

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO ỐNG PHÁT HIỆN KHÍ H₂S PHỤC VỤ QUAN TRẮC, GIÁM SÁT MÔI TRƯỜNG LAO ĐỘNG

Đến tòa soạn 21-1-2021

Đào Duy Hưng, Hoàng Thanh Thái, Lâm Phước Sơn

Viện Hóa học môi trường quân sự/BTL Hoá học

Trần Thị Thanh Thủy

Đại học Mở - Địa chất Hà Nội

Vũ Thanh Bình

Trường Sĩ quan phòng Hóa/BTL Hoá học

SUMMARY

RESEARCH AND BUILDING H₂S GAS DETECTION TUBES SERVE OVERVIEW AND MONITORING OF THE LABOR ENVIRONMENT

The paper introduces steps of researching and fabricating indicator tube for detecting H₂S gas in the environment and the test results for determining single-fabrication components, factors affecting the ability to detect H₂S gas in the field. Research results show that the indicator tube is capable of quickly detecting toxic gas in the field with an accuracy of about 0.8 - 8%.

Key words: H₂S, indicator tube

1. MỞ ĐẦU

Hydro sulfua (H₂S) là hợp chất khí rất độc, không khí có chứa lượng nhỏ khí này có thể gây ngộ độc cho người và động vật, khi hít phải nạn nhân có thể bị ngạt, bị viêm màng kết do H₂S tác động vào mắt, bị các bệnh về phổi dẫn đến thở gấp và ngừng thở. H₂S ở nồng độ cao có thể gây tê liệt hô hấp và nạn nhân bị chết ngạt. H₂S xuất hiện do đốt cháy không hoàn toàn các nhiên liệu (than đá, dầu...) chứa nhiều lưu huỳnh. Hydro sunfua cũng là một sản phẩm phụ thông thường của sự phân hủy sinh học của chất hữu cơ, do tác động của các vi khuẩn. Trong môi trường có oxy thấp hoặc không có oxy, H₂S nặng hơn không khí, nó chìm xuống và có thể tích tụ trong khu vực làm việc hoặc các đường ống, hầm lò, mỏ than...

Hiện nay có rất nhiều công cụ, phương tiện, phương pháp xác định khí H₂S trong môi trường lao động như: các thiết bị phân tích

online, thiết bị phân tích nhanh tại hiện trường, thiết bị phân tích chuyên sâu trong phòng thí nghiệm... tuy nhiên các công cụ này có giá thành cao, cách thức sử dụng phức tạp, vận hành tốn kém, rất ít có đơn vị đủ điều kiện trang bị và duy trì thường xuyên hệ thống này để kiểm soát ô nhiễm môi trường do khí H₂S gây ra trong môi trường lao động, đặc biệt trong điều kiện khai thác hầm lò. Hiện nay trên thế giới đã nghiên cứu, phát triển và trang bị các loại ống phát hiện nhanh khí độc H₂S với nhiều chủng loại, cách thức sử dụng rất đơn giản, có thể phát hiện nhanh, tức thời ngay tại hiện trường khí độc H₂S làm cơ sở cho việc bảo đảm môi trường lao động thuận lợi, tránh các hiện tượng ô nhiễm gây mất an toàn [2, 3, 5]. Ở Việt Nam, phương pháp xác định khí độc H₂S bằng ống phát hiện đã được tiêu chuẩn hóa và công nhận năm 2013 (theo TCVN 9763:2013), hiện nay rất ít có đơn vị quan tâm nghiên cứu phát triển và sản xuất ống chỉ thị

phát hiện khí H₂S (Bình chùng Hóa học có nghiên cứu, sản xuất ống chỉ thị trong đó mới tập trung sản xuất các ống phát hiện chất độc quân sự), các ống chỉ thị thường được nhập ngoại với khối lượng hạn chế và không thường xuyên (có thể mất vài tháng đặt hàng).

