

I. Giới thiệu chung về Axit Nitric (HNO_3)

1. Tầm quan trọng của Axit Nitric

Axit nitric (HNO_3) là một trong những axit vô cơ quan trọng nhất, đóng vai trò nền tảng trong nhiều ngành công nghiệp. Nó là một axit mạnh, có tính oxi hóa mạnh và được sử dụng rộng rãi để sản xuất phân đạm, thuốc nổ, thuốc nhuộm, và nhiều hợp chất hóa học khác. Do nhu cầu sử dụng lớn, việc sản xuất HNO_3 ở quy mô công nghiệp là vô cùng cần thiết.

2. Phương pháp sản xuất công nghiệp hiện đại

Phương pháp hiện đại và phổ biến nhất để sản xuất axit nitric trong công nghiệp là **phương pháp Ostwald**, được phát triển bởi nhà hóa học người Đức Wilhelm Ostwald. Quy trình này dựa trên việc oxi hóa amoniac (NH_3) bằng oxi của không khí với sự hiện diện của chất xúc tác.

II. Nguyên liệu sản xuất Axit Nitric

Để thực hiện quy trình Ostwald, các nguyên liệu chính cần có là:

- **Amoniac (NH_3):** Đây là nguyên liệu chính chứa nitơ. Amoniac được tổng hợp từ nitơ và hydro qua quá trình Haber-Bosch.
- **Không khí:** Cung cấp oxi (O_2) cho các phản ứng oxi hóa. Không khí cần được làm sạch bụi và các tạp chất trước khi đưa vào quy trình.
- **Nước (H_2O):** Dùng để hấp thụ nitơ đioxit (NO_2) ở giai đoạn cuối để tạo thành axit nitric.

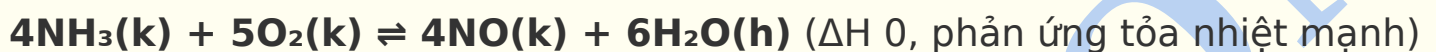
III. Quy trình sản xuất Axit Nitric (Phương pháp Ostwald)

Quy trình sản xuất axit nitric từ amoniac gồm ba giai đoạn chính, diễn ra liên tiếp trong một dây chuyền sản xuất khép kín.

Giai đoạn 1: Oxi hóa Amoniacc (NH_3) thành Nitơ monooxit (NO)

Đây là giai đoạn quan trọng nhất, quyết định hiệu suất của toàn bộ quá trình.

- **Phương trình phản ứng:**



- **Điều kiện phản ứng:**

- **Nhiệt độ:** 850 – 950°C. Ở nhiệt độ này, phản ứng xảy ra nhanh và cho hiệu suất cao. Nếu nhiệt độ quá thấp, phản ứng chậm. Nếu quá cao, amoniacc sẽ bị phân hủy thành N_2 và H_2 , và NO tạo thành cũng có thể bị phân hủy.
 - **Áp suất:** Thường là áp suất thường hoặc áp suất thấp (1-10 atm). Mặc dù tăng áp suất sẽ làm cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch (chiều giảm số mol khí), nhưng trong thực tế người ta vẫn dùng áp suất hơi cao để tăng tốc độ phản ứng và giảm kích thước thiết bị.
 - **Chất xúc tác:** Hợp kim Platin-Rhodi (Pt-Rh) dạng lưới. Platin là xúc tác chính, Rhodi được thêm vào để tăng độ bền và hoạt tính của xúc tác.
- **Giải thích:** Hỗn hợp khí amoniacc và không khí (theo tỉ lệ khoảng 1:10 về thể tích) được lọc sạch và cho đi qua lưới xúc tác Pt-Rh đang được nung nóng. Phản ứng xảy ra rất nhanh (chỉ trong khoảng 0.0001 giây) và tỏa ra một

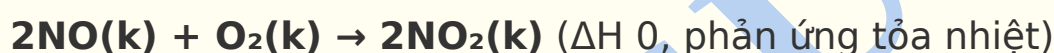
lượng nhiệt lớn, giúp duy trì nhiệt độ của lò phản ứng mà không cần cung cấp nhiệt liên tục từ bên ngoài. Hiệu suất chuyển hóa NH_3 thành NO có thể đạt tới 96-98%.

