệu khoáng rắn* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Lời giới thiệu

Phép xác định các nguyên tố dạng vết trong than và cốc đang ngày càng trở nên quan trọng vì ảnh hưởng của các nguyên tố này đến môi trường. Để có kết quả chính xác và đúng đối với phép phân tích các nguyên tố dạng vết, yêu cầu các phương pháp thử tiêu chuẩn là sẵn có và những phương pháp này phải trên cơ sở các quy trình tin cậy.

Tiêu chuẩn này nhằm lựa chọn các phương pháp thích hợp sẵn có để xác định nguyên tố dạng vết phổ biến trong than.

Than - Lựa chọn phương pháp xác định các nguyên tố dạng vết

Selection of methods for the determination of trace elements in coal

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này đưa ra hướng dẫn về sự lựa chọn các phương pháp sử dụng để xác định các nguyên tố dạng vết trong than. Các nguyên tố dạng vết liên quan đến môi trường bao gồm antimon, arsen, berili, bo, cadimi, clo, crom, coban, đồng, flo, chì, mangan, thủy ngân, molybden, niken, selen, tali, vanadi và kẽm. Có thể bổ sung vào danh mục này các nguyên tố phóng xạ dạng vết như thori và urani.

Tiêu chuẩn này không nêu các phương pháp để xác định đơn lẻ các nguyên tố dạng vết. Phép phân tích các mẫu chuẩn được chứng nhận tương ứng là rất quan trọng để khẳng định độ chính xác của phương pháp sử dụng [xem TCVN 8056 (ISO Guide 33)].

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi (nếu có).

TCVN 6910 (ISO 5725) (tất cả các phần), *Độ chính xác (độ đúng và độ chụm) của phương pháp đo và kết quả đo*.

ISO 1213-2, *Solid mineral fuels – Vocabulary – Part 2: Terms relating to sampling, testing and analysis (Nhiên liệu khoáng rắn – Từ vựng – Phần 2: Thuật ngữ liên quan đến lấy mẫu, thử nghiệm và phân tích)*.

TCVN 8056 (ISO Guide 33), *Reference materials - Good practice in using reference materials (Mẫu chuẩn - Thực hành tốt trong sử dụng mẫu chuẩn)*.

3 Thuật ngữ, định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ, định nghĩa nêu trong ISO 1213-2.

4 Các từ-viết tắt

AAS	Phép đo phổ hấp thụ nguyên tử (atomic absorption spectrometry)
AFS	Phép đo phổ huỳnh quang nguyên tử (atomic fluorescence spectrometry)
CVAAS	Phép đo phổ hấp thụ nguyên tử hơi-lạnh (cold-vapour atomic absorption spectrometry)
GFAAS	Phép đo phổ hấp thụ nguyên tử lò-graphit (graphite-furnace atomic absorption spectrometry)
IC	Sắc ký ion (ion chromatography)
ICP-AES	Phép đo phổ phát xạ nguyên tử plasma cặp cảm ứng (inductively coupled plasma atomic emission spectrometry)
ICP-MS	Phép đo phổ khối plasma cặp cảm ứng (inductively coupled plasma mass spectrometry)
INAA	Phân tích bằng thiết bị kích hoạt neutron (instrumental neutron activation analysis)
ISE	Điện cực chọn lọc ion (ion selective electrode)
XRF	Phép đo phổ huỳnh quang tia-X (X-ray fluorescence spectrometry)

5 Lựa chọn phương pháp

5.1 Quy định chung

Tóm tắt các ứng dụng kỹ thuật có thể áp dụng để xác định từng nguyên tố dạng vết được nêu dưới đây. Sơ đồ qui trình được sử dụng để xác định nguyên tố dạng vết được nêu tại Phụ lục A.

Điều quan trọng là hàm lượng ẩm của mẫu được xác định để có thể tính kết quả ở trạng thái không phải "khô-không khí".

CHÚ THÍCH 1: Có các qui trình phân tích có thể áp dụng cho than chưa tro hóa. Phương pháp áp dụng được giải thích tại Phụ lục B.

CHÚ THÍCH 2: Bo, clo, flo, thủy ngân và selen được giải phóng khi tro hóa than, vì vậy, không xác định được hàm lượng của các nguyên tố này trong than bằng cách phân tích tro chuẩn bị trong phòng thử nghiệm.