Vì vậy, việc nghiên cứu chế tạo ống chỉ thị phát hiện nhanh khí độc như H₂S phục vụ quan trắc và giám sát môi trường lao động, hạn chế nguy hiểm cho người lao động là rất cần thiết.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Thiết bị và hóa chất dùng cho nghiên cứu

2.1.1. Thiết bị

Các thiết bị phân tích chính được sử dụng trong nghiên cứu là:

- Máy UV-VIS Jasco V530 (Nhật Bản).
- Máy đo pH có độ chính xác ±0,01.
- Cân phân tích độ chính xác ±0,1mg.
- Bơm tay có thể tích lấy mẫu 100 ml;
- Thiết bị lấy mẫu khí lưu lượng tối đa 1 lít/phút;

2.1.2. Hoá chất

- Silicagel 60 (70-230 mesh), Al₂O₃ trung tính (70 - 230 mesh): Sigma-Aldrich;
- CuSO₄, Pb(CH₃COO)₂, C₃H₈O₃, HgCl₂, H₂SO₄, C₂H₅OH 98% (Merck)
- HNO₃ 65%: Sigma-Aldrich;

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp chuẩn bị đối tượng nghiên cứu

Chuẩn bị vật liệu hấp phụ:

Hoạt hóa Silicagel: Nung ở 180°C trong ít nhất 1 giờ, để nguội trong bình hút ẩm, sau đó được cân để xác định khối lượng và giữ trong chai thủy tinh sạch có nắp vặn để ngăn ẩm.

Hoạt hóa Al₂O₃: Nung nóng tới 130 °C trong ít nhất 12 giờ, để nguội trong bình hút ẩm, cân để xác định khối lượng và giữ trong chai thủy tinh sạch có nắp vặn để ngăn ẩm.

Chất nền silicagel và Al₂O₃ trước khi sử dụng được cân lại và tính toán độ ẩm theo công thức sau:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} (\%)$$

Trong đó m₁: Khối lượng vật liệu ban đầu (gam);
m₂: Khối lượng vật liệu trước khi sử dụng (gam);
X: Độ ẩm (%).

Nếu độ ẩm dưới 2%, vật liệu hấp phụ được sử dụng. Trường hợp độ ẩm vượt quá 2 %, vật liệu nền phải được hoạt hóa lại và đợi nguội trước khi sử dụng.

Chuẩn bị chất chỉ thị khí:

Chuẩn bị chất chỉ thị: Nhóm nghiên cứu lựa chọn chất chỉ thị là Pb(CH₃COO)₂. Cân 2 gam chì axetat. Hòa tan trong 10 ml Glycerol và 20 ml nước cất.

Khối lượng chất nền được đưa vào ống được tính theo công thức:

$$\text{Khối lượng chất nền} = \frac{\text{Thể tích trong của ống thủy tinh (cm}^3\text{)}}{\text{tỷ trọng của vật liệu (g/cm}^3\text{)}}$$

$$\text{Khối lượng Silicagel} = \frac{5 \times 0,5^2 \times \pi}{1,43} = \frac{3,93}{1,43} = 2,75 \text{ g}$$

$$\text{Khối lượng Al}_2\text{O}_3 = \frac{5 \times 0,5^2 \times \pi}{3,94} = \frac{3,93}{3,94} = 1 \text{ g}$$

Khối lượng Silicagel cần dùng là 2,75 g

Khối lượng Al₂O₃ cần dùng là 1 g

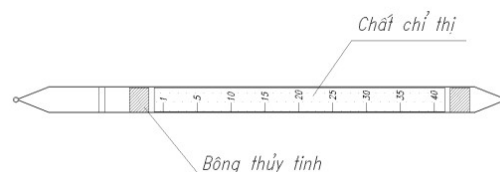
Cân 2,75 gam Silicagel hoặc 1 gam Al₂O₃ vào cốc thủy tinh. Thêm 10 ml dung dịch chất chỉ thị Pb(CH₃COO)₂ đã pha ở trên, dùng thìa thủy tinh trộn đều cho tới khi toàn bộ chất nền đồng nhất. Mang hỗn hợp chất nền đã được tẩm dung dịch chỉ thị trên sấy khô ở nhiệt 50 °C trong 4 giờ. Sau khi sấy khô, chất nền được để nguội trong bình hút ẩm.

Chuẩn bị ống chỉ thị:

Chuẩn bị ống thủy tinh thông dụng có kích thước như sau: đường kính ngoài 6mm, đường kính trong 5mm, chiều dài 160mm.

Bông thủy tinh trước khi dùng được rửa sạch bằng cách chiết trong các dung môi dichlometan, acetone, ethanol sau đó sấy khô, để nguội trong bình hút ẩm và bọc trong giấy nhôm.

