TCVN TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 11487-2:2016
ISO 29463-2:2011

Xuất bản lần 1

PHIN LỌC HIỆU SUẤT CAO VÀ VẬT LIỆU LỌC ĐỂ LOẠI BỎ HẠT TRONG KHÔNG KHÍ - PHẦN 2: TẠO SOL KHÍ, THIẾT BỊ ĐO VÀ THỐNG KÊ ĐẾM HẠT

High-efficiency filters and filter media for removing particles in air - Part 2: Aerosol production, measuring equipment and particle-counting statistics

HÀ NỘI - 2016

Lời nói đầu

TCVN 11487-2:2016 hoàn toàn tương đương với ISO 29463-2:2011;

TCVN 11487-2:2016 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 142 *Thiết bị làm sạch không khí và các khí khác* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 11487 (ISO 29463) *Phin lọc hiệu suất cao và vật liệu lọc để loại bỏ hạt trong không khí* gồm có các phần sau:

– TCVN 11487-1 (ISO 29463-1), Phần 1: Phân loại, thử tính năng và ghi nhãn.

– TCVN 11487-2 (ISO 29463-2), Phần 2: Tạo sol khí, thiết bị đo và thống kê đếm hạt.

– TCVN 11487-3 (ISO 29463-3), Phần 3: Thử nghiệm vật liệu lọc dạng tấm phẳng.

– TCVN 11487-4 (ISO 29463-4), Phần 4: Phép thử để xác định rò rỉ của các phần tử lọc – Phương pháp quét.

– TCVN 11487-5 (ISO 29463-5), Phần 5: Phương pháp thử đối với các phần tử lọc.

Lời giới thiệu

Bộ TCVN 11487 (ISO 29463) (tất cả các phần) được chuyển thể từ EN 1822 (tất cả các phần) với những thay đổi mở rộng để phù hợp với yêu cầu của các nước thành viên P trong khối EU. Bộ tiêu chuẩn này bao gồm các yêu cầu, các nguyên tắc cơ bản để thử nghiệm và ghi nhãn cho phin lọc không khí dạng hạt hiệu suất cao với hiệu suất từ 95 % đến 99,999,995 %, hiệu suất này có thể được sử dụng cho phin lọc theo cách thông thường hoặc để sử dụng bằng sự thỏa thuận giữa người sử dụng và nhà cung cấp.

Bộ TCVN 11487 (ISO 29463) (tất cả các phần) thiết lập quy trình để xác định hiệu suất của tất cả các phin lọc dựa trên phương pháp đếm hạt sử dụng sol khí thử nghiệm dạng lỏng (hoặc dạng rắn), và cho phép phân loại các phin lọc này theo hiệu suất tiêu chuẩn của chúng bao gồm cả hiệu suất tổng thể và hiệu suất cục bộ, mà trên thực tế hiệu suất này đáp ứng hầu hết các yêu cầu áp dụng khác nhau. Sự khác nhau giữa bộ TCVN 11487 (ISO 29463) (tất cả các phần) và các tiêu chuẩn quốc gia khác là kỹ thuật sử dụng để xác định hiệu suất tổng thể. Thay vì sử dụng mối tương quan khối lượng hoặc nồng độ tổng, kỹ thuật này dựa trên việc đếm hạt tại cỡ hạt thấu qua nhiều nhất (MPPS) với các vật liệu lọc thủy tinh siêu nhỏ, cỡ hạt thường khoảng từ 0,12 µm đến 0,25 µm. Phương pháp này cũng cho phép thử nghiệm phin lọc không khí thấu qua siêu thấp. Phin lọc siêu thấp này không thể thực hiện được bằng các phương pháp thử trước đó do chúng không có đủ độ nhạy. Đối với vật liệu lọc màng, áp dụng song song các quy tắc; việc thay đổi vật liệu của các phin lọc này đã được mô tả từ trước, phương pháp để xử lý với các loại phin lọc này được mô tả trong TCVN 11487-5:2016 (ISO 29463-5:2011), Phụ lục C. Các yêu cầu cụ thể đối với phương pháp thử nghiệm, tần suất, và các yêu cầu báo cáo có thể được cải biên bằng sự thỏa thuận giữa nhà cung cấp và khách hàng. Đối với phin lọc hiệu suất thấp hơn (nhóm H, như được mô tả dưới đây), phương pháp thử rò rỉ thay phiên đã quy định trong TCVN 11487-4:2016 (ISO 29463-4:2011), Phụ lục A, có thể được sử dụng bằng sự thỏa thuận cụ thể giữa người sử dụng và nhà cung cấp, nhưng chỉ sử dụng các phương pháp đã được xác định rõ ràng trong nhãn của phin lọc như đã quy định trong TCVN 11487-4:2016 (ISO 29463-4:2011), Phụ lục A. Mặc dù có thể sử dụng thường xuyên các phương pháp được mô tả trong tiêu chuẩn này để xác định tính năng của phin lọc cho các cỡ hạt nano, việc thử nghiệm hoặc phân loại các phin lọc với cỡ hạt nano được trình bày trong tiêu chuẩn này (xem Phụ lục A về thông tin bổ sung).

Có nhiều sự khác nhau giữa bộ TCVN 11487 (ISO 29463) (tất cả các phần) và các thực hành quy phạm chung ở một số nước. Ví dụ, nhiều phản hồi về phương pháp này dựa trên các nồng độ sol khí tổng hơn là các hạt riêng lẻ. Thông tin, bảng tóm tắt của các phương pháp trong tiêu chuẩn này và các tiêu chuẩn tham chiếu của chúng được nêu trong TCVN 11487-5 (ISO 29463-5), Phụ lục A.

Phin lọc hiệu suất cao và vật liệu lọc để loại bỏ hạt trong không khí - Phần 2: Tạo sol khí, thiết bị đo và thống kê đếm hạt

High-efficiency filters and filter media for removing particles in air - Part 2: Aerosol production, measuring equipment and praticle-counting statistics

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định việc tạo sol khí và thiết bị đo được sử dụng để thử phin lọc hiệu suất cao và vật liệu lọc theo TCVN 11487-3 (ISO 29463-3), TCVN 11487-4 (ISO 29463-4) và TCVN 11487-5 (ISO 29463-5) cũng như cơ sở thống kê đối với đếm hạt có số lượng đếm nhỏ. Tiêu chuẩn này được sử dụng kết hợp với các TCVN 11487-1 (ISO 29463-1), TCVN 11487-3 (ISO 29463-3), TCVN 11487-4 (ISO 29463-4) và TCVN 11487-5 (ISO 29463-5).

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên 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, bổ sung (nếu có).

TCVN 11487-1 (ISO 29463-1) *Phin lọc hiệu suất cao và vật liệu lọc để loại bỏ hạt trong không khí – Phần 1: Phân loại, thử tính năng và ghi nhãn.*

TCVN 11487-3 (ISO 29463-3) *Phin lọc hiệu suất cao và vật liệu lọc để loại bỏ hạt trong không khí – Phần 3: Thử nghiệm vật liệu lọc dạng tấm phẳng*

TCVN 11487-4:2016 (ISO 29463-4:2011) *Phin lọc hiệu suất cao và vật liệu lọc để loại bỏ hạt trong không khí – Phần 4: Phương pháp thử để xác định rò rỉ của các phần tử lọc – Phương pháp quét*

TCVN 11487-5:2016 (ISO 29463-5:2011) *Phin lọc hiệu suất cao và vật iệu lọc để loại bỏ hạt trong không khí – Phần 5: Phương pháp thử đối với các phần tử lọc.*

ISO 29464, *Cleaning equipment for air and other gases – Terminology (*Thiết bị làm sạch không khí và các khí khác – Thuật ngữ*)*.

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa đã nêu trong TCVN 11487-1 (ISO 29463-1) ISO 29464 và và các thuật ngữ định nghĩa sau.

3.1

Hiệu suất đếm (counting efficiency)

Biểu thị theo tỷ lệ của các cỡ hạt lơ lửng thổi qua bằng thể tích được đo và được đếm bằng máy đếm hạt có thể phát hiện được trong lưu lượng thể tích trong điều kiện phân tích.

VÍ DỤ: Tỷ lệ giữa nồng độ đo được với nồng độ sol khí thực tế.

CHÚ THÍCH: Hiệu suất đếm phụ thuộc vào cỡ hạt và giảm dần tới gần giới hạn phát hiện dưới của máy đếm hạt.

4 Tạo sol khí

Khi thử nghiệm phin lọc, phải sử dụng sol khí thử nghiệm với các hạt thể lỏng để làm phương pháp thử nghiệm tham chiếu phù hợp với TCVN 11487-1 (ISO 29463-1). Ngoài ra, sol khí PSL thể rắn có thể được sử dụng để thử nghiệm hiệu suất cục bộ (rò rỉ) [xem Phụ lục E của TCVN 11487-4 (ISO 29463-4:2011)].

Việc thử phin lọc hiệu suất cao (ISO 65 U và cao hơn) cần có các cách tạo sol khí với tốc độ tạo hạt cao ($10^{10}.s^{-1}$ đến $10^{11}.s^{-1}$), để cung cấp các phép đo có ý nghĩa thống kê ở phía sau của phin lọc.

Bằng cách điều chỉnh các thông số vận hành của máy tạo sol khí, có thể phải điều chỉnh đường kính hạt trung bình của sol khí sao cho bằng với đường kính của hạt MPPS. Nồng độ và phân bố cỡ hạt sol khí tạo thành phải được duy trì ổn định trong suốt quá trình thử.

4.1 Chất sol khí

Chất sol khí thích hợp cho phương pháp thử tham chiếu là một chất lỏng có áp suất hơi thấp đến mức mà ở nhiệt độ xung quanh kích thước của các giọt được tạo ra không thay đổi đáng kể do sự bay hơi trong khoảng thời gian đo có liên quan đến quy trình thử (trong khoảng vài giây).

4.1.1 Các chất có thể bao gồm cả những chất sau, nhưng không giới hạn:

- DEHS,
- PAO,
- Dầu parafin (độ nhớt thấp).

4.1.2 Các tính chất quan trọng nhất của chất sol khí có thể là các tính chất dưới đây, các tính chất này không nên sai lệch đáng kể so với các giá trị đã nêu của ba chất được gợi ý trong Bảng 1:

- Chỉ số khúc xạ;
- Áp suất hơi;
- Mật độ.