Khi qui trình phân tích yêu cầu tro hóa than, thì điều quan trọng là xác định lượng tro để có thể tính hàm lượng các nguyên tố dạng vết trong mẫu than, (xem Điều 7). Qui trình tro hóa được nêu tại TCVN 7985 (ISO 15238)^[6]. Than được tro hóa trong các đĩa silica hoặc thạch anh, hoặc trong các chén bằng platin hoặc hợp kim platin, trong lò tro hóa thông thường. Nhiệt độ lò được tăng lên từ nhiệt độ môi trường đến tối đa là 500 °C, trong thời gian từ 1 h đến 3 h và duy trì tại nhiệt độ này cho đến khi vật liệu carbon được oxy hóa hoàn toàn trong thời gian tối đa là 18 h. Tốc độ đốt được lựa chọn để không gây bốc cháy và tránh thất thoát cơ học đối với mẫu.

5.2 Asen và selen

Asen và selen được xác định bằng cách phát sinh hydrua/hấp thụ nguyên tử hoặc các phương pháp huỳnh quang nguyên tử sau khi tro hóa than ở nhiệt độ 800 °C với sự tham gia của hỗn hợp Eschka và hòa tan bằng axit clohydric. TCVN 7986 (ISO 11723)^[3] là phương pháp được khuyến nghị để xác định asen và selen trong than.

Asen trong than được xác định bằng phép phân tích tro đã được chuẩn bị trong phòng thử nghiệm tại nhiệt độ không lớn hơn 500 °C. Selen được bay hơi tại nhiệt độ tương đối thấp và không còn lại trong tro. Hiện nay không có tiêu chuẩn để xác định asen trong tro than. Quy trình phù hợp là hòa tan tro hoặc bằng cách nung chảy hoặc bằng hỗn hợp các axit (axit nitric, clohydric và flohydric) và xác định chất phân tích bằng hydrua/AAS hoặc hydrua/AFS. Nguyên tố này cũng có thể được xác định bằng ICP-MS nếu loại bỏ được sự cản trở do argon clorua gây ra.

5.3 Bo

Bo được xác định bằng ICP-AES sau khi tro hóa than tại nhiệt độ 800 °C với sự tham gia của hỗn hợp Eschka và hòa tan bằng axit clohydric, (xem AS 1038.10.3^[7]). Quy trình hòa tan này tương tự như quy trình áp dụng đối với asen và selen, quy trình được nêu trong TCVN 7986 (ISO 11723)^[3].

5.4 Antimon, berili, cadimi, crom, coban, đồng, chì, mangan, molybden, niken, tali, vanadi, kẽm, thori và uran

5.4.1 Quy định chung

Antimon, berili, cadimi, crom, coban, đồng, chì, mangan, molybden, niken, tali, vanadi, kẽm, thori và uran được xác định bằng các kỹ thuật quang phổ khác nhau (xem ASTM D 6357^[10]).

CHÚ THÍCH 1: Rất nhiều các nguyên tố dạng vết có thể được xác định bằng XRF, tuy nhiên nói chung độ nhạy rất thấp để xác định chính xác berili, cadimi, tali, thori và uran bằng XRF.

Các quy trình khuyến nghị được tóm tắt dưới đây:

- a) Mẫu than được tro hóa tại nhiệt độ lớn nhất là 500 °C để chuyển hoá các chất carbon;
- b) Tro được chuẩn bị trong phòng thử nghiệm được hòa tan hoặc bằng cách nung chảy (xem AS 1038.14.3^[8]) hoặc bằng hỗn hợp các axit (axit nitric, clohydric và flohydric). Các quy trình hòa tan này có thể áp dụng để phân tích tro than. Chú ý là thori và uran có thể tạo thành các florua không tan và đặc biệt chú ý để tránh sự xuất hiện của axit flohydric. Có thể xác định thori và uran trong vòng 2 h chuẩn bị dung dịch axit hỗn hợp với tro than hoặc florua có thể bị loại bỏ bay hơi.