Tiến hành lấy một lượng vừa đủ bông thủy tinh và nạp vào trong ống thủy tinh đã hàn sẵn một đầu. Sau đó từ từ cho chất nền đã tẩm chất chỉ thị chuẩn bị ở trên vào trong ống, dùng lực để cố định chất nền. Chiều dài lớp hấp thụ khí đạt được là 5 cm. Sau khi đã nạp xong lớp hấp thụ, chèn bông thủy tinh vào đầu còn lại.

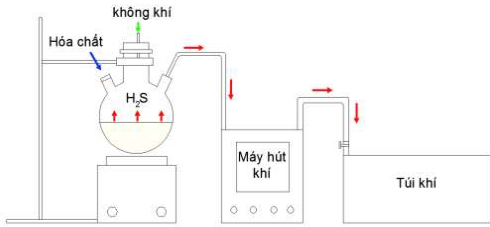
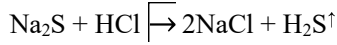


Hình 1. Cấu tạo của ống phát hiện khí H₂S

2.2.2. Phương pháp chuẩn bị và phân tích khí H₂S

Chuẩn bị môi trường khí H₂S để thử nghiệm:

Cân 2,5 gam Na₂S cho vào bình tam giác có nhánh. Thêm từ từ 5ml HCl loãng vào trong bình tam giác. Phản ứng tạo ra khí H₂S như sau:



Hình 2. Sơ đồ tạo môi trường khí H₂S để thử nghiệm

Khi phản ứng xảy ra, dùng bơm hút khí trên miệng bình nón với lưu lượng 1 phút/lít trong khoảng 30 giây vào túi lấy mẫu. Tiến hành hút không khí với lưu lượng như trên cho tới khi đầy túi lấy mẫu có thể tích 5 lít và đóng chặt nút túi khí. Xác định lại nồng độ thực tế của khí H₂S trong túi khí bằng phương pháp so màu (theo Method MASA 701).

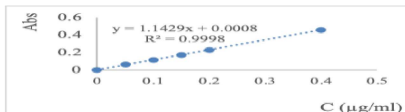
Lấy mẫu: Mẫu khí chứa H₂S được chuyển vào dung dịch hấp thụ với lưu lượng khí là 0,5 l/phút trong 15 giây, thể tích dung dịch hấp thụ là 25ml;

Pha chế dãy chuẩn:

Bảng 1. Pha chế các dung dịch chuẩn xác định khí H₂S

Ống chuẩn	1	2	3	4	5	6
Hoá chất						
Vdd H ₂ S nồng độ 5 µg/ml	0	0,25	0,5	0,75	1	2
Vdd hấp thụ (ml)	10	10	10	10	10	10
Vdd kiểm tra amin (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
VFeCl ₃	1 giọt	1 giọt	1 giọt	1 giọt	1 giọt	1 giọt
Vdd (NH ₄) ₂ HPO ₄	1 giọt	1 giọt	1 giọt	1 giọt	1 giọt	1 giọt
Nước cất	Định mức đến vạch 25ml					
Hàm lượng H ₂ S (µg/ml)	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,4

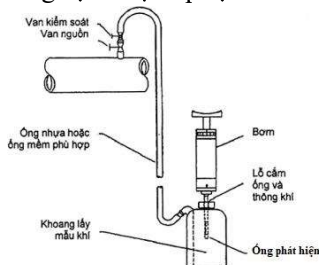
Để yên trong 30 phút, đo phổ hấp thụ ở bước sóng 670nm. Đường chuẩn phân tích H₂S được thể hiện trong hình 3.



Hình 3. Đường chuẩn xác định H₂S trên thiết bị phân tích UV-VIS

2.2.3. Phương pháp thử nghiệm chỉ thị màu trên ống phát hiện

Mô hình thử nghiệm được lắp đặt như trong hình 4.