Phải tuân thủ các quy định an toàn trong phòng thí nghiệm tiêu chuẩn khi xử lý các chất này. Điều này phải được đảm bảo bằng các hệ thống khí thải thích hợp và các hệ thống ống dẫn sol khí kín để người thực hiện không bị hít phải các sol khí thử. Trong trường hợp nghi ngờ, phải tham khảo các dữ liệu về an toàn đối với các chất thích hợp này.

Bảng 1 – Dữ liệu quan trọng đối với các chất sol khí ở 20 °C

Tên gọi thông thường	DEHS	PAO[a]	Dầu paraffin (độ nhớt thấp)
Tên hóa học	Este sebacic acid-bis(2-ethylhexyl) (ví dụ: CAS số. 122-62-3)	Poly-alpha-olefin (ví dụ: CAS[b] Số. 68649-12-7)	Hỗn hợp (ví dụ: CAS # 64742-46-7)
Tên gọi thông thường	Diethylhexylsebacate	Polyalphaolefin	Dầu paraffin
Mật độ, kg/m^3	912	800 đến 820 (820[c])	843
Điểm nóng chảy, K	225	~280	259
Điểm sôi, K	529	650 đến 780 (674[c])	526
Điểm bốc bay, K	>473	445 đến 500	453
Áp suất hơi ở 293 K, kPa	1,9 < 0,1 kPa ở 423 K	0,1 đến 0,13	<0,1
Độ nhớt động lực học, kg/m.s	0,022 đến 0,024	0,003 1 đến 0,003 4 tại 373 K 0,014 ở 313 K[c]	0,026 0,002 5 đến 0,003 8 ở 313 K
Độ nhớt động học, mm^2/s	—	3,8 đến 4,2 ở 373 K	3,0 đến 4,5 ở 313 K
Chỉ số khúc xạ/bước sóng, nm	1,450/650 1,452/600 1,4535/550 1,4545/500 1,4585/450 1,475/400	(1,455 6[c])	(1,466[c])

[a] US Patents 5,059,349, 5,059,352, and 5,076,965 mô tả và giới hạn sử dụng PAO để thử nghiệm phin lọc. Các tính chất vật liệu của PAO đã nêu trong tiêu chuẩn của Nhật Bản Japan JACA số 37-2001 và ISO 14644-3.

[b] CAS #, số đăng ký dịch vụ ký hiệu hóa học, các chất đã có ký hiệu hóa học của Hiệp hội hóa học Mỹ.

[c] Dữ liệu về "Emery 3004" là một ví dụ cụ thể của PAO.

Nguồn: Crosby, David W., *Nồng được tạo ra bởi nhà chế tạo vòi phun Laskin, so sánh các vật liệu thay thế và DOP, Hội nghị làm sạch không khí nguyên tử DOE.NRC lần thứ 21.*

4.2 Tạo sol khí đơn phân tán

4.2.1 Phương pháp ngưng tụ

Các phương pháp ngưng tụ được ưa dùng hơn cho việc tạo sol khí đơn phân tán, nghĩa là các hạt được tạo ra bằng sự ngưng tụ từ pha hơi. Cần phân biệt giữa ngưng tụ không đồng nhất và đồng nhất.

4.2.1.1 Ngưng tụ không đồng nhất

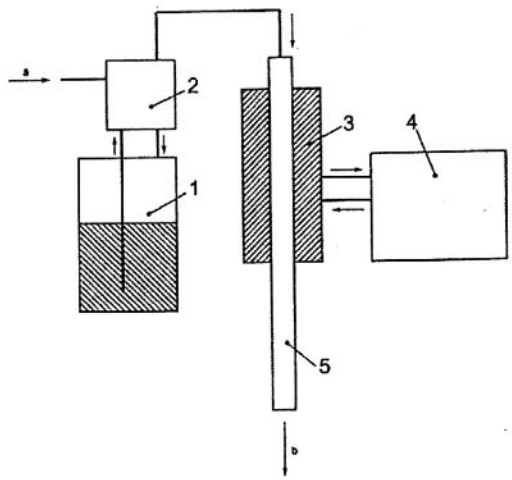
Trong trường hợp ngưng tụ không đồng nhất, hơi ở mức siêu bão hòa tương đối thấp ngưng tụ thành những hạt rất nhỏ mà những hạt này đã có sẵn, được gọi là hạt nhân ngưng tụ. Sự phân bố cỡ hạt của sol khí tạo thành có độ lệch chuẩn hình học từ σ_g = 1,05 đến σ_g = 1,15.

Một kiểu máy tạo sol khí sử dụng nguyên tắc ngưng tụ không đồng nhất và máy tạo sol khí này thích hợp cho phin lọc thử nghiệm theo tiêu chuẩn này là máy Rapaport-Weinstock (xem Hình 1).

4.2.1.1.1 Máy Rapaport-Weinstock

CHÚ THÍCH: Xem Hình 1.

Chất sol khí là chất tinh khiết hoặc trong dung dịch được phun sương qua vòi phun và sau đó sol khí đa phân tán tạo thành được làm bay hơi dọc theo phần đã gia nhiệt của ống thủy tinh. Các hạt nhân còn lại trong các tạp chất của vật liệu được giữ lại.



CHÚ DẪN:

1 Ngăn chứa chất lỏng
2 Máy tạo sol khí
3 Phần làm bay hơi
4 Bộ ổn nhiệt
5 Phần ngưng tụ
[a] Khí nén
[b] Sol khí

Hình 1 – Cấu trúc của máy tạo sol khí Rapaport và Weinstock

Trong phần ngưng tụ tiếp theo, chất sol khí ngưng tụ trên các hạt nhân để tạo thành sol khí đơn phân tán (xem Tài liệu tham khảo [1]).

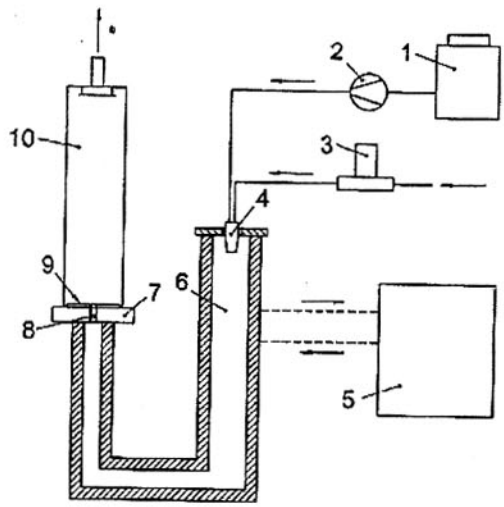
Xác định đường kính hạt của sol khí này bằng tỷ lệ pha trộn giữa chất sol khí với dung môi. Sử dụng sol khí cuối cùng chứa dung môi (ví dụ propanol) ở dạng bay hơi.

Các máy kiểu này có tốc độ tạo hạt là $10^9.s^{-1}$, đường kính hạt có thể được điều chỉnh trong khoảng từ 0,1 μm đến 1,5 μm.

4.2.1.2 Ngưng tụ đồng nhất

Ở các mức siêu bão hòa cao hơn, các cụm phân tử thể hơi hình thành tự nhiên mà không cần sự có mặt của các hạt nhân ngưng tụ và sau đó tạo thành hạt có đường kính nanomet (ngưng tụ đồng nhất). Sau đó, tạo thành các hạt lớn hơn do kết quả ngưng kết của các hạt này với hạt khác. Sự phân bố cỡ hạt tạo ra có độ lệch chuẩn $\sigma_g \sim 1,5$ là không phụ thuộc vào cỡ hạt trung bình và như vậy chỉ có thể được coi là gần như đơn phân tán. Mặt khác, tốc độ tạo hạt đạt được có thể nhiều nhất là gấp hai lần so với khả năng sử dụng sự ngưng tụ không đồng nhất (lớn hơn $10^{11}s^{-1}$).

Hình 2 trình bày cấu trúc của máy tạo sol khí ngưng tụ tia phun tự do sử dụng nguyên tắc này.



CHÚ DẪN:

1 Bình DEHS
2 Bơm
3 Bộ điều chỉnh lưu lượng
4 Bộ phun sương siêu âm
5 Bộ ổn nhiệt
6 Ống hóa hơi có bộ gia nhiệt và cách nhiệt
7 Không khí bao ngoài
8 Vòi phun
9 Tấm kim loại được thêu kết
10 Phần đông tụ
[a] Nitơ
[b] Sol khí

Hình 2 – Cấu hình máy tạo sol khí ngưng tụ tia phun tự do

Máy bơm cung cấp chất sol khí vào bộ phun sương siêu âm ở tốc độ đã định. Các giọt tương đối lớn (> 20 μm) được tạo thành sau đó được làm bay hơi trong ống đã gia nhiệt. Nồng độ của các hạt nhân còn lại thấp tới mức không ảnh hưởng đến quá trình ngưng tụ đồng nhất tiếp theo. Dòng nitơ nóng mang theo hơi đi qua vòi phun vào dòng không khí bao quanh lạnh và chảy tầng. Sự pha trộn mạnh của tia phun tự do với không khí lạnh tạo ra sự siêu bão hòa cần cho sự ngưng tụ đồng nhất.

Cỡ hạt và nồng độ hạt có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi lưu lượng thể tích của chất sol khí (DEHS), nitơ và không khí ở vỏ bao quanh.

4.2.2 Phân loại cỡ hạt

Sử dụng máy phân tích linh độ vi sai như đã mô tả trong 5.3, có thể tách phần có hầu hết các hạt có cùng linh độ điện ra khỏi sol khí đa phân tán (xem Tài liệu tham khảo [2]). Miễn là tất cả các hạt này chỉ mang điện tích đơn, khi đó phần sol khí linh độ điện đơn này cũng là đơn phân tán. Nếu cần, tách các hạt lớn hơn mang nhiều điện tích, và vì thế những hạt này có cùng linh độ điện như các hạt mang một điện tích, phải được tách ra khỏi đầu vào của các sol khí đa phân tán bằng thiết bị thích hợp.