Dung dịch nhận được theo quy trình hòa tan trong đó florua được tạo phức với axit boric, và có thể sử dụng để xác định các nguyên tố dạng vết bằng ICP-AES và ICP-MS.

c) Nồng độ của các chất phân tích trong dung dịch được xác định bằng các kỹ thuật quang phổ. Thông thường áp dụng phương pháp AAS. Hiện nay đã được thay thế bằng phương pháp ICP-AES, phương pháp được sử dụng để xác định phần lớn các nguyên tố này, trừ antimon, cadimi, chì, tali, thori và uran. Sáu nguyên tố này xuất hiện trong than với các hàm lượng rất thấp, khó xác định bằng ICP-AES, nhưng có thể xác định được chính xác bằng ICP-MS.

CHÚ THÍCH 2: Cadimi (xem ISO 15238) và chì cũng có thể xác định bằng GFAAS.

5.4.2 Nuclit phóng xạ

Nuclit phóng xạ có trong than một cách tự nhiên. Tính phóng xạ của nguyên tố này có thể đo được bằng cách sử dụng phổ gamma có độ phân giải cao, tham khảo Fardy^[14]. Hoạt tính phóng xạ này do sự phân rã của ²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th, và các hạt nhân con, cũng như ⁴⁰K, và ⁸⁷Rb.

5.5 Clo

Có thể xác định clo theo nhiều phương pháp, bao gồm TCVN 5230 (ISO 587)^[1] và ASTM D 4208^[9]. Các quy trình này đòi hỏi than phải được đốt và clo sẽ bị giữ lại trong hỗn hợp Eschka hoặc trong dung dịch kiềm. Các phương pháp này kém độ nhạy và nếu xác định theo các quy trình này độ lặp lại sẽ cao. Dung dịch này thu được bằng phương pháp nhiệt phân (xem 5.6) có thể sử dụng để xác định clo theo phương pháp IC hoặc ICP-AES. Việc sử dụng XRF có thể là phương pháp thực tế và chính xác để xác định trực tiếp clo trong than.

CHÚ THÍCH: Thông thường không báo cáo kết quả clo là nguyên tố dạng vết, mà báo cáo là phần trăm nhỏ và biểu thị bằng phần trăm.

5.6 Flo

Áp dụng TCVN 7987 (ISO 11724)^[4] để xác định flo. Phương pháp này là quy trình nhiệt phân/ISE hoặc nhiệt phân/IC. Có thể sử dụng quy trình này để xác định tro than. Khoa học đã chứng minh rằng các phương pháp dựa trên sự phân hủy của than cùng với quy trình đốt bằng bom oxy có thể cho các kết quả thấp.

5.7 Thủy ngân

Áp dụng TCVN 7984 (ISO 15237)^[5] để xác định thủy ngân. Trong quy trình này than được đốt trong bom oxy và thủy ngân giải phóng được hấp thụ trong dung dịch axit nitric loãng. Có rất nhiều quy trình hiện hành khác, chính xác để xác định thủy ngân. Có thể xử lý than với các axit, hoặc đốt trong bình áp lực trong lò vi sóng, hoặc trong bình kín trong bể nước được gia nhiệt, hoặc bằng cách cho hồi lưu với hỗn hợp các axit nitric và axit sulfuric, (xem ASTM D 6414)^[11]. Cũng có các phương pháp đo bằng thiết bị, trong đó than được đốt cháy và thủy ngân giải phóng được hấp phụ vào bộ thu bằng vàng. Sau đó thủy ngân được giải phóng bằng nhiệt và được cô đặc (xem ASTM D 6722)^[12].

6 Sử dụng mẫu chuẩn được chứng nhận

Việc sử dụng các mẫu chuẩn được chứng nhận (CRMs) phù hợp là đặc biệt quan trọng khi kiểm tra tính chính xác của các phương pháp để xác định các nguyên tố dạng vết có trong than, (xem TCVN 8056 (ISO Guide 33)). CRMs cho than là sẵn có và yêu cầu phải đảm bảo rằng không bị thất thoát các chất phân tích trong quá trình tro hóa theo bất kỳ phương pháp nào. Có thể sử dụng CRMs cho tro than đối với các phương pháp này và yêu cầu việc tro hóa than là một phần của qui trình.

Bắt buộc phải kiểm tra xác nhận phương pháp đã chọn để xác định các nguyên tố dạng vết, đảm bảo bằng cách sử dụng các qui trình tại TCVN 6910 (ISO 5725) (tất cả các phần) và việc kiểm tra xác nhận phương pháp được lập thành văn bản.