Hình 4. Mô hình thiết bị thử nghiệm ống phát hiện khí H₂S

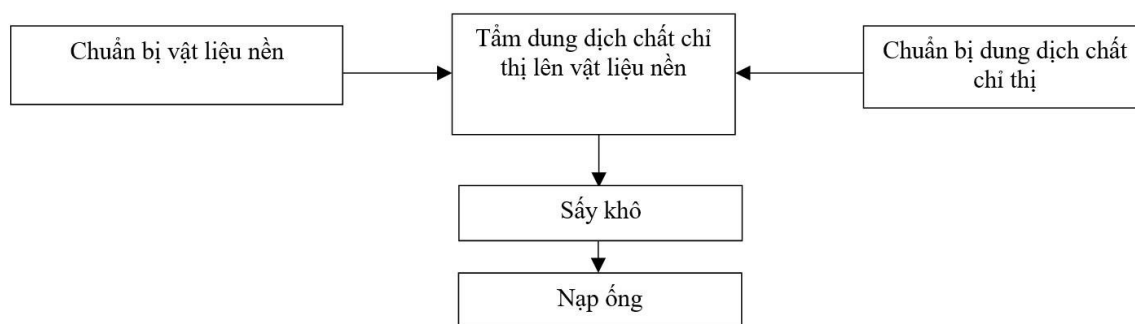
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khảo sát lựa chọn loại chất nền

Chuẩn bị đối tượng thí nghiệm được mô tả như mục 2.2.1

Các bước chuẩn bị ống chỉ thị khí để sào sát được mô tả trong sơ đồ hình 5

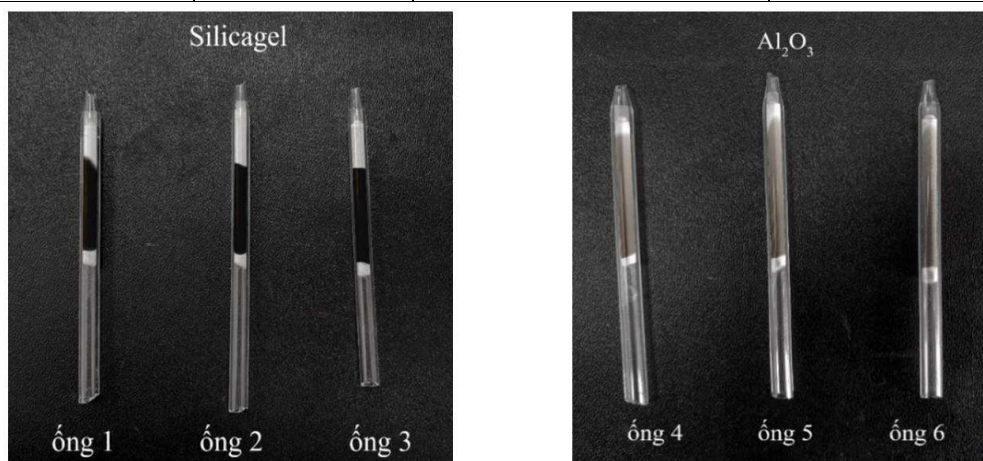
Kết quả khảo sát lựa chọn loại chất nền được mô tả trong bảng 2 và hình 6. Kết quả khảo sát cho thấy khi sử dụng silicagel làm chất nền, màu của tầng hấp phụ thay đổi rõ rệt và dễ quan sát bằng mắt hơn so với Al₂O₃, thời gian đổi màu của ống lâu hơn. Từ đó nhóm nghiên cứu lựa chọn silicagel làm vật liệu nền cho tầng hấp phụ khí H₂S.



Hình 5. Các bước chuẩn bị ống chỉ thị để khảo sát khả năng phát hiện khí H₂S

Bảng 2. Kết quả khảo sát chọn loại chất nền

TT	Loại chất nền	Ống chỉ thị	Hiện tượng	
			Chuyển màu	Thời gian hiện màu
1	Silicagel	Ống 1	Trắng - nâu đen	> 5 phút
		Ống 2	Trắng - nâu đen	> 5 phút
		Ống 3	Trắng - nâu đen	> 5 phút
2	Al ₂ O ₃	Ống 4	Trắng - nâu nhạt	< 1 phút
		Ống 5	Trắng - nâu nhạt	< 1 phút
		Ống 6	Trắng - nâu nhạt	< 1 phút



Hình 6. Hình ảnh khảo sát lựa chọn loại chất nền

3.2. Khảo sát lựa chọn loại chất chỉ thị và hàm lượng chất chỉ thị

Nhóm nghiên cứu đã lựa chọn một số loại chất chỉ thị có khả năng xảy ra phản ứng màu với khí H₂S để khảo sát đó là: CuSO₄, Pb(CH₃COO)₂ và hỗn hợp HgCl₂/methyl red.

Phương pháp thử nghiệm:

Cân 2g CuSO₄ cho vào 50 ml nước cất 2 lần, lấy 10ml dung dịch trên ngâm tẩm vào 2,75g silicagel trong 30 phút. Sấy ở 50 °C trong 4 tiếng.