Vì tỷ lệ của các hạt mang điện tích đơn ở trong khoảng kích thước phù hợp là nhỏ hơn 10 %, trong đó chỉ chọn khoảng kích thước hẹp, do đó nồng độ số lượng ở đầu ra của sol khí đơn phân tán thấp hơn nồng độ đầu vào với hệ số ít nhất là 100 lần. Vì vậy, phương pháp tạo ra sol khí đơn phân tán này chỉ thích hợp cho việc đo hiệu suất cỡ hạt của vật liệu lọc [xem TCVN 11487-3 (ISO 29463-3)].

Mức độ đơn phân tán đạt được bằng phương pháp này có thể được mô tả bằng độ lệch chuẩn hình học $\sigma_g < 1,1$. Tuy nhiên trong thực tế, các thông số vận hành thường được sửa đổi để tăng nồng độ hạt với độ lệch chuẩn lớn hơn.

4.3 Tạo sol khí đa phân tán

Sol khí thể lỏng đa phân tán thường được tạo ra bằng cách phun sương chất sol khí qua vòi phun kép sử dụng không khí nén.

Sau đó, dùng bộ tách quán tính dạng tấm ngăn hoặc máy tách kiểu xoáy (kiểu xyclon) để lắng đọng các hạt lớn hơn và làm giảm dải phân bố cỡ hạt. Độ lệch chuẩn hình học của sự phân bố tạo ra nằm trong khoảng từ 1,6 đến 2,5. Đường kính hạt có thể bị ảnh hưởng ở mức độ thấp do thay đổi áp suất vận hành của vòi phun. Ảnh hưởng lớn hơn lên cỡ hạt thường đạt được bằng cách hòa tan sol khí trong dung môi dễ bay hơi (ví dụ: propanol) trước khi phun sương. Khi dung môi bay hơi, dung môi để lại những hạt mà kích thước của những hạt này bị chi phối bởi tỷ lệ giữa chất sol khí so với dung môi đã được sử dụng.

Sử dụng một số máy tia phun song song để tăng tốc độ tạo hạt là một cách tương đối đơn giản.

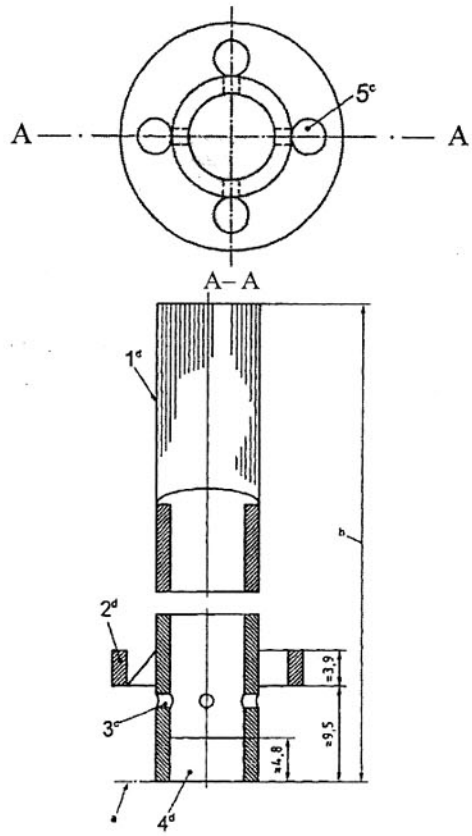
Tốc độ tạo hạt tối đa có thể đạt được bằng cách sử dụng một vòi phun là $5 \times 10^{10} s^{-1}$.

CHÚ THÍCH: Bộ phun sương dạng tia điển hình được mô tả trong Tài liệu tham khảo [3].

Nơi nào cần có lượng sol khí cao hơn TCVN 11487-5 (ISO 29463-5) thì nên dùng máy tạo sol khí vòi phun Laskin.

4.3.1 Máy tạo sol khí đa phân tán vòi phun Laskin

Hệ thống tạo sol khí vòi phun Laskin sử dụng vòi phun để tạo ra sol khí đa phân tán từ chất lỏng, như DOP, DEHS hoặc PAO và sử dụng nguồn khí nén (xem thêm Tài liệu tham khảo [4]). Máy này tạo ra sol khí có đường kính khối lượng trung bình khoảng 0,45 μm, có đường kính hình học ánh sáng tán xạ khoảng 0,72 μm và có phân bố kích thước giọt ánh sáng tán xạ trung bình như đã nêu trong Hình 3 (xem Tài liệu tham khảo [4]).



CHÚ DẪN:

1 Ống đồng, đường kính ngoài 9,5 mm (3/8 in) x độ dày thành ống 1,7 mm (0,065 in)

2 Vòng đệm bằng đồng, đường kính ngoài 15,9 mm (5/8 in), được hàn bằng bạc vào ống 1

3 Lỗ hướng tâm đường kính 1 mm (0,04 in) cách xa 1,6 rad (90 °); mép trên của lỗ chỉ vừa chạm vào đáy của vòng đệm (cần 4 lỗ)

4 Nút đồng – có hàn bạc (thấu qua đầy đủ)

5 Các lỗ dọc theo ống đường kính 2 mm (0,08 in) gần với với các lỗ hướng tâm (cần 4 lỗ)

a Khoảng 12,7 mm (1/2 in) trên đáy hộp.

b Chiều dài có thể thay đổi phù hợp khi lắp đặt.

c Dung sai ± 0,05 mm đối với các kích thước trên các lỗ.

d Dung sai ± 0,51 mm đối với tất cả các kích thước khác.

Hình 3 – Chi tiết của thiết bị vòi phun Laskin[4]

4.3.2 Máy tạo sol khí Laskin – Kiểm tra xác nhận các đặc điểm áp suất lưu lượng

Các quy trình chi tiết có trong IEST RP CC013. Đồng thời cũng bao gồm cả phương pháp lấy mẫu trọng lực bổ sung để xác định kiểm chứng thực tế tính theo microgam trên lít tạo ra từ mỗi vòi phun Laskin.

4.4 Trung hòa điện tích của sol khí

Bằng cách lọc, các hạt tích điện được loại ra hiệu quả hơn so với các hạt không tích điện, nên sử dụng các hạt trung hòa về điện cho phin lọc thử nghiệm. Trạng thái trung hòa điện tích nhìn chung được hiểu là trạng thái cân bằng tĩnh đạt được khi các hạt sol khí tích điện tụ lại với nhau với một lượng vừa đủ các ion khí dương và âm. Điều này thường được tiến hành bằng cách ion hóa khí mang của sol khí sử dụng nguồn phóng xạ hoặc bằng phóng điện vầng quang. Điện tích dư ở mức độ thấp trong sol khí sau khi trung hòa điện tích này có thể được bỏ qua đối với quá trình lọc.

Các hạt sol khí trở nên tích điện khi có bộ tách điện trong quá trình sản xuất (ví dụ phun sương). Điều này xảy ra trong trường hợp khi phun sương các chất lỏng phân cực như nước (hoặc đến một mức độ thấp hơn như propanol). Trong trường hợp phun sương bằng DEHS hoặc DOP tinh khiết, tương đối ít điện tích xảy ra. Các quá trình ngưng tụ mà không có phun sương trước khi tạo ra các sol khí hầu như không tích điện, thì không cần phải trung hòa điện tích.

Đối với phin lọc thử nghiệm cần đảm bảo trung hòa điện tích của các sol khí có nồng độ cao, các bộ trung hòa điện tích cần có nồng độ ion đủ cao. Các sol khí cũng phải được giữ trong khí quyển ion hóa một khoảng thời gian đủ dài (xem Tài liệu tham khảo [5]).

4.5 Thông số tính năng tối thiểu với máy tạo sol khí

Áp dụng các thông số sau đây:

a) Máy tạo sol khí cho vật liệu thử nghiệm:

   1) Tốc độ tạo hạt từ 10^6 s^{-1} đến 10^8 s^{-1},

   2) Đường kính hạt có thể điều chỉnh trong khoảng từ 0,04 µm đến 1,0 µm;

b) Máy tạo sol khí cho thử nghiệm các phần tử lọc;

   1) Tốc độ tạo hạt từ 10^8 s^{-1} đến 10^{11} s^{-1},

   2) Đường kính hạt có thể điều chỉnh trong khoảng từ 0,08 µm đến 1,0 µm;

4.6 Các nguồn sai số

Cần phải chú ý để áp suất của nguồn cấp khí cho các máy tạo sol khí (không khí nén, nitơ) giữ không đổi. Khí cấp phải không có các hạt và có độ ẩm đủ thấp.

Vòi phun của các bộ phun sương có thể dần dần trở nên bị tắc nghẽn, dẫn đến những thay đổi không lường trước được về trong đặc tính của máy phun sương.

Các thiết bị ngưng tụ nhạy với sự thay đổi nhiệt độ dọc theo ống ngưng đi lên, ví dụ, do thông gió. Các chất sol khí sau đó chịu nhiệt độ cao hơn trong thời gian dài có thể bị thay đổi tính chất vật lý và hóa học, do đó chúng cần được thay đổi theo những khoảng thời gian đều đặn.

4.7 Bảo dưỡng và kiểm tra

Máy tạo sol khí phải được bảo dưỡng thường xuyên theo hướng dẫn của nhà sản xuất.

Phải sử dụng các hệ thống đo thích hợp theo Điều 5 để kiểm tra sự phân bố cỡ hạt và sự ổn định của tốc độ tạo hạt theo các khoảng thời gian đã quy định trong Điều 6.

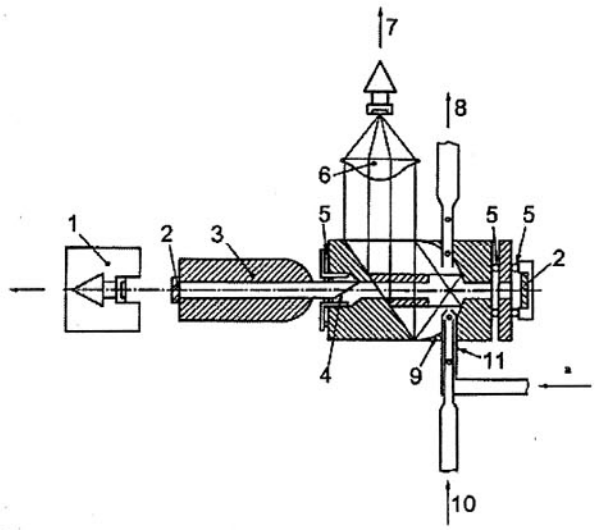
5 Thiết bị đo

5.1 Máy đếm hạt quang học

5.1.1 Vận hành

Trong máy đếm hạt quang học, các hạt được dẫn riêng qua thể tích đo được rọi sáng mạnh. Khi đi qua thể tích đo, các hạt tán xạ ánh sáng, được phát hiện ở một góc không gian đã định bằng detector ảnh và được chuyển thành xung điện. Mức độ xung này tương ứng với cỡ hạt và số lượng xung trên đơn vị thời gian với nồng độ hạt trong một thể tích không khí được phân tích.