Khuyến nghị là CRM được phân tích cho từng loạt mẫu và kết quả của phép phân tích này được báo cáo trong báo cáo thử nghiệm, cùng với các giá trị được chứng nhận hoặc khuyến nghị.

7 Tính kết quả

Hàm lượng của nguyên tố X, $C_{X, \text{than khô}}$, biểu thị bằng miligam trên kilogam than ở trạng thái khô, trong đó chất phân tích đã xác định không bao gồm quá trình tro hóa mẫu, tính theo Công thức (1):

$$C_{X, \text{than khô}} = C_{X, \text{than ad}} \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (1)$$

trong đó

M_{ad} là hàm lượng ẩm của than khô-không khí, tính bằng phần trăm;

$C_{X, \text{than ad}}$ là hàm lượng của nguyên tố X trong than ở trạng thái khô-không khí, tính bằng miligam trên kilogam.

Tính $C_{X, \text{than ad}}$ đối với than ở trạng thái khô-không khí, khi mẫu đã được tro hóa trước khi xác định chất phân tích theo công thức (2):

$$C_{X, \text{than ad}} = C_{X, \text{tro}} \times \frac{A_{500}}{100} \quad (2)$$

trong đó

$C_{X, \text{tro}}$ là hàm lượng của nguyên tố X, tính bằng miligam trên kilogam tro;

A_{500} là lượng tro tại 500 °C.

8 Độ nhạy

Tất cả các phương pháp sử dụng để xác định các nguyên tố dạng vết trong than phải có độ nhạy như nhau để phát hiện các mức hàm lượng trong than. Dải hàm lượng điển hình của các nguyên

tổ dạng vết trong than thương phẩm được nêu tại Bảng 1. Các giới hạn phát hiện và độ chụm yêu cầu của các phương pháp này cũng được nêu trong bảng.

Bảng 1 – Dải hàm lượng của các nguyên tố dạng vết trong than thương phẩm và các giới hạn phát hiện và độ chụm yêu cầu đối với phép phân tích

Nguyên tố	Dải hàm lượng ^{a,b} mg/kg ^c	Giới hạn phát hiện yêu cầu, mg/kg ^c	Độ chụm yêu cầu ^d mg/kg ^c
As	0,5 đến 5,0	0,1	0,1
B	5 đến 400	5	5
Be	0,1 đến 20	0,1	0,1
Cd	0,05 đến 0,090	0,01	0,005
Cl*	<0,01 đến 0,2 %	0,01 %	0,01 %
Co	0,5 đến 30	1	1
Cr	0,5 đến 60	1	1
Cu	0,5 đến 50	1	1
F	20 đến 500	50	10
Hg	0,01 đến 1,0	0,01	0,005
Mn	5 đến 300	1	1
Mo	0,1 đến 10	1	0,1
Ni	0,5 đến 50	1	1
Pb	2 đến 80	1	1
Sb	0,1 đến 10	0,1	0,1
Se	0,2 đến 10	0,1	0,1
Th	0,5 đến 10	0,1	0,1
Ti	0,1 đến 10	0,1	0,1
U	0,5 đến 10	0,1	0,1
V	2 đến 100	1	1
Zn	5 đến 300	1	1

* Theo Swaine^[16].

^b Các dải chỉ hiển thị.

^c Trừ trường hợp hiển thị theo phần trăm.

^d Độ chụm yêu cầu được hiển thị hoặc 10 % tương đối (lấy giá trị lớn hơn).

* Báo cáo clo theo phần trăm.

9 Báo cáo kết quả

Các kết quả được báo cáo đến các số thập phân như nêu tại Bảng 2. Báo cáo ký hiệu các nguyên tố dạng vết theo bảng thứ tự chữ cái, trừ trường hợp clo, nguyên tố này thường không được báo cáo là nguyên tố dạng vết.

Bảng 2 – Báo cáo kết quả

Nguyên tố	Dải hàm lượng, mg/kg ^a	Báo cáo, chính xác đến mg/kg ^b
As, Sb, Se	0,1 đến 10	0,1
B	5 đến 50 > 50	5 10 % tương đối
Be	0,1 đến 10,0	0,1
Cd, Hg	0,01 đến 0,10	0,01
Cl	0,01 % đến 0,15 %	0,01 %
F	< 100 $100 \leq C_F < 500$	1 5
Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Ti, Zn	1 đến 10 >10	0,1 10 % tương đối
Pb	4,5 đến 9,5	0,1
Th, U	0,1 đến 10	0,1
^a Trừ trường hợp hiển thị theo phần trăm		
^b Trừ trường hợp hiển thị theo cách khác		

10 Độ chụm

Độ chụm của phép đo được nêu tại Bảng 1.

