

Kỹ Năng Giải Bài Toán Đồ Thị Trong Hóa Học

(Phần Kết Tủa)

Bài toán đồ thị là một dạng bài tập vận dụng cao thường xuất hiện trong các đề thi THPT Quốc gia môn Hóa học. Dạng bài này yêu cầu học sinh không chỉ nắm vững bản chất các phản ứng hóa học mà còn phải có khả năng phân tích, đọc hiểu và xử lý số liệu từ đồ thị. Tài liệu này sẽ tổng hợp đầy đủ các dạng bài toán đồ thị liên quan đến sự tạo thành và hòa tan kết tủa, cùng với phương pháp giải chi tiết.

Phần 1: Nguyên tắc chung khi giải bài toán đồ thị

Bài toán đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của một đại lượng (thường là lượng kết tủa) vào một đại lượng khác (thường là lượng chất phản ứng được thêm vào). Để giải quyết tốt dạng bài này, học sinh cần:

- **Xác định các phản ứng xảy ra:** Viết đúng và đủ các phương trình phản ứng hóa học theo đúng thứ tự xảy ra.
- **Phân tích các giai đoạn trên đồ thị:** Mỗi đoạn thẳng (đi lên, đi xuống, nằm ngang) trên đồ thị tương ứng với một hoặc một giai đoạn phản ứng hóa học. Cần hiểu rõ mỗi đoạn biểu diễn quá trình gì.
- **Khai thác các điểm đặc biệt:** Chú ý đến các điểm như điểm bắt đầu có kết tủa, điểm kết tủa cực đại, điểm kết tủa bắt đầu tan, điểm kết tủa tan hết. Các tọa độ tại những điểm này chứa đựng thông tin quan trọng của bài toán.

- **Sử dụng tỉ lệ mol:** Dựa vào phương trình phản ứng để xác định tỉ lệ mol giữa các chất, từ đó thiết lập các mối quan hệ toán học trên đồ thị.

Phần 2: Các dạng bài toán đồ thị kết tủa thường gặp

Dạng 1: Sục khí CO_2 (hoặc SO_2) vào dung dịch Ca(OH)_2 hoặc Ba(OH)_2

1. Bản chất phản ứng

Khi sục từ từ khí CO_2 đến dư vào dung dịch Ca(OH)_2 , các phản ứng xảy ra theo thứ tự:

1. Tạo kết tủa: $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$
2. Hòa tan kết tủa: $\text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2 \text{ (tan)}$

2. Phân tích đồ thị

Đồ thị biểu diễn số mol kết tủa (trục tung) theo số mol CO_2 (trục hoành) có dạng hình tam giác cân.

- **Đoạn 1 (Đi lên):** CO_2 phản ứng tạo kết tủa CaCO_3 . Lượng kết tủa tăng dần và đạt cực đại khi toàn bộ Ca(OH)_2 đã phản ứng. Tại đỉnh, $n_{\text{kết tủa max}} = n_{\text{Ca(OH)}_2}$ và $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Ca(OH)}_2}$.
- **Đoạn 2 (Đi xuống):** CO_2 bắt đầu hòa tan kết tủa CaCO_3 . Lượng kết tủa giảm dần về 0. Khi kết tủa tan hết, tổng lượng CO_2 đã dùng là $n_{\text{CO}_2} = 2 * n_{\text{Ca(OH)}_2}$.

3. Công thức tính nhanh

- Khi đang tạo kết tủa (đoạn đi lên): $n_{\text{kết tủa}} = n_{\text{CO}_2}$

- Khi kết tủa đã bị hòa tan một phần (đoạn đi xuống): $n_{\text{CO}_2} = 2 * n_{\text{Ca(OH)}_2} - n_{\text{kết tủa}}$

4. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Sục từ từ khí CO_2 vào dung dịch chứa 0,1 mol Ca(OH)_2 . Khi dùng 0,08 mol CO_2 , khối lượng kết tủa thu được là bao nhiêu?