Hình 4 đưa ra một ví dụ về cấu trúc chung của máy đếm hạt quang học với một nguồn ánh sáng laser



CHÚ DẪN:

1 Detector tham chiếu
2 Gương laser
3 Laser He-Ne
4 Cửa sổ Brewster
5 Vòng đệm
6 Thấu kính bán cầu
7 Detector ảnh
8 Đầu ra của sol khí
9 Gương parabol
10 Đầu vào của sol khí
11 Vòi phun sol khí
[a] Không khí bao quanh

Hình 4 – Cấu trúc của một máy đếm hạt quang học – Ví dụ

5.1.2 Các thông số tính năng tối thiểu

Áp dụng các thông số sau đây.

a) Các máy đếm hạt quang học phải tuân thủ các yêu cầu trong ISO 21501-1 và/hoặc ISO 21501-4.

b) Dải đo cỡ hạt từ 0,1 µm đến 2,0 µm (đối với hiệu suất đếm 50 %) với ít nhất một kênh có cỡ hạt trung bình nhỏ hơn cỡ hạt MPPS của phin lọc thử nghiệm; tốt nhất là bằng một nửa của cỡ hạt của MPPS.

c) Số lượng tối thiểu của các loại cỡ hạt từ 0,1 µm đến 0,3 µm:

   1) Để thử nghiệm các vật liệu lọc, sử dụng năm loại cỡ hạt;

   2) Để thử nghiệm các phần tử lọc, sử dụng hai loại cỡ hạt. Theo quan điểm thực tế, các máy đếm có sẵn trên thị trường với các dải cỡ hạt từ 0,1 đến 0,2 và từ 0,2 đến 0,3 có thể đáp ứng yêu cầu này.

d) Tốc độ đếm "zero" < 1 min^{-1}.

5.1.3 Nguồn sai số và sai số giới hạn

Xác định cỡ hạt bằng máy đếm hạt quang học có đường kính không khí tương đương được xác định bằng tán xạ ánh sáng (xem Tài liệu tham khảo [7]), sự tán xạ ánh sáng không chỉ phụ thuộc vào cỡ hạt hình học mà còn phụ thuộc cả vào hình dạng của hạt và tính chất quang học của hạt. Bản chất của sự phụ thuộc này thay đổi tùy theo kiểu cấu hình của máy đếm hạt. Có thể so sánh kết quả đo giữa hai máy đếm hạt khác nhau chỉ khi các máy này được hiệu chuẩn về vật liệu hạt còn nghi ngờ.

Nếu nồng độ hạt quá cao, thì sai số xảy ra gọi là trùng hợp ngẫu nhiên. Điều này có nghĩa là có một số hạt đi vào thể tích đo tại cùng một thời điểm và được hiểu là một hạt lớn hơn. Phải có biện pháp pha loãng thích hợp (xem 5.5) để đảm bảo rằng không vượt quá nồng độ tối đa. Nồng độ tối đa đối với một máy đếm hạt cụ thể có thể được xác định bằng cách tạo ra sol khí với tốc độ không đổi vào một thể tích không khí đã biết. Nồng độ cần cung cấp khoảng 20 000 số đếm trên phút đến 30 000 số đếm trên phút trong một thể tích đo chính xác của không khí. Khi nồng độ đã được xác định, thì tiếp tục tạo ra các hạt tương tự nhưng giảm thể tích dòng khí. Sử dụng Công thức (1), so sánh nồng độ mới đo được cao hơn so với nồng độ đã tính toán.

$$C_c \times V_c = C_m \times V_m \quad (1)$$

Trong đó:

C_c là nồng độ tính được;

V_c là thể tích tính được;

C_m là nồng độ đo được;

V_m là thể tích đo được.

Nếu các giá trị đo được và tính được tương ứng, thì lặp lại quy trình với lưu lượng dòng không khí mới và thấp hơn. Tiếp tục thực hiện quy trình cho đến khi nồng độ đo được là 95 % nồng độ tính được. Đây là nồng độ sol khí tối đa mà có thể đo được bằng máy đếm hạt với sự hao hụt trùng hợp ngẫu nhiên ≤ 5 %.

Lưu lượng kế trên máy đếm hạt phải được hiệu chuẩn theo tiêu chuẩn đã có.

5.1.4 Bảo dưỡng và kiểm tra

Các máy đếm hạt quang học phải được bảo dưỡng định kỳ và phải được kiểm tra bởi người có chuyên môn. Việc này cũng bao gồm cả việc hiệu chuẩn sử dụng sol khí PSL (polystyrene latex).

Việc kiểm tra sự vận hành đúng đắn của người sử dụng phải bao gồm cả kiểm tra lưu lượng, cũng như kiểm tra thường xuyên tốc độ đếm "zero" bằng cách gắn một phin lọc thích hợp phía sau phin lọc loại ISO 35 H hoặc cao hơn.

Nếu có sẵn một số máy đếm, thì có thể thực hiện việc kiểm tra vận hành thêm nữa bằng các phép đo so sánh sol khí thử nghiệm.

5.1.5 Hiệu chuẩn

Thường sử dụng hạt PSL để hiệu chuẩn máy đếm hạt quang học (xem thêm tài liệu tham khảo [8] và Tài liệu tham khảo [9]). Cách khác, có thể sử dụng vật liệu sol khí thể lỏng (ví dụ: DEHS) để hiệu chuẩn, dùng máy tạo sol khí có lỗ tiết lưu rung (xem thêm Tài liệu tham khảo [10]) hoặc thiết bị tạo cỡ hạt sol khí độc lập.

Việc xác định hiệu suất đếm yêu cầu sự tạo ra các sol khí đơn phân tán có nồng độ đã biết (ví dụ: với sự hỗ trợ của máy phân tích linh độ điện vi sai và điện kế sol khí hoặc máy đếm hạt ngưng tụ (xem Tài liệu tham khảo [2]), do đó, thường chỉ thực hiện điều này trong phòng thử nghiệm sol khí được trang bị đầy đủ. Cách khác, cũng có thể sử dụng sol khí PSL để thử nghiệm hiệu suất đếm bằng các phép đo so sánh với một máy đếm hạt quang học khác. Trong trường hợp này, giới hạn dưới của máy đếm hạt so sánh phải thấp hơn so với giới hạn dưới của máy đếm được hiệu chuẩn.

5.2 Máy đếm hạt ngưng tụ

5.2.1 Vận hành

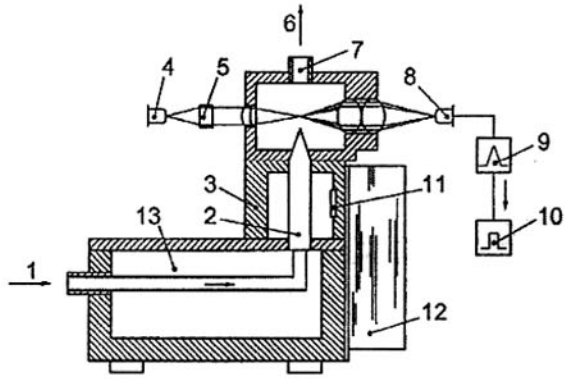
Trong máy đếm hạt ngưng tụ (CPC), các hạt quá nhỏ để đo quang học trực tiếp được tăng kích thước lớn hơn bằng cách ngưng tụ bằng hơi nước trước khi được đo tán xạ ánh sáng hoặc dập tắt ánh sáng. Nồng độ của các giọt tạo thành được xác định bằng cách đếm hoặc bằng đo trắc quang. Tuy nhiên, sử dụng phương pháp này sẽ không có thông tin về cỡ hạt ban đầu bị hao hụt.

Cần có sự siêu bão hòa để ngưng tụ hơi nước có thể được tạo ra cho các CPC với dòng khí liên tục bằng hai cách.

Thứ nhất, trước hết sol khí được bão hòa bằng hơi nước ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ xung quanh và sau đó được làm mát bằng cách tiếp xúc với thành ống lạnh (làm mát bên ngoài) (xem thêm Tài liệu tham khảo [11]). Hình 5 đưa ra cấu trúc của thiết bị này. Dòng sol khí đi qua ống mà trong ống đó sol khí được bão hòa bằng hơi butanol và sau đó đi qua ống ngưng tụ mà trong ống đó sol khí được làm mát từ bên ngoài. Các giọt tạo thành sau đó được ghi lại bằng bộ cảm biến ánh sáng tán xạ.

Thứ hai, sol khí ở nhiệt độ xung quanh được trộn với dòng không khí bão hòa hơi không chứa hạt và ấm hơn. Sự pha trộn này dẫn đến siêu bão hòa và ngưng tụ (xem thêm Tài liệu tham khảo [12]). Nguyên tắc này được thể hiện trong Hình 6.

Ở đây sol khí được dẫn trực tiếp đến vòi trộn bằng con đường ngắn nhất. Các giọt propylen glycol được tạo thành dọc theo phần ngưng tụ, được ghi lại lần nữa bằng bộ cảm biến ánh sáng tán xạ.