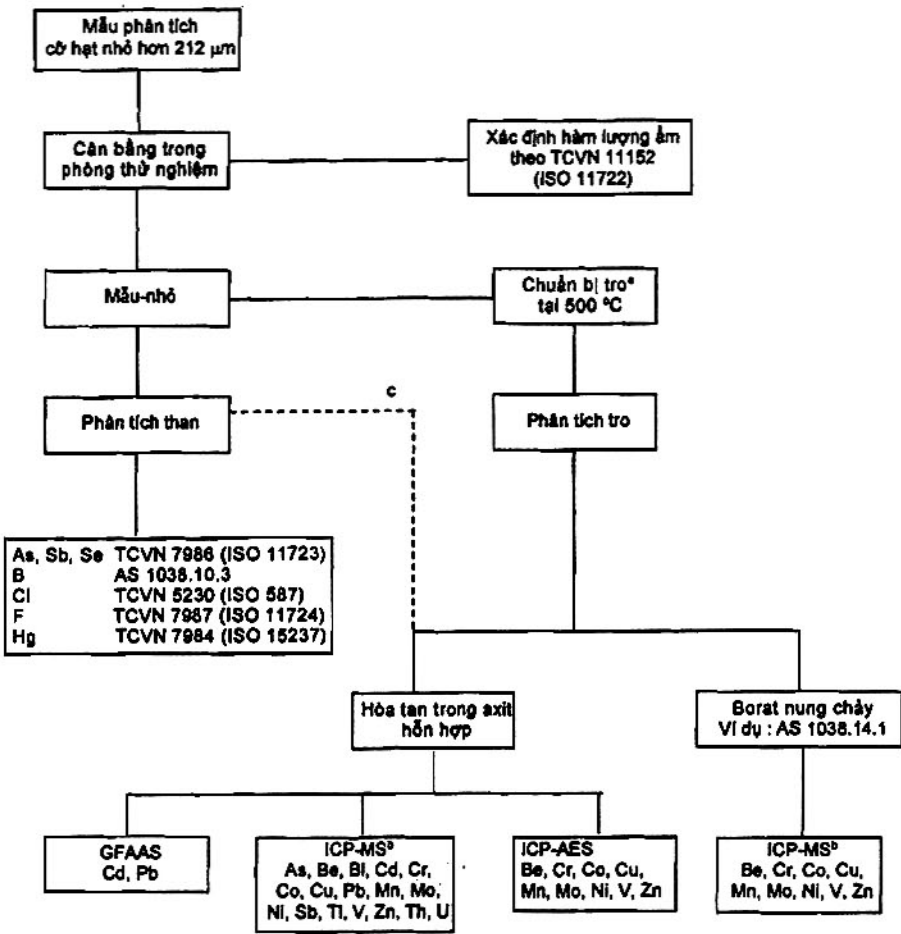
11 Báo cáo thử nghiệm

Báo cáo thử nghiệm gồm các nội dung sau:

- nhận dạng đầy đủ về mẫu thử;
- viện dẫn phương pháp sử dụng;
- hàm lượng của từng nguyên tố trong than, biểu thị bằng milligam trên kilogam;
- trạng thái để báo cáo, ví dụ: khô-không khí;
- hàm lượng ẩm ở trạng thái khô-không khí của than.

Phụ lục A
(tham khảo)

Sơ đồ phân tích các nguyên tố dạng vết



- * Nếu phân tích tro của mẫu-nhỏ, xác định phần trăm tro để có thể tính các kết quả ở các trạng thái của than.
- ^a Có thể sử dụng dung dịch pha loãng nhận được bằng cách nung chảy borat đối với phép đo bằng ICP-MS nếu độ nhạy nhận được bằng hoặc tốt hơn độ nhạy nêu tại Bảng 1.
- ^c Sơ đồ phân tích biểu thị bằng đường đứt nét thể hiện là hòa tan than bằng axit hỗn hợp. Đây là phương pháp khác để tro hóa than trước khi hòa tan.