Cân 2g Pb(CH₃COO)₂ phản ứng với 10 ml glycerol và 20 ml nước cất 2 lần, lấy 10ml

dung dịch trên tẩm vào 2,75g silicagel trong 30 phút. Sấy ở 50 °C trong 4 tiếng.

Cân 2g HgCl₂ và 0,01g methyl đỏ đưa vào bình tam giác chứa 50ml etanol 99,5%, hút 10ml dung dịch trên tẩm vào 2,75g silicagel trong 30 phút. Vì etanol dễ bay hơi nên hỗn hợp được để ở nhiệt độ phòng trong 4 tiếng.

Nhóm nghiên cứu đã chuẩn bị hai túi khí có nồng độ khí H₂S tương ứng là 10,04 mg/m³ và 40,05 mg/m³. Sau đó tiến hành thử nghiệm dùng các ống chỉ thị đã chuẩn bị ở trên, kết quả như thể hiện ở bảng 3

Bảng 3. Kết quả khảo sát loại chất chỉ thị

STT	Loại chất chỉ thị	Sự chuyển màu	Thời gian hiện màu (phút)	Chiều dài lớp chỉ thị đổi màu (mm)	
				Nồng độ khí 1,04 mg/m ³	Nồng độ khí 40,05 mg/m ³
1	CuSO ₄	Xanh – nâu đen	> 5	5,1	44,7
2	Pb(CH ₃ COO) ₂	Trắng – nâu đen	> 5	5,3	45,1
3	HgCl ₂ /Methyl red	Vàng – Hồng	< 5	10,2	50,0 ^(*)

Chú thích: ^(*) Khoảng đổi màu có thể vượt quá chiều dài của ống chỉ thị.



Hình 7. Hình ảnh khảo sát lựa chọn loại chất chỉ thị

Qua khảo sát ba loại chất chỉ thị trên nhóm nghiên cứu nhận thấy như sau: Ống chỉ thị tẩm CuSO₄ và Pb(CH₃COO)₂ cho phản ứng màu rõ ràng, lớp chất chỉ thị sau phản ứng bền màu, chiều dài lớp chỉ thị phù hợp với khoảng nồng độ

khí. Tuy nhiên đối với ống chỉ thị CuSO₄ màu lớp chất chỉ thị chuyển từ màu xanh đen sang màu nâu đen sẽ khó để quan sát bằng mắt thường hơn so với ống chỉ thị sử dụng Pb(CH₃COO)₂ chuyển từ màu trắng sang màu nâu đen.

Đối với ống chỉ thị tẩm hỗn hợp HgCl₂/methyl red thì ống chỉ thị có độ nhạy cao, màu sắc dễ quan sát. Tuy nhiên màu của lớp chỉ thị trước và sau khi phản ứng với khí H₂S kém bền trong môi trường không khí. Hơn nữa chiều dài khoảng đổi màu của lớp chỉ thị cũng không phù hợp với khoảng nồng độ khảo sát của nghiên cứu. Như vậy nhóm nghiên cứu lựa chọn Pb(CH₃COO)₂ làm chất chỉ thị cho ống phát hiện khí H₂S.

Tiến hành khảo sát ở các hàm lượng Pb(CH₃COO)₂ như sau: 0,001; 0,005g; 0,01g; 0,05g; 0,1g; 0,2g pha trong 10 ml CH₃COOH 2% đối với các ống chỉ thị có chiều dài lớp chỉ thị 100 mm.

Kết quả khảo sát được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả khảo sát hàm lượng chất chỉ thị

STT	Khối lượng chất chỉ thị (gam)	Sự chuyển màu	Thời gian hiện màu (phút)	Chiều dài lớp chỉ thị đổi màu (mm)	
				Nồng độ khí 1,04 mg/m ³	Nồng độ khí 40,05 mg/m ³
1	0,5	Trắng – nâu nhạt	> 5	17,7	90,0
2	1,0	Trắng – nâu nhạt	> 5	15,9	88,4
3	1,5	Trắng – nâu nhạt	> 5	10,5	85,8
4	2,0	Trắng - nâu	> 5	5,7	49,2
5	2,5	Trắng – nâu	> 5	5,3	45,1
6	3,0	Trắng – nâu đen	> 5	4,5	43,6

Qua khảo sát hàm lượng chất chỉ thị, nhóm nghiên cứu nhận thấy khi lượng chất chỉ thị nhỏ thì khoảng đổi màu rất dài, màu sắc nhạt

và có sự khuếch tán không đồng đều màu sắc. Với lượng chất chỉ thị lớn, màu sắc rõ nét, khoảng đổi màu ngắn hơn và màu sắc phân bố

đồng đều. Như vậy nhóm nghiên cứu lựa chọn khối lượng chất chỉ thị $Pb(CH_3COO)_2$ để cho khoảng đổi màu phù hợp là 2 gam.