CHÚ DẪN:

1 Lối vào sol khí

2 Ống ngưng tụ

3 Cách nhiệt

4 Đi ốt laser

5 Hệ thấu kính

6 Lối ra sol khí

7 Vòi phun

8 Detector quang

9 Tín hiệu tương tự

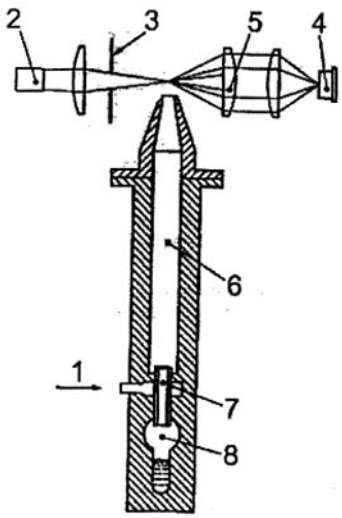
10 Tín hiệu số

11 Phần tử của pin nhiệt điện

12 Bình tản nhiệt (đối lưu tự nhiên)

13 Ống bão hòa và bình chứa cồn

Hình 5 – Cấu trúc của máy đếm hạt ngưng tụ sử dụng nguyên tắc làm mát bên ngoài



CHÚ DẪN:

1 Lối vào sol khí

2 Đi ốt laser

3 Lỗ

4 Detector quang

5 Bẫy ánh sáng

6 Phần ngưng tụ

7 Vòi phun trộn

8 Lối vào của hơi

Hình 6 – Cấu trúc của bộ đếm hạt ngưng tụ sử dụng nguyên tắc trộn

5.2.2 Các thông số tính năng tối thiểu

Áp dụng các thông số sau đây:

– Dải đo cỡ hạt từ 50 nm đến 0,8 µm (đối với hiệu suất đếm 100 %);

– Tốc độ đếm "zero": < 1 min^{-1}.

5.2.3 Các nguồn sai số và sai số giới hạn

Nếu một CPC được sử dụng trong phương thức đếm, thì việc xác định nồng độ hạt phụ thuộc chủ yếu vào độ chính xác của lưu lượng thể tích lấy mẫu. Tùy thuộc vào phương pháp đo hoặc phương pháp kiểm soát được sử dụng, sai số nằm trong khoảng từ 2 % đến 5 %.

Khi vận hành theo cách đo trắc quang, mối tương quan giữa nồng độ số lượng và tín hiệu đầu ra cũng phụ thuộc vào kích thước của giọt được tạo thành. Nên tránh vận hành theo phương thức đo trắc

quang vì trong trường hợp cực đoan, sự không chính xác của phép đo có thể lớn đến 100 % (xem thêm Tài liệu tham khảo [13] và Tài liệu tham khảo [14]).

5.2.4 Bảo dưỡng và kiểm tra

Mức của chất dạng hơi trong bình chứa phải được kiểm tra thường xuyên. Chất bay hơi phải được thay đổi định kỳ, vì nước tích tụ trong đó và làm thay đổi tính chất nhiệt động của chúng.

Việc kiểm tra sự vận hành đúng đắn phải bao gồm cả kiểm tra lưu lượng, cũng như kiểm tra định kỳ tốc độ đếm "zero" bằng cách gắn phin lọc thích hợp phía trước loại ISO 35 H hoặc cao hơn.

Nếu có sẵn một số loại máy đếm, có thể tiếp tục kiểm tra vận hành bằng các phép đo so sánh của sol khí thử nghiệm.

5.2.5 Hiệu chuẩn

Máy đếm hạt ngưng tụ vận hành theo phương thức đếm có thể được coi là phương pháp đo độc lập mà gần như không cần phải hiệu chuẩn. Chỉ cần kiểm tra lưu lượng thể tích lấy mẫu theo thời gian bằng cách so sánh, ví dụ, với lưu lượng kế phao.

Việc hiệu chuẩn CPC theo phương thức đo trắc quang và việc xác định hiệu suất đếm của máy yêu cầu sự tạo ra sol khí đơn phân tán có nồng độ đã biết (sử dụng máy phân tích linh độ vi sai và điện kế sol khí; xem Tài liệu tham khảo [2]) và thường chỉ có thể thực hiện khả thi trong phòng thí nghiệm sol khí được trang bị đầy đủ.

5.3 Máy phân tích linh độ vi sai

5.3.1 Vận hành

Trong máy phân tích linh độ vi sai (DMA), các hạt có thể được phân loại theo linh độ điện của chúng. Linh độ điện của hạt là một hàm phụ thuộc vào cỡ hạt và số điện tích trên hạt. Hình 7 đưa ra cấu trúc của DMA.

Máy phân tích linh độ điện bao gồm hai điện cực hình trụ đồng tâm. Các sol khí đa phân tán được phân loại đầu tiên dẫn đến trạng thái tích điện đã định bằng cách gắn các ion khí và cuối cùng được đưa qua một khe tròn hẹp dọc theo điện cực bên ngoài đi vào DMA. Không khí không có hạt và đẳng tốc được đưa vào dọc theo điện cực bên trong. Dưới ảnh hưởng của điện trường giữa các điện cực, các hạt có một điện tích dịch chuyển vuông góc với hướng của dòng khí về phía điện cực trung tâm, trong khi các hạt có điện tích trái dấu bị hút vào điện cực bên ngoài. Ở phía cuối của các điện cực bên trong là một khe hẹp mà qua đó lưu lượng hạt từng phần có linh độ điện đã định được hút ra.

Việc chọn phân bố cỡ hạt thích hợp của sol khí sơ cấp đa phân tán phải đảm bảo tất cả các hạt này chỉ có cùng điện tích cùng dấu và do đó có cùng kích thước.

5.3.2 Thông số tính năng tối thiểu

Áp dụng các thông số sau:

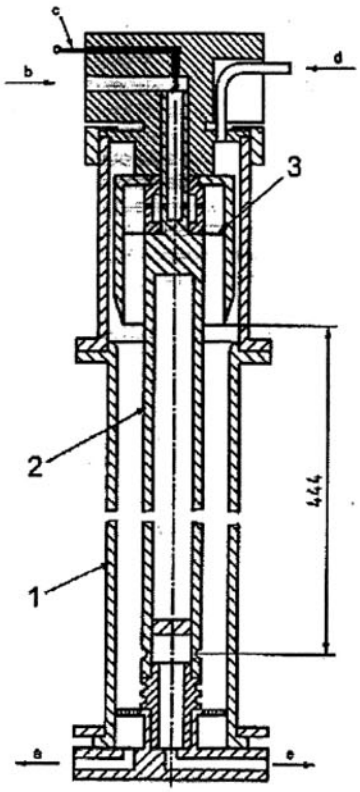
– Dải cỡ hạt từ 10 nm đến 0,8 μm;

– Độ lệch chuẩn hình học của sol khí gần như đơn phân tán < 1,3.

5.3.3 Nguồn sai số và sai số giới hạn

Nếu sự phân bố cỡ hạt sol khí sơ cấp là không đáp ứng chính xác với cỡ hạt sol khí đơn phân tán đầu ra, thì trong dải cỡ hạt lớn hơn 0,1 μm có thể có một tỷ lệ đáng kể các hạt lớn hơn với nhiều loại điện tích trong sol khí đầu ra.

Sự rò rỉ và lưu lượng thể tích được điều chỉnh không đúng có thể dẫn đến độ trôi khỏi cỡ hạt đã chọn và không đủ độ đơn phân tán.



CHÚ DẪN:

1 Điện cực bên ngoài
2 Điện cực trung tâm
3 Máy tạo dòng chảy tầng
a Không khí dư
b Không khí bao quanh
c Điện áp cao
d Sol khí đa phân tán
e Sol khí đơn phân tán

Hình 7 – Cấu trúc của máy phân tích linh độ vi sai

5.3.4 Bảo dưỡng và kiểm tra

Vì các hạt lắng đọng trên các điện cực trong quá trình vận hành, nên các điện cực phải được làm sạch định kỳ.

Sau mỗi lần làm sạch, thiết bị phải được thử nghiệm về rò rỉ theo hướng dẫn của nhà sản xuất. phải kiểm tra định kỳ việc hiệu chuẩn các lưu lượng kế không khí bên trong. Việc điều chỉnh chính xác lưu lượng thể tích trong thiết bị là quan trọng nhất cho sự vận hành chính thức. Nếu quan sát thấy các hạt tại các lối ra của thiết bị khi không có chênh lệch tiềm ẩn giữa các điện cực, thì phải kiểm tra lưu lượng thể tích.

5.3.5 Hiệu chuẩn

Có thể tính đường kính đầu ra của sol khí đơn phân tán từ hình dạng đã biết của thiết bị, lưu lượng thể tích và chênh lệch điện thế được áp dụng. Vì lý do này, thiết bị thường được sử dụng làm chuẩn hiệu chuẩn. Cần kiểm tra định kỳ chức năng chính thức của thiết bị bằng cách sử dụng phin lọc tham chiếu có hiệu suất đã biết với cỡ hạt cụ thể. Nếu cho rằng thiết bị không hoạt động đúng cách, thì phải so sánh với các thiết bị khác cùng loại, hoặc sử dụng các sol khí PSL (xem Tài liệu tham khảo [8] và Tài liệu tham khảo [15]) để hiệu chuẩn thiết bị.

5.4 Hệ thống phân tích cỡ hạt trên cơ sở phân tích linh độ vi sai

5.4.1 Vận hành

Các máy phân tích cỡ hạt linh độ vi sai (DMPS) được mô tả trong điều này liên quan đến tổ hợp của DMA và CPC. Nếu nồng độ số lượng của sol khí đơn phân tán được đo tại đầu ra của DMA với một số điện áp của điện cực trung tâm phù hợp, thì sự phân bố cỡ hạt sol khí đa phân tán ban đầu có thể tính được nếu biết sự phân bố điện tích trên hạt sol khí. Quá trình đo của DMPS được kiểm soát bằng cùng một máy tính mà máy này có thể đánh giá được các dữ liệu đo.

5.4.2 Thông số tính năng tối thiểu

Áp dụng các thông số sau:

a) Lưu lượng thể tích lấy mẫu > 0,3 L/min;

b) Dải đo:

1) Đối với cỡ hạt từ 10 nm đến 0,8 μm,

2) Đối với nồng độ hạt từ 10^3 cm^{-3} đến 10^6 cm^{-3}.

5.4.3 Các nguồn sai số và sai số giới hạn

Để sử dụng phương pháp đo này, cần biết được phân bố điện tích của sol khí. Cơ chế tích điện của các hạt có thể bị ảnh hưởng bởi thành phần của khí mang (ví dụ: các phân tử cồn) nhưng cũng bị ảnh hưởng bởi nồng độ của các hạt khi nồng độ này quá cao.

5.4.4 Bảo dưỡng và kiểm tra

Xem 5.2.4 (CPC) và 5.3.4 (DMA).

5.4.5 Hiệu chuẩn

Xem 5.2.5 (CPC) và 5.3.5 (DMA).