CHÚ THÍCH: Độ chính xác của các qui trình đã nêu có thể đảm bảo bằng cách phân tích CRMs thích hợp.

Hình A.1 - Sơ đồ phân tích các nguyên tố dạng vết

Phụ lục B

(tham khảo)

Các quy trình khác hòa tan than

Các qui trình nêu tại các tiêu chuẩn khác và các tài liệu khoa học (xem thư mục tham khảo) có thể sử dụng để nung cả than và tro than để chuẩn bị các dung dịch sử dụng cho phép xác định các nguyên tố dạng vết bằng nhiều phương pháp kỹ thuật phân tích khác nhau như ICP-AES và ICP-MS.

Hầu hết các qui trình đều yêu cầu hòa tan tro than bằng cách nung chảy hoặc với hỗn hợp axit bao gồm cả axit flohydric. Hầu hết các qui trình có thể được sử dụng để hòa tan than đều cần phải sử dụng axit flohydric trong hỗn hợp axit và cũng sử dụng H_2O_2 để oxy hóa các chất carbon trong than, ví dụ: CEN/TS 15297^[13]. Có một qui trình hòa tan than không cần sử dụng axit flohydric là phương pháp của Wang^[10].

Sự cần thiết sử dụng axit flohydric đã được tranh luận rất nhiều. Quan điểm về nội dung này là tất cả các chất phân tích được giải phóng ra từ nền chất khoáng khi không có axit flohydric. Wang^[10] ghi lại rằng tại nhiệt độ và áp suất cao nhận được trong quy trình sử dụng sóng micro, không cần sử dụng axit flohydric.

Đồng thời các ưu điểm và yếu điểm của các phương pháp dựa trên cơ sở hòa tan than cũng đã được tranh luận, và các phương pháp đó yêu cầu cần tro hóa than trước khi hòa tan tro.

Có một vài ưu điểm khi hòa tan than trực tiếp trong axit để thu được các dung dịch, trong đó các chất phân tích có thể xác định được. Vấn đề quan trọng ở chỗ là liệu các chất phân tích có bị giải phóng từ các tạp chất carbon của than trong quá trình đốt cùng axit hỗn hợp và H_2O_2 không. Ngược lại, có luận cứ cho rằng quá trình tro hóa than có thể dẫn đến nhiễm tạp chất và cũng có thể thất thoát một vài nguyên tố dạng vết. Sự nhiễm tạp chất là mối nguy hiểm đối với tất cả các qui trình sử dụng để phân tích các nguyên tố dạng vết và mối nguy hiểm này phải được kiểm soát. Cũng có thể trong quá trình tro hóa một vài nguyên tố dạng vết bị thất thoát. Còn chắc chắn là các nguyên tố dạng vết như: B, Hg, Se và các halogen thì bị thất thoát (bay hơi) trong quá trình tro hóa. Các nguyên tố dạng vết đang quan tâm khác không hề bị thất thoát trong quá trình tro hóa than tại nhiệt độ bằng hoặc nhỏ hơn 500 °C.