3.3. Khảo sát chia khoảng nồng độ

Dùng bơm hút khí hút từ túi khí chuẩn có nồng độ $40,03 \text{ mg/m}^3$ sang các túi khí có thể tích 5 lít được các khí có nồng độ khác nhau. Tiến hành

pha loãng các túi khí vừa tạo ra bằng cách hút khí tro đến thể tích 5 lít. Lấy các mẫu khí trong các túi khí đó và phân tích bằng phương pháp trắc quang được các nồng độ cần chuẩn bị.

Kết quả khảo sát chiều dài ống chỉ thị chế tạo và khoảng chia nồng độ được thể hiện như bảng 5:

Bảng 5. Kết quả khảo sát chia khoảng nồng độ

STT	Nồng độ khí H_2S (mg/m^3)	Nồng độ khí H_2S (ppm)	Chiều dài khoảng đổi màu (mm)
1	1,05	0,8	5,7
2	5,04	3,6	8,0
3	10,06	7,2	16,5
4	15,07	10,8	18,2
5	20,07	14,4	31,3
6	25,03	18,0	36,0
7	30,04	21,6	40,7
8	40,03	28,8	49,2

3.4. Khảo sát độ lặp lại, giới hạn phát hiện của ống chỉ thị khí H_2S

Dùng các túi khí để tạo nồng độ khí khác nhau trong khoảng từ 1 - 40 mg/m^3 . Lấy bảy ống chỉ thị khác nhau để định lượng khí H_2S ở cùng một nồng độ khí, tính toán độ lặp lại qua công thức sau:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - d_{tb})^2}$$

$$RSD = \frac{SD}{d_{tb}} \times 100 (\%)$$

Trong đó: d_i là chiều dài khoảng đổi màu của ống chỉ thị khi phát hiện khí ở nồng độ $C_i \text{ mg/m}^3$ (mm);

d_{tb} là chiều dài trung bình khoảng đổi màu của các ống chỉ thị khác nhau phát hiện ở cùng một nồng độ (mm);

SD là độ lệch chuẩn tuyệt đối;

RSD là độ lệch chuẩn tương đối (%).

Kết quả khảo sát độ lặp lại được thể hiện trong bảng 6.

Bảng 6. Kết quả khảo sát độ lặp lại của ống chỉ thị khí H_2S

TT	Nồng độ khí H_2S (mg/m^3)	Chiều dài khoảng đổi màu theo các lần khảo sát (mm)	Chiều dài trung bình (mm)	SD	RSD (%)
1	1,05	4,8; 5,9; 5,8; 5,7; 5,4; 5,9; 6,1	5,7	0,40	8,0
2	20,07	31,2; 31,8; 30,0; 31,4; 31,6; 31,5; 31,9	31,3	0,59	2,81
3	40,03	49,1; 49,5; 49,0; 49,8; 48,9; 49,7; 48,8	49,3	0,37	0,8

Như vậy ở ngưỡng nồng độ khảo sát 1,0 - 40 mg/m^3 , độ lặp lại của phương pháp sử dụng ống chỉ để định lượng khí H_2S trong khoảng từ 0,8 – 8%.

Để khảo sát giới hạn phát hiện của ống chỉ thị khí H_2S , nhóm nghiên cứu chuẩn bị các túi khí

có nồng độ trong khoảng 1,0-0,1 mg/m^3 và dùng ba ống chỉ thị khí H_2S để phát hiện ở từng nồng độ. Kết quả khảo sát thể hiện như bảng 7.