5.5 Hệ thống pha loãng

5.5.1 Vận hành

Các hệ thống pha loãng làm giảm nồng độ của sol khí đến mức đã định bằng cách bổ sung khí không chứa hạt (thường là không khí). Thông thường, các hệ thống pha loãng lấy mẫu một thể tích nhỏ chính xác của sol khí thô. Thể tích mẫu còn lại của máy đếm đang được sử dụng lấy từ không khí được lọc bằng HEPA. Cơ chế pha loãng đối với dải cỡ hạt liên quan phải không phụ thuộc vào cỡ hạt và phải không đổi theo thời gian.

Không khí sạch có thể thu được bằng cách lọc một phần dòng sol khí. Phần không được lọc thường được đưa vào dọc theo ống mao quản và độ giảm áp trong ống mao quản này được sử dụng để kiểm tra lưu lượng thể tích (xem Tài liệu tham khảo [15]).

Một khả năng khác là đưa không khí không chứa hạt bên ngoài vào, ví dụ, từ đường ống không khí nén.

Một số hệ thống vận hành theo nguyên tắc phun. Dòng không khí sạch tạo ra sự giảm áp tại nút thắt mà nút này kéo sol khí đã pha loãng vào (xem thêm Tài liệu tham khảo [17]). Tỷ lệ pha loãng của các hệ thống này chỉ được xác định bằng hình dạng của kết cấu, với nguyên tắc và không thể bị thay đổi bởi người vận hành.

Một lựa chọn tiếp theo là sự pha trộn có kiểm soát của dòng sol khí với dòng không khí sạch mà không sử dụng hiệu ứng phun. Lưu lượng thể tích sol khí trong trường hợp này phải được xác định bằng cách lấy cân bằng với các lưu lượng thể tích khác. Tỷ lệ pha loãng có thể được điều chỉnh tự do trong các giới hạn nhất định.

Bằng cách sử dụng nhiều hệ thống pha loãng thành một hệ thống kiểu ghép tầng, có thể đạt được hệ số pha loãng cao (đến 10 000) với mức chính xác cao (xem thêm Tài liệu tham khảo [16] và Tài liệu tham khảo [18]).

5.5.2 Thông số tính năng tối thiểu

Áp dụng các thông số sau:

a) Điều chỉnh lưu lượng thể tích đối với thiết bị đo có liên quan;

b) Tỷ lệ pha loãng từ 10 đến 10 000 tùy thuộc vào nồng độ khí ban đầu và thiết bị đo được sử dụng;

c) Độ chính xác: tỷ lệ pha loãng 10 %;

d) Tốc độ đếm "zero": < 10 min^{-1} (được đo bằng phin lọc tuyệt đối ở cửa nạp của hệ thống pha loãng).

5.5.3 Các nguồn sai số và sai số giới hạn

Sự tắc nghẽn các ống mao quản và các vòi phun có thể làm thay đổi tỷ lệ pha loãng.

5.5.4 Bảo dưỡng và kiểm tra

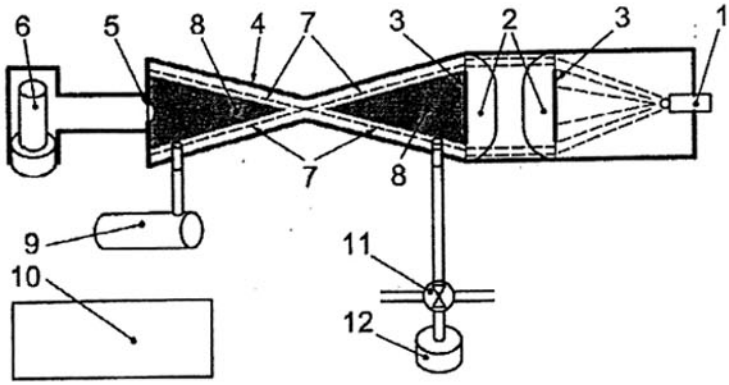
Phin lọc đã lắp đặt phải được thay thế sau một khoảng thời gian đã quy định bởi nhà sản xuất. Nếu khi thử nghiệm hệ thống với không khí không chứa hạt, mà tìm thấy các hạt "tạo ra", thì phải làm sạch hệ thống pha loãng. Tỷ lệ pha loãng phải được kiểm tra định kỳ, ví dụ bằng cách đo nồng độ hạt tại cửa vào và lối ra của giai đoạn pha loãng.

5.6 Quang kế sol khí

Quang kế sol khí là thiết bị đo sol khí dựa trên sự tán xạ ánh sáng. Quang kế là thiết bị được chấp nhận cho phương pháp thay thế để thử sự rò rỉ của các phin lọc nhóm H như đã quy định trong TCVN 11487-4:2016 (ISO 29463-4:2011), Phụ lục B. Không giống như máy đếm hạt đơn lẻ, quang kế đo nồng độ sol khí tổng từ cường độ tán xạ ánh sáng của toàn bộ sol khí thay vì các hạt riêng lẻ. Vì cường độ ánh sáng tán xạ do sol khí thay đổi xấp xỉ với đường kính hạt lập phương (trong dải cỡ hạt có thể xác định), thiết bị này thường bị nhầm lẫn giả định tới phép đo khối lượng hoặc thể tích sol khí. Tuy nhiên, do mối quan hệ này với thể tích hạt, các thiết bị này thường được hiệu chuẩn so với phép đo trọng lực của sol khí có cỡ hạt đã biết. Vì vậy, thiết bị này thường sử dụng khối lượng sol khí thay cho sử dụng cỡ hạt để thử nghiệm tính năng phin lọc. Như được chú thích trong Phụ lục A, việc sử dụng sự phân bố cỡ hạt theo khối lượng và theo đếm trọng lượng thay thế cho nhau dẫn đến kết quả sai.

5.6.1 Vận hành

Quang kế sol khí lấy mẫu các nồng độ khối phía trước và sau phin lọc của phép thử phin lọc và chuyển đổi số đọc vào thành phần trăm thấu qua trực tiếp. Không khí không chứa hạt được đi qua buồng ánh sáng tán xạ thuận hướng khi thiết bị được cân bằng điện với sự chú ý tới các tia sáng phân tán ngẫu nhiên. Đường nền đáp ứng được đặt làm cơ sở để so sánh, hoặc từ nồng độ trước phin lọc được lấy mẫu hoặc sử dụng sơ đồ tham chiếu nội bộ. Nồng độ trước phin lọc được đặt cho dải mong đợi từ 10 µl/L đến 100 µl/L của kiểu của các hạt sol khí đa phân tán trong dầu đã biết. Khi đã đặt đường nền, mọi số đọc thấu qua phía sau phin lọc được biểu thị bằng phần trăm liên quan đến đường nền này. Dải nồng độ đo từ 100 % đến 0,000 1 %. Quang kế sol khí có thể sử dụng một số sol khí trong dầu, miễn là quang kế sol khí đã được hiệu chuẩn so với hoặc sol khí đó hoặc theo nhà sản xuất đã ban hành các hệ số hiệu chỉnh đã biết đối với các sol khí thay thế. Vì thiết bị đo nồng độ khối lượng của các hạt, cỡ hạt, hình dạng hoặc màu sắc của sol khí là không quan trọng, miễn là có đủ số lượng cần phát hiện. Hình 8 đưa ra cấu trúc của quang kế sol khí.



CHÚ DẪN:

1 Nguồn sáng

2 Thấu kính mục tiêu

3 Cữ chắn ánh sáng

4 Buồng quang học

5 Thấu kính hội tụ

6 Detector của bộ nhân quang

7 Phễu ánh sáng

8 Phễu tối

9 Bơm chân không

10 Mạch đo và bộ xử lý điện tử

11 Van chọn dòng khí, trước và sau phin lọc, toàn bộ

12 Phin lọc HEPA bên trong

Hình 8 – Cấu trúc của quang kế sol khí

5.6.2 Thông số tính năng tối thiểu

Áp dụng các thông số sau:

a) Lưu lượng thể tích lấy mẫu: 28,3 L/min ± 10 %;

b) Dải đo: 0,000 1 µg PAO trên lít không khí, với nồng độ trước phin lọc từ 10 µg/L đến 100 µg/L;

c) Độ chính xác: 1 % của toàn thang đo thập tiến hoặc thang đo được sử dụng;

d) Độ nhạy/độ phân giải: 0,001 µg/L;

e) Cỡ hạt có thể phát hiện được khoảng 0,1 µm và lớn hơn.

5.6.3 Các nguồn sai số và giới hạn sai số

Vì các quang kế sol khí là các thiết bị đo khối lượng, nên chúng bị phụ thuộc hoàn toàn vào việc nhận nồng độ sol khí trước phin lọc. Nồng độ sol khí dưới 10 µg/L có thể tạo ra vấn đề về tín hiệu ồn ngoại lai về phía đầu thấp hơn của dải vận hành 0,0001 %. Buồng quang học chủ yếu dùng để thu gom các vật chất hạt có cỡ hạt lớn rơi ra khỏi dòng không khí. Vật liệu hạt được bẫy lại trong buồng có thể phản chiếu ánh sáng đến mạch phát hiện, dẫn đến số đọc thấu qua bị lỗi gián đoạn. Sự rò rỉ của hệ thống lấy mẫu có thể dẫn đến số đọc thấu qua sai.

5.6.4 Bảo dưỡng và kiểm tra

Đầu đo và lấy mẫu thủ công phải được kiểm tra hàng ngày về rò rỉ. Màn hình bẫy của hệ thống lấy mẫu phải được kiểm tra và được làm sạch hàng ngày hoặc khi cần. Quang kế sol khí cần duy trì số đọc ổn định 0,000 % tại độ nhạy cao nhất đặt ở 10 µg/L lắp đặt tham chiếu nội bộ khi giám sát đến ba chữ số sau dấu phẩy (0,000) hoặc trên thang đo đặt ở 0,1 % . Độ tuyến tính của mạch phát hiện và độ ổn định có thể được thử bằng cách lấy mẫu không khí phòng chưa được xử lý sau khi đặt chuẩn nội bộ 10 µg/L và 100 µg/L tương ứng. Số đọc của hai mẫu không khí trong phòng cần phải là logarit bậc một hoặc logarit bậc mười ± 10 %.

5.6.5 Hiệu chuẩn

Các quang kế sol khí thường được hiệu chuẩn bằng cách sử dụng nguồn sol khí 100 µg/L, với các phép thử tỉ lệ lấy mẫu thử nghiệm, độ tuyến tính khuếch đại, độ chính xác và độ tuyến tính mạch phát hiện và độ ổn định.