Giải: Ta có $n_{\text{Ca(OH)}_2} = 0,1$ mol. Tại điểm kết tủa cực đại, $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Ca(OH)}_2} = 0,1$ mol. Vì $n_{\text{CO}_2} = 0,08$ mol < 0,1 mol nên kết tủa chưa đạt cực đại. Áp dụng công thức: $n_{\text{kết tủa}} = n_{\text{CO}_2} = 0,08$ mol. Vậy $m_{\text{kết tủa}} = 0,08 * 100 = 8$ gam.

Ví dụ 2: Từ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của n_{BaCO_3} vào n_{CO_2} khi sục vào dung dịch Ba(OH)_2 , ta thấy tại điểm $n_{\text{CO}_2} = x$ mol thì thu được a mol kết tủa và tại điểm $n_{\text{CO}_2} = y$ mol cũng thu được a mol kết tủa. Biết điểm kết tủa cực đại là b mol. Mối quan hệ giữa x, y và b là gì?

Giải: Điểm kết tủa cực đại là b, tức là $n_{\text{Ba(OH)}_2} = b$ mol. Tại điểm (x, a), kết tủa chưa cực đại $\Rightarrow a = x$. Tại điểm (y, a), kết tủa đã qua cực đại $\Rightarrow y = 2 * n_{\text{Ba(OH)}_2} - a = 2b - a$. Thay $a = x$ vào, ta có $y = 2b - x$, hay **$x + y = 2b$** .

Dạng 2: Cho từ từ dung dịch kiềm (NaOH, KOH) vào dung dịch muối

Al^{3+}

1. Bản chất phản ứng

Khi cho từ từ dung dịch OH^- vào dung dịch Al^{3+} , các phản ứng xảy ra theo thứ tự:

1. Tạo kết tủa: **$\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al(OH)}_3 \downarrow$**

2. Hòa tan kết tủa: **$\text{Al(OH)}_3 + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Al(OH)}_4]^-$ (tan)**

Lưu ý: Nếu dung dịch ban đầu có chứa H^+ dư thì OH^- sẽ phản ứng trung hòa H^+ trước: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$.

2. Phân tích đồ thị

Đồ thị biểu diễn $n_{Al(OH)_3}$ (trục tung) theo n_{OH^-} (trục hoành) có dạng hình tam giác không cân.

- **Đoạn 1 (Đi lên):** Tạo kết tủa $Al(OH)_3$. Lượng kết tủa tăng dần. Để đạt kết tủa cực đại, tỉ lệ $n_{OH^-} : n_{Al^{3+}} = 3:1$. Tại đỉnh, $n_{\text{kết tủa max}} = n_{Al^{3+}}$ và $n_{OH^-} = 3 * n_{Al^{3+}}$.
- **Đoạn 2 (Đi xuống):** Hòa tan kết tủa $Al(OH)_3$. Để hòa tan hết kết tủa, tỉ lệ n_{OH^-} (hòa tan) : $n_{Al(OH)_3} = 1:1$. Khi kết tủa tan hết, tổng lượng OH^- đã dùng là n_{OH^-} (tổng) = $4 * n_{Al^{3+}}$.
- Tỉ lệ mol OH^- ở hai giai đoạn (tạo kết tủa : hòa tan kết tủa) là 3:1.

3. Công thức tính nhanh

- Khi đang tạo kết tủa (đoạn đi lên): $n_{OH^-} = 3 * n_{\text{kết tủa}}$
- Khi kết tủa đã bị hòa tan một phần (đoạn đi xuống): $n_{OH^-} = 4 * n_{Al^{3+}} - n_{\text{kết tủa}}$

4. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Cho từ từ dung dịch NaOH vào 100 ml dung dịch $AlCl_3$ 1M. Để thu được 3,9 gam kết tủa thì thể tích dung dịch NaOH 1M cần dùng là bao nhiêu?