Bảng 7. Kết quả khảo sát giới hạn phát hiện của ống chỉ thị khí H₂S

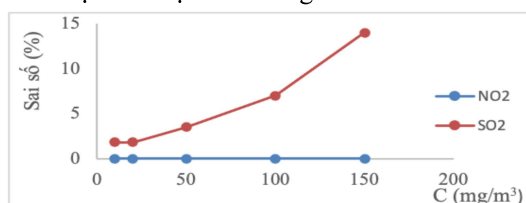
STT	Nồng độ khí H ₂ S (mg/m ³)	Sự chuyển màu	Chiều dài khoảng đổi màu trung bình (mm)
1	1,0	Trắng – nâu	5,7
2	0,5	Trắng – nâu	2,5
3	0,2	Trắng – nâu nhạt	1,2
4	0,1	Trắng – nâu nhạt	0,7
5	0,05	Trắng – nâu nhạt	0,4

Từ kết quả khảo sát nhận thấy ở nồng độ khí H₂S là 0,2 mg/m³, ống chỉ thị vẫn xảy ra hiện tượng đổi màu tuy nhiên chiều dài khoảng đổi màu của ống chỉ thị rất ngắn và màu sắc khó quan sát. Dưới ngưỡng nồng độ đó, ống chỉ thị không còn khả năng phát hiện sự có mặt của khí H₂S. Do đó có thể kết luận giới hạn phát hiện của ống chỉ thị khí H₂S là 0,2 mg/m³.

3.5. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng

Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng phát hiện khí H₂S có thể là các hợp chất có cấu trúc và khả năng phản ứng với thuốc thử Pb(CH₃COO)₂ tương tự như khí H₂S hoặc các chất gây nhiễu. Theo các tài liệu tham khảo [2, 3, 4], phép thử xác định khí H₂S sử dụng thuốc thử Pb(CH₃COO)₂ có thể bị ảnh hưởng bởi các khí sau: NO₂, SO₂.

Nhóm nghiên cứu đã tiến hành nghiên cứu khả năng ảnh hưởng bởi các khí độc SO₂, NO₂ đến khả năng phát hiện của ống phát hiện khí H₂S ở nồng độ khoảng 1,05 mg/m³ trong không khí. Kết quả thử nghiệm mức độ ảnh hưởng của các khí được thể hiện như trong hình 8



Hình 8. Đồ thị biểu diễn sự ảnh hưởng của các khí NO₂ và SO₂ đến ống chỉ thị khí H₂S

Qua kết quả nghiên cứu nhận thấy: Khí NO₂ không gây ảnh hưởng tới chiều dài khoảng đổi màu của lớp chỉ thị nhưng gây ảnh hưởng tới màu sắc của lớp chỉ thị. Ở nồng độ NO₂ càng cao (lớn hơn 50 mg/m³) lớp chỉ thị đổi màu

càng nhạt. Khí SO₂ vừa gây ảnh hưởng tới màu sắc và chiều dài khoảng đổi màu của lớp chỉ thị.

KẾT LUẬN

Đã nghiên cứu, chế tạo thành công ống chỉ thị phát hiện nhanh khí độc H₂S, ống chỉ thị có khả năng phát hiện nhanh và ngay tại hiện trường khí độc H₂S với độ chính xác 0,8-8%, các nguyên liệu để sản xuất cơ bản thông dụng có trên thị trường, sản phẩm này có thể được sản xuất với số lượng lớn trên dây chuyền sản xuất ống phát hiện chất độc quân sự tại nhà máy X61/Bình chủng Hóa học.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Beer Singh (1998), "Silica Gel detector tubes for toxic Chemicals and their Evaluation", Journal of scientific & industrial research, Vol 58, pp 25-30.
2. Draeger-Tubes & CMS Handbook (2011).
3. Gastec Gas Detector Tube System Handbook (2010).
4. MVR Koteswara Rao (2001), "ENVIRONMENT IN SUBMARINES", Defence Research & Development Organisation Ministry of Defence, NEW DELHI – 110 011
5. Portable Colorimetric Tubes for Chemical Vapor Detection Market Survey Report; National Security Technologies; U.S. Department of Homeland Security, Science and Technology Directorate (2014).
6. RAE Gas Detection Tubes and Sampling Handbook (2014).
7. Uniphos Gas Detector Tube Handbook (2015).
8. Sudhir Kumar, Pandey, Ki-Hyun Kim, Kea-TiongTang (2012), A review of sensor-based methods for monitoring hydrogen sulfide
9. JAMES (2019), Global Gas Detector Tubes Market Research Report 2019 – Sensidyne, Honeywell, Drager, Gastec, Kitagawa, Global Industry Analysis.
10. Drager Safety AG & Co. KGaA, Lübeck Drager (2011), Drager-Tubes & CMS Handbook.