Tùy thuộc vào bản chất của quang kế sol khí được sử dụng mà buồng quang học và hệ thống lấy mẫu khí điển hình yêu cầu tháo dỡ và làm sạch bao quát trong quá trình hiệu chuẩn để loại bỏ dầu tích tụ và các hạt bụi trên thiết bị quang học, buồng và tất cả các thành phần phía trước phin lọc của buồng quang học. Khoảng thời gian hiệu chuẩn phải được xác định dựa trên số lần sử dụng và các mức sol khí được lấy mẫu qua quang kế sol khí. Chi tiết quy trình hiệu chuẩn quang kế sol khí có trong IEST RP CC013.

5.7 Thiết bị đo áp suất vi sai

Để xác định độ giảm áp qua phin lọc, có thể sử dụng thiết bị đo áp suất để đo hoặc trực tiếp (như áp kế chất lỏng hoặc áp kế màng) hoặc đo gián tiếp (như bộ chuyển đổi đo điện hoặc khí nén). Các bộ chuyển đổi điện yêu cầu hiệu chuẩn thường xuyên.

Các thông số tính năng tối thiểu:

- Độ chính xác < 3 % giá trị đo được;
- Độ phân giải tối thiểu 2,5 Pa.

5.8 Thiết bị đo áp suất tuyệt đối

Áp suất tuyệt đối tại cửa nạp của bộ hạn chế có thể được đo bằng cách sử dụng khí áp kế thủy ngân, khí áp kế hộp hoặc khí áp kế với cảm biến/bộ chuyển đổi điện.

Các thông số tính năng tối thiểu:

- Dải đo từ 90 kPa đến 120 kPa;
- Độ chính xác ± 0,6 kPa;
- Độ phân giải tối thiểu 5 Pa.

5.9 Nhiệt kế

Nhiệt độ có thể được xác định bằng cách sử dụng một nhiệt kế lỏng hoặc nhiệt kế có cảm biến/bộ chuyển đổi điện (xem Tài liệu viện dẫn [19]).

Các thông số tính năng tối thiểu:

- Dải đo từ 273 K đến 313 K;
- Độ chính xác 2 K.

5.10 Ẩm kế

Trong trường hợp đơn giản, độ ẩm tương đối có thể được xác định bằng sử dụng một ẩm kế tóc. Cũng có thể sử dụng các thiết bị phức tạp hơn (điện phân, ẩm kế điểm sương LiCl, ẩm kế điểm sương tương ứng, cái đo ẩm, v.v... ; xem thêm Tài liệu viện dẫn [19].

Các thông số tính năng tối thiểu:

- Dải đo từ 25 % đến 95 % độ ẩm tương đối;
- Độ chính xác 5 % độ ẩm tương đối.

6 Khoảng thời gian bảo dưỡng và kiểm tra

Đối với các thiết bị riêng lẻ, phải tiến hành các quy trình bảo dưỡng và kiểm tra như đã quy định tại Bảng 2, ít nhất một lần trong khoảng thời gian đã cho. Sự thành công của việc thực hiện hiệu chuẩn thiết bị hàng năm phải được ghi lại theo các biên bản hiệu chuẩn riêng lẻ.

Bảng 2 – Tóm tắt các khoảng thời gian bảo dưỡng và kiểm tra

Thông số	Tại phin lọc	Hàng ngày	Hàng tuần	Hàng tháng	Hàng năm	Sau khi thay đổi[a]
Chênh lệch áp suất	—	—	—		—	—
Điều chỉnh điểm "zero"	—	—	—	—	—	X
Áp suất tuyệt đối	—	—	—	—	X	X
Nhiệt độ	—	—	—	—	X	X
Độ ẩm tương đối	—	—	—	—	X	X
Máy đếm hạt laser	—	—	—	—	—	—
Tốc độ đếm "zero"	X	—	—	—	—	—
Xác định cỡ hạt	—	—	—	—	X	X
Hiệu suất đếm	—	—	—	—	X	X
Sai số trùng hợp	—	—	—	—	X	X
Lưu lượng thể tích	—	—	—	—	X	X
DMA	—	—	—	—	—	—
Kiểm tra điện áp "zero"	—	X	—	—	—	X
Lưu lượng thể tích	—	—	—	—	X	X
Làm sạch	—	—	—	X		X
CPC	—	—	—	—	—	—
Tốc độ đếm "zero"	X	—	—	—	—	X
Hiệu suất đếm	—	—	—	—	X	X
Sai số trùng hợp ngẫu nhiên	—	—	—	—	X	X
Lưu lượng thể tích	—	—	—	—	X	X
Mức độ làm đầy	—	X		—	—	X
Máy tạo sol khí	—	—	—	—	—	—
Phân bố cỡ hạt	—	—	—	—	—	X
Độ ổn định	—	—	—	—	X	X
Độ trung hòa điện tích	—	—	—	~~	X	X
Hệ thống pha loãng	—	—	—	—	—	—
Tốc độ đếm "zero"	—	X	—	—	—	X
Hệ số pha loãng	—	—	—	—	X	X

[a] Thay đổi cách thiết lập thử nghiệm hoặc thiết bị liên quan.

7 Thống kê đếm hạt

Việc đếm hạt phải theo sự biến thiên thống kê. Số hạt đếm được nhỏ hơn, thì độ tin cậy thấp hơn. Mức tin cậy có thể được ước tính bằng cách sử dụng phân bố Poisson.

Bảng dưới đây nêu ra các giới hạn cho khoảng tin cậy hai phía 95 % đối với số lượng các hạt đã nêu bằng cách sử dụng phân bố Poisson.

Bảng 3 – Giới hạn trên và giới hạn dưới của khoảng tin cậy 95 % của số hạt bằng phân bố Poisson

Số lượng hạt	Giới hạn dưới	Giới hạn trên	Số lượng hạt	Giới hạn dưới	Giới hạn trên
0	0,0	3,7	35	24,4	48,7
1	0,1	5,6	40	28,6	54,5
2	0,2	7,2	45	32,8	60,2
3	0,6	8,8	50	37,1	65,9
4	1,0	10,2	55	41,4	71,6
5	1,6	11,7	60	45,8	77,2
6	2,2	13,1	65	50,2	82,9
8	3,4	15,8	70	54,6	88,4
10	4,7	18,4	75	59,0	94,0
12	6,2	21,0	80	63,4	99,6
14	7,7	23,5	85	67,9	105,1
16	9,4	26,0	90	72,4	110,6
18	10,7	28,4	95	76,9	116,1
20	12,2	30,8	100	81,4	121,6
25	16,2	36,8	—	—	—
30	20,2	42,8	—	—	—

Ví dụ, nếu đếm được năm hạt, thì theo Bảng 3 cho thấy 95 % của các phép đo lặp lại của cùng một đối tượng có thể sẽ cho tốc độ đo trong khoảng từ 1,6 đến 11,7.

Với các số đếm nhỏ, các giá trị giới hạn của khoảng tin cậy được phân bố rất không đối xứng về mặt số đếm. Đối với số đếm lớn hơn, phân bố Poisson chuyển thành phân bố chuẩn đối xứng. Trong những trường hợp này khoảng tin cậy 95 % có thể được tính từ Công thức (2):

$$N_{95\%} = \pm 1{,}96 \times N^{1/2} \quad (2)$$

Khi tính hiệu suất lọc và sự thấu qua trên cơ sở số lượng hạt đếm được, giá trị giới hạn ít thích hợp nhất của khoảng tin cậy phải được xác định và được sử dụng làm cơ sở cho việc tính toán. Điều này thường có nghĩa là thay vì giá trị đo được, phải sử dụng giá trị giới hạn dưới để đo trước phin lọc và giá trị giới hạn trên sử dụng để đo sau phin lọc.

Cần phải chú ý rằng giá trị giới hạn được xác định trên cơ sở số đếm sơ cấp, chứ không phải số lượng được suy ra, như nồng độ hạt hoặc số lượng hạt đã tính đến hệ số pha loãng.

Số liệu thống kê Poisson có thể chỉ được sử dụng để tính các lỗi phát sinh từ số lượng nhỏ các hạt đếm được. Khi chúng có thể được xác định, các lỗi hệ thống và các lỗi ngẫu nhiên khác phải được giảm đi bằng các hiệu chỉnh bổ sung.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Cỡ hạt trung bình của sự phân bố cỡ hạt

Cỡ hạt được sử dụng cho hầu hết các ứng dụng kiểm soát nhiễm bẩn và các phép đo thường được mặc định là cỡ hạt trung bình của một phân bố cỡ hạt đã biết hoặc giả định. Khi phân bố gần như đơn phân tán, với độ lệch chuẩn hình học của nó, σ_g thấp hơn 1,25, có thể giả định rằng các sol khí là đơn phân tán. Sol khí hoàn toàn đơn phân tán (σ_g = 1) là không thực tế. Thậm chí các sol khí polystyren PSL có phân bố cỡ hạt hẹp nhưng được xác định với σ_g xấp xỉ 1,1.

A.1 Trọng số sự phân bố cỡ hạt

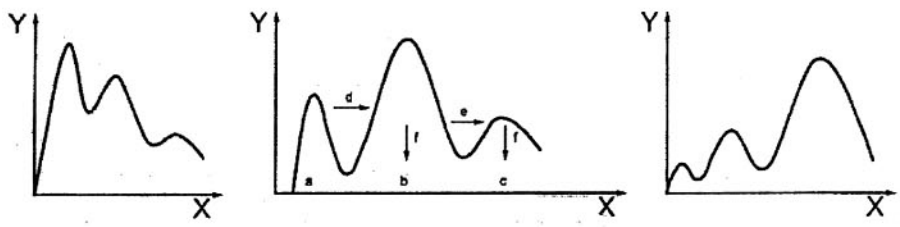
Trong thuật ngữ "phân bố cỡ hạt" thường được giả định là sự phân bố tần số, điều này không phải luôn đúng. Sự phân bố cỡ hạt có thể được xem xét bằng nhiều cách. Đối với phân bố cỡ hạt, các trọng số thường là số đếm hoặc tần suất, diện tích bề mặt hoặc dung tích (hoặc khối lượng nếu mật độ của tất cả các hạt cấu thành giống nhau). Về mặt chức năng, ba trọng số này có thể được biểu thị như sau:

a) Y_{count} là $F\left(n_i d_i^0\right)$ hoặc phân bố tần suất hoặc phân bố trọng số thử "không" của cỡ hạt d;

b) $Y_{surface}$ là $F\left(n_i d_i^2\right)$ hoặc phân bố diện tích bề mặt hoặc phân bố trọng số bậc hai của phân bố cỡ hạt d.

c) Y_{volume} là $F\left(n_i d_i^3\right)$ hoặc phân bố thể tích hoặc phân bố trọng số bậc ba của phân bố cỡ hạt d.