- **Ví dụ minh họa:** Trong một nhà máy, hỗn hợp khí NH_3 và không khí được nén đến áp suất 5 atm, sau đó được gia nhiệt và dẫn qua các lớp lưới xúc tác Pt-Rh ở 900°C . Khí NO tạo thành sẽ được làm nguội nhanh chóng để tránh bị phân hủy ngược lại.

Giai đoạn 2: Oxi hóa Nitơ monooxit (NO) thành Nitơ đioxit (NO_2)

Khí NO sinh ra từ giai đoạn 1 được làm nguội và tiếp tục bị oxi hóa bởi oxi dư trong không khí.

- **Phương trình phản ứng:**



- **Điều kiện phản ứng:**

- **Nhiệt độ:** Phản ứng này tự xảy ra ở nhiệt độ thường hoặc nhiệt độ thấp. Để tăng hiệu suất, người ta thường làm nguội hỗn hợp khí xuống khoảng 50°C . Theo nguyên lý Le Chatelier, phản ứng tỏa nhiệt sẽ ưu tiên chiều thuận khi nhiệt độ giảm.
- **Áp suất:** Áp suất cao sẽ làm tăng tốc độ phản ứng và favore cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận (chiều giảm số mol khí).

- **Giải thích:** Khí NO là khí không màu, sau khi phản ứng với O_2 sẽ tạo thành khí NO_2 có màu nâu đỏ đặc trưng. Phản ứng này không cần xúc tác. Lượng nhiệt tỏa ra trong giai đoạn này thường được tận dụng để đun nóng nước

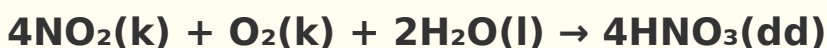
hoặc các dòng khí khác trong quy trình.

- **Ví dụ minh họa:** Dòng khí nóng chứa NO và O₂ dư từ giai đoạn 1 được dẫn qua thiết bị trao đổi nhiệt để hạ nhiệt độ xuống dưới 100°C. Quá trình chuyển hóa từ NO (không màu) sang NO₂ (nâu đỏ) có thể được quan sát rõ rệt.

Giai đoạn 3: Hấp thụ Nitơ đioxit (NO₂) bằng nước

Đây là giai đoạn cuối cùng, nơi NO₂ được chuyển hóa thành axit nitric.

- **Phương trình phản ứng:**



- **Điều kiện phản ứng:**

- **Nhiệt độ:** Nhiệt độ thấp và áp suất cao sẽ thuận lợi cho quá trình hấp thụ.
- **Thiết bị:** Quá trình được thực hiện trong các tháp hấp thụ cao, có các lớp đệm để tăng diện tích tiếp xúc giữa pha khí (NO₂, O₂) và pha lỏng (nước). Nước được tưới từ trên xuống, còn dòng khí đi từ dưới lên (ngược dòng).

- **Giải thích:** Trong tháp hấp thụ, NO₂ phản ứng với nước và oxi dư để tạo ra dung dịch axit nitric. Việc cung cấp đủ oxi là rất quan trọng để ngăn chặn phản ứng phụ tạo ra axit nitơ (HNO₂), một sản phẩm không mong muốn:
$$2\text{NO}_2(\text{k}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HNO}_3(\text{dd}) + \text{HNO}_2(\text{dd})$$
. Axit nitơ không bền và sẽ phân hủy ngược lại tạo ra NO, làm giảm hiệu suất.

- **Sản phẩm:** Dung dịch axit nitric thu được từ quá trình này thường có nồng độ từ 50% đến 68%. Để có axit nitric nồng độ cao hơn (trên 98%), người ta phải tiến hành chưng cất với một chất hút nước mạnh như axit sunfuric đặc (H₂SO₄).

- **Ví dụ minh họa:** Hỗn hợp khí NO_2 và O_2 được nén và đưa vào đáy tháp hấp thụ. Nước được bơm và phun từ đỉnh tháp. Dung dịch HNO_3 loãng hình thành và chảy xuống đáy tháp, sau đó được thu hồi. Khí thải ra khỏi đỉnh tháp (chủ yếu là N_2 và một lượng nhỏ các oxit của nitơ chưa phản ứng) sẽ được xử lý trước khi thải ra môi trường.