Trong tiêu chuẩn này không nêu các phương pháp cụ thể. Trách nhiệm thuộc về các nhà phân tích hóa phải sử dụng các qui trình đã được đánh giá bằng các phép phân tích CRMs thích hợp (tức là than và tro than). Rõ ràng khẳng định được là tất cả các bước của qui trình chấp nhận không gây ra mối nguy hiểm như nhiễm tạp chất hoặc thất thoát các chất phân tích. Ví dụ, nếu các chất phân tích không được thu hồi từ quá trình hòa tan CRM của than hoặc bị thất thoát trong quá trình tro hóa CRM của than, thì qui trình là không phù hợp để tiến hành xác định các chất phân tích này.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 5230 (ISO 587), *Nhiên liệu khoáng rắn – Xác định clo dùng hỗn hợp Eschka.*
- [2] TCVN 11152 (ISO 11722), *Solid mineral fuels – Hard coal – Determination of moisture in the general analysis test sample by drying in nitrogen (Nhiên liệu khoáng rắn – Than đá – Xác định độ ẩm trong mẫu phân tích chung bằng phương pháp làm khô trong nitơ).*
- [3] TCVN 7986 (ISO 11723), *Nhiên liệu khoáng rắn– Xác định asen và selen – Phương pháp hỗn hợp Eschka và phát sinh hydrua.*
- [4] TCVN 7987 (ISO 11724), *Nhiên liệu khoáng rắn – Xác định tổng flo trong than, cốc và tro bay.*
- [5] TCVN 7984 (ISO 15237), *Nhiên liệu khoáng rắn – Xác định tổng hàm lượng thủy ngân trong than.*
- [6] TCVN 7985 (ISO 15238), *Nhiên liệu khoáng rắn – Xác định tổng hàm lượng cadimi trong than.*
- [7] AS 1038.10.3 *Coal and coke – Analysis and testing – Determination of trace elements – Coal and coke – Determination of boron content – ICP-AES method (Than và cốc – Phân tích và thử nghiệm – Xác định các nguyên tố dạng vết – Than và cốc – Xác định hàm lượng bo – Phương pháp ICP-AES).*
- [8] AS 1038.14.1, *Coal and coke – Analysis and testing – Determination of trace elements – Coal and coke – Determination of boron content – ICP-AES method (Than và cốc – Phân tích và thử nghiệm – Xác định các nguyên tố dạng vết – Than và cốc – Xác định hàm lượng bo – Phương pháp ICP-AES).*
- [9] ASTM D 4208, *Standard test method for total chlorine in coal by the oxygen bomb combustion/ion selective electrode method (Phương pháp xác định tổng clo trong than bằng phương pháp đốt trong bom oxy/phương pháp điện cực chọn lọc ion).*
- [10] ASTM D 6357-00a, *Test methods for determination of trace elements in coal, coke & combustion residues from coal utilization processes by inductively coupled plasma atomic emission, inductively coupled plasma mass, & graphite furnace atomic absorption spec (Phương pháp xác định các nguyên tố dạng vết trong than, cốc và cặn đốt từ các quy trình, sử dụng bằng phương pháp phổ hấp thụ phát xạ nguyên tử plasma cặp cảm ứng, phổ khối plasma cặp cảm ứng và phổ hấp thụ nguyên tử lò graphit).*
- [11] ASTM D 6414-01, *Standard test method for total mercury in coal and coal combustion residues by acid extraction or wet oxidation/cold vapour atomic absorption (Phương pháp xác định tổng thủy ngân trong than và cặn đốt than bằng chiết xuất bằng axit hoặc hấp thụ nguyên tử hơi lạnh/oxy hóa ướt).*
- [12] ASTM D 6722-01, *Standard test method for total mercury in coal and coal combustion residues by direct combustion analysis (Phương pháp xác định tổng thủy ngân trong than và cặn đốt than bằng phép phân tích đốt trực tiếp).*
- [13] CEN/TS 15297, *Solid mineral fuels – Determination of minor elements (Nhiên liệu khoáng rắn – Xác định các nguyên tố phụ).*
- [14] Fardy J.J. McORIST, G.C. and FARRAR, Y.J. *The analysis of coal and flyash for trace elements and natural radioactivity, Proceedings Australian Coal Science Conference,*

Churchill, 3 to 5 December 1984, pp.159 to 160 (Fardy J.J. McORIST, G.C. and FARRAR, Y.J. Phương pháp phân tích than và tro bay xác định các nguyên tố dạng vết và phóng xạ tự nhiên, Trích từ Hội nghị Khoa học của Úc về Than, Churchill, 3-5/12/1984, trang 159-160)

- [15] Swaine, D.J. *Trace elements in coal*. Butterworths, London, 1990 (Nguyên tố dạng vết trong than).
 - [16] Wang, J., NAKAZATO, T., SAKANISHI, K., YAMADA, O., TAO, H. and SAITO, I. *Microwave digestion with $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ mixture at high temperatures for determination of trace elements in coal by ICP-OES and ICP-MS*, *Analytica Chimica Acta*, 514(1), 2004, pp. 115 to 124 (Wang, J., NAKAZATO, T., SAKANISHI, K., YAMADA, O., TAO, H. và SAITO, I. Nung bằng lò vi sóng với hỗn hợp $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ tại nhiệt độ cao để xác định các nguyên tố dạng vết trong than bằng phương pháp ICP-OES và ICP-MS, *Analytica Chimica Acta*, 514(1), 2004, trang 115-124).
-