Trong cả ba trường hợp, giả định là hạt hình cầu. Để minh họa, ba trọng số của phân bố sol khí môi trường xung quanh điển hình như sau:



CHÚ DẪN:

X Cỡ hạt	X Cỡ hạt	X Cỡ hạt
Y Số lượng hoặc tần suất	Y Diện tích bề mặt	Y Khối lượng hoặc thể tích
a) Phân bố trọng số theo số lượng	**b) Phân bố trọng số theo bề mặt**	**c) Phân bố trọng số theo thể tích hoặc khối lượng**

[a] Phương thức nhân	[d] Chuyển khí thành hạt từ nhân theo phương thực tích tụ
[b] Phương thức tích tụ	[e] Nguồn của quá trình cơ học
[c] Phương thức hạt thô	[f] Lặng đọng

Hình A.1 – Phân bố trọng số đối với phân bố cỡ hạt khí quyển điển hình

Tất cả ba đồ thị đều mô tả sự phân bố cỡ hạt giống nhau trong không khí xung quanh. Sự phân bố số đếm hoặc phân bố tần số nêu rõ của các hạt nhỏ nhất và nhiều nhất thể hiện như chế độ nhân. Sự phân bố trọng số bề mặt làm rõ các cỡ hạt trung bình, hoặc chế độ tích tụ, nơi mà hầu hết các sol khí là do kết thúc sự chuyển đổi khí thành hạt. Người ta cho rằng điều này là truyền động bề mặt. Do đó, trọng số thứ hai của cỡ hạt được sử dụng để làm rõ chế độ này. Các hạt lớn hơn, ít hơn về số lượng nhưng lớn nhất, được làm rõ trong phân bố trọng số khối lượng hoặc phân bố trọng số thứ ba. Như vậy, sai số trung bình của phân bố toàn bộ khối lượng xảy ra ở cỡ hạt lớn hơn nhiều so với giá trị trung bình số đếm. Ba trọng số này đại diện cho sự phân bố giống nhau nhưng được xử lý khác nhau.

A.2 Những gợi ý về cỡ hạt trong các phép đo phin lọc

Đây là thực hành chung mà tính năng của các phin lọc thường được quy định tại cỡ hạt cụ thể, ví dụ MPPS. Tuy nhiên, điều này mặc định rằng sự phân bố cỡ hạt cũng được ấn định. Nếu không xác định cụ thể trọng số của sự phân bố, hoặc sử dụng các thông số của các trọng số khác nhau để thay thế cho nhau, có thể dẫn đến sai sót nghiêm trọng trong việc thực hiện phép đo phin lọc. Ví dụ, thường giả định rằng phin lọc HEPA được thử nghiệm tại Mỹ với cỡ hạt 0,3 μm theo tiêu chuẩn quân sự của Mỹ 282. Tuy nhiên, 0,3 μm là đường kính trung bình của sol khí theo quy định của tiêu chuẩn. Trong thực tế, cỡ hạt trung bình của sol khí này là khoảng 0,18 μm. Do đó, việc thử nghiệm phin lọc tại cỡ hạt lớn hơn 0,3 μm dẫn đến đánh giá quá cao hiệu suất của phin lọc hoặc phép thử có thể được coi là ít nghiêm ngặt hơn. Các lỗi tương tự có thể xảy ra nếu không chú ý đến sự phân bố cỡ hạt được sử dụng trong thử nghiệm và tập trung hoàn toàn vào cỡ hạt trung bình của chúng.

Thư mục tài liệu tham khảo

[1] VDI 3491, *Messen von Partikein, Herstellungsverfahren fur Prufaerosole, Blatt 7, Aerosolgenerator nach Rapaport und Weinstock* (Particulate matter measurement; aerosol generator according to Rapaport and Weinstock)

[2] Liu, B.Y.H. and Pui, D.Y.H., A Submicron Aerosol Standard and the Primary Absolute Calibration of the Condensation Nucleus Counter, *J. Coll. Int. Sci.* 47, p. 155, 1974

[3] VDI 3491, *Messen von Partikein, Herstellungsverfahren fur Prufaerosole, Blatt 5, Herstellung von Prufaerosolen aus Farbstofflosungen mit Dusenzerstaubern* (Particulate matter measurement; generation of test aerosols by nebulisation with nozzle atomizers)

[4] ECHOLS, W.H. and YOUNG, J.A., *Studies of Portable Air-Operated Aerosol Generators.* U.S. Naval Research Laboratory (NRL) Report 5929, Washington, D.C., 1963

[5] Liu, B.Y.H. and Pui, D.Y.H., Electrical Neutralization of Aerosols, *J. Aerosol Sci.* 5, pp. 465-472,1974

[6] VDI 3489, *Messen von Partikein, Methoden zur Charakterisieaing und Uberwachung von Pufaerosolen, Blatt 3: Optischer Partikelzahler* (Particulate matter measurements; methods for characterization and monitoring of test aerosols; optical particle counter)

[7] VDI 3491, *Messen von Partikein, Blatt 1, Kennzeichnung von Partikeldispersionen in Gasen – Begriffe und Definitionen* (Particulate matter measurement; characteristics of suspended particulate matter in gases; terms and definitions)

[8] VDI 3491, *Messen von Partikein, Herstellungsverfahren fur Prufaerosole, Blatt 3, Herstellung von Latexaerosolen unter Verwendung von Dusenzerstaubern* (Particulate matter measurement; generation of latex aerosols using nozzle atomizers)

[9] PETERS, C, GEBHART, J., ROTH, C and SEHRT, S., Test of High Sensitive Laser Particle Counters with PSL-Aerosols and a CNC Reference, *J. Aerosol Sci.* **22,** Suppl. 1, S 363-366, 1991

[10] VDI 3491, *Messen von Partikein, Herstellungsverfahren fur Prufaerosole, Blatt 13, Herstellung von Prufaerosolen mittels eines Schwingblenden-Aerosolgenerators* (Particulate matter measurement; generation of test aerosols using a vibration orifice generator)

[11] BRICARD, J., DELATTRE, P., MADELAINE, G., POURPRIX, M., Detection of ultrafine particles by means of a continuous flux condensation nuclei counter. In *Fine Particles,* **B.Y.H.** Liu Ed., Academic Press Inc., New York, 1976

[12] KOUSAKA, Y., NIIDA, T., OKUYAMA, K., and TANAKA, H., Development of a Mixing Type Condensation Nucleus Counter, *J. Aerosol Sci.* **13,** pp. 231-240, 1982

[13] VDI 3489, *Messen von Partikein, Methoden zur Charakterisieaing und Uberwachung von Prufaerosolen, Blatt 2: Kondensationskernzahler mit kontinuierlichem DurchfluB* (Particulate matter measurement – Methods for characterizing and monitoring test aerosols – Continuous flow condensation nucleus counter)

[14] DREILING, V, HALLER, P., HELSPER, C, KAMINSKI, U., PLOMP, A., RAES, F., ROTH, C, SCHIER, J., and SCHORMANN, G., Intercomparison of Eleven Condensation Nucleus Counters, *J. Aerosol Sci.* 17, pp. 565-570, 1986

[15] GEBHART, J., HEYDER, J., ROTH, C and STAHLHOFEN, W., *Herstellung und Eigenschaften von Latexaerosolen.* Staub-Reinh. Luft40, pp. 1-8,1980.

[16] REMIARZ, R.J. and JOHNSON, E.M., A New Diluter for High Concentration Measurements with the Aerodynamic Particle Sizer, *TSI Quarterly* 10,1, pp. 7-12,1984

[17] KOCH, W., LODDING, H., MOLTER, W., and MUNZINGER, F., *Verdunnungssystem fur die Messung hochkonzentrierter Aerosole in optischen Partikelzahlern,* Staub-Reinh. Luft 48, pp. 341-344, 1988

[18] HELSPER, C, MOLTER, W. and HALLER, P., Representative Dilution of Aerosols by a Factor of 10,000. *J. Aerosol Sci.* **21,** Suppl. 1, S637-640, 1990

[19] VDI 2080, *Mellverfahren und Meligerate fur Raumlufttechnische Anlagen* (Measuring methods and measuring instruments for air conditioning systems)

[20] EN 1822-1, *High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) – Part 1: Classification, performance testing and marking*

[21] EN 1822-2, *High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) – Part 2: Aerosol production, measuring equipment, particle counting statistics*

[22] EN 1822-3, *High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) – Part 3: Testing flat sheet filter media*

[23] EN 1822-4, *High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) – Part 4: Determining leakage of filter elements (scan method)*

[24] EN 1822-5, *High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) – Part 5: Determining the efficiency of filter elements*

[25] IEST RP CC 001, *HEPA and ULPA Filters,* Inst, of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[26] IEST RP CC 007, *Testing ULPA filters,* Inst, of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[27] IEST RP CC 013, *Calibration Procedures and Guidelines for Select Equipment Used in Testing Cleanrooms and Other Controlled Environments,* Inst, of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[28] IEST RP CC 021, *Testing HEPA and ULPA Media,* Inst, of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[29] IEST RPCC 034, *Leak Testing HEPA and ULPA filters,* Inst. of Env. Science and Technology, Arlington Hts, IL, USA

[30] ISO 5167-1, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 1: General principles and requirements*

[31] ISO 5167-2, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 2: Orifice plates*

[32] ISO 5167-3, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 3: Nozzles and Ventuh nozzles*

[33] ISO 5167-4, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 4: Ventuh tubes*

[34] ISO 14644-3, *Cleanrooms and associated controlled environments – Part 3: Test methods*

[35] US Military Standard 282, *Filter Units, Protective Clothing, Gas-Mask Components And Related Products: Performance – Test Methods.*