IV. Sơ đồ và các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất

1. Sơ đồ khối tổng quan quy trình sản xuất HNO_3

$[\text{NH}_3 + \text{Không khí}] \rightarrow [\text{Lò oxi hóa (Xúc tác Pt-Rh, } 850\text{-}950^\circ\text{C)}] \rightarrow [\text{NO} + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 + \text{O}_2 \text{ dư}] \rightarrow [\text{Thiết bị làm nguội}] \rightarrow [\text{Buồng oxi hóa}] \rightarrow [\text{NO}_2 + \text{N}_2 + \text{O}_2 \text{ dư}] \rightarrow [\text{Tháp hấp thụ (tưới nước)}] \rightarrow [\text{Dung dịch HNO}_3] + [\text{Khí thải}]$

2. Bảng tổng hợp các yếu tố ảnh hưởng

Giai đoạn	Yếu tố ảnh hưởng	Ảnh hưởng đến hiệu suất
1. Oxi hóa NH ₃	Nhiệt độ (850-950°C)	Tối ưu hóa tốc độ phản ứng và hiệu suất tạo NO. Nhiệt độ quá cao gây phân hủy sản phẩm.
	Áp suất (1-10 atm)	Tăng tốc độ phản ứng và giảm kích thước thiết bị.
	Xúc tác (Pt-Rh)	Cực kỳ quan trọng, quyết định hiệu suất chuyển hóa NH ₃ thành NO thay vì N ₂ .
2. Oxi hóa NO	Nhiệt độ (thấp, ~50°C)	Tăng hiệu suất tạo NO ₂ vì phản ứng tỏa nhiệt.
	Áp suất (cao)	Tăng tốc độ phản ứng và hiệu suất vì làm giảm số mol khí.
3. Hấp thụ NO ₂	Nhiệt độ (thấp)	Tăng khả năng hòa tan và phản ứng của khí trong nước.
	Áp suất (cao)	Tăng nồng độ khí, thúc đẩy quá trình hấp thụ.

V. Ứng dụng của Axit Nitric

Axit nitric là hóa chất nền cho nhiều ngành công nghiệp:

- **Sản xuất phân đạm:** Đây là ứng dụng lớn nhất. HNO_3 được dùng để sản xuất phân amoni nitrat (NH_4NO_3), canxi nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$).
- **Sản xuất thuốc nổ:** Dùng trong sản xuất các hợp chất nitro hữu cơ dễ nổ như Nitroglycerin, Trinitrotoluen (TNT),...
- **Công nghiệp hóa chất:** Là nguyên liệu để sản xuất thuốc nhuộm, sợi tổng hợp (nilon), dược phẩm, và các hóa chất khác.
- **Luyện kim và xi mạ:** Dùng để tẩy rửa bề mặt kim loại trước khi mạ hoặc sơn, hòa tan nhiều kim loại và hợp kim.

VI. Vấn đề môi trường và an toàn

1. Vấn đề môi trường

Quá trình sản xuất HNO_3 có thể phát thải các oxit của nitơ (NO_x) ra khí quyển. Các khí này là một trong những nguyên nhân chính gây ra:

- **Mưa axit:** NO_x phản ứng với hơi nước trong không khí tạo thành axit nitric, rơi xuống dưới dạng mưa axit, phá hủy hệ sinh thái và các công trình xây dựng.
- **Hiệu ứng nhà kính và khói quang hóa:** NO_x góp phần vào sự hình thành sương mù quang hóa và là một khí nhà kính.

Các nhà máy hiện đại phải có hệ thống xử lý khí thải để giảm thiểu lượng NO_x thải ra môi trường, ví dụ như dùng amoniac để khử NO_x thành N_2 .

2. An toàn lao động

- Axit nitric là một chất ăn mòn rất mạnh, có thể gây bỏng nặng khi tiếp xúc với da.
- Hơi axit nitric và các khí NO_x rất độc, gây tổn thương hệ hô hấp khi hít phải.
- Công nhân làm việc trong nhà máy sản xuất HNO_3 phải được trang bị đầy đủ đồ bảo hộ cá nhân (quần áo chống hóa chất, găng tay, kính mắt, mặt nạ phòng độc).