Giải: $n_{Al^{3+}} = 0,1 * 1 = 0,1$ mol. $n_{\text{kết tủa}} = 3,9 / 78 = 0,05$ mol. Vì $n_{\text{kết tủa}} < n_{Al^{3+}}$, có 2 trường hợp xảy ra:

TH1: Kết tủa chưa đạt cực đại. $n_{NaOH} = 3 * n_{\text{kết tủa}} = 3 * 0,05 = 0,15$ mol. V NaOH

$$= 0,15 / 1 = 0,15 \text{ lít} = 150 \text{ ml.}$$

TH2: Kết tủa đã bị hòa tan một phần. $n_{\text{NaOH}} = 4 * n_{\text{Al}^{3+}} - n_{\text{kết tủa}} = 4 * 0,1 - 0,05 = 0,35 \text{ mol.}$ $V_{\text{NaOH}} = 0,35 / 1 = 0,35 \text{ lít} = 350 \text{ ml.}$

Dạng 3: Cho từ từ dung dịch axit (HCl, H₂SO₄) vào dung dịch muối Aluminat (NaAlO₂ hoặc Na[Al(OH)₄])

1. Bản chất phản ứng

Đây là bài toán ngược của Dạng 2. Các phản ứng xảy ra theo thứ tự:



Lưu ý: Nếu dung dịch ban đầu có chứa OH⁻ dư thì H⁺ sẽ phản ứng trung hòa OH⁻ trước: $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$.

2. Phân tích đồ thị

Đồ thị biểu diễn $n_{\text{Al}(\text{OH})_3}$ (trục tung) theo n_{H^+} (trục hoành) cũng có dạng hình tam giác không cân.

- **Đoạn 1 (Đi lên):** Tạo kết tủa Al(OH)₃. Tỉ lệ $n_{\text{H}^+} : n_{[\text{Al}(\text{OH})_4]^-} = 1:1$. Tại đỉnh, $n_{\text{kết tủa max}} = n_{[\text{Al}(\text{OH})_4]^-}$ và $n_{\text{H}^+} = n_{[\text{Al}(\text{OH})_4]^-}$.
- **Đoạn 2 (Đi xuống):** Hòa tan kết tủa Al(OH)₃. Tỉ lệ $n_{\text{H}^+} \text{ (hòa tan)} : n_{\text{Al}(\text{OH})_3} = 3:1$. Khi kết tủa tan hết, tổng lượng H⁺ đã dùng là $n_{\text{H}^+} \text{ (tổng)} = 4 * n_{[\text{Al}(\text{OH})_4]^-}$.
- Tỉ lệ mol H⁺ ở hai giai đoạn (tạo kết tủa : hòa tan kết tủa) là 1:3.

3. Công thức tính nhanh

- Khi đang tạo kết tủa (đoạn đi lên): $n_{H^+} = n_{\text{kết tủa}}$
- Khi kết tủa đã bị hòa tan một phần (đoạn đi xuống): $n_{H^+} = 4 * n_{[Al(OH)_4]^-} - 3 * n_{\text{kết tủa}}$

4. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Nhỏ từ từ dung dịch HCl 1M vào 200 ml dung dịch NaAlO₂ 1M. Để thu được 7,8 gam kết tủa thì thể tích dung dịch HCl đã dùng là bao nhiêu?

Giải: $n_{NaAlO_2} = 0,2 * 1 = 0,2 \text{ mol}$. $n_{\text{kết tủa}} = 7,8 / 78 = 0,1 \text{ mol}$. Vì $n_{\text{kết tủa}} < n_{NaAlO_2}$, có 2 trường hợp xảy ra:

TH1: Kết tủa chưa đạt cực đại. $n_{HCl} = n_{\text{kết tủa}} = 0,1 \text{ mol}$. $V_{HCl} = 0,1 / 1 = 0,1 \text{ lít} = 100 \text{ ml}$.

TH2: Kết tủa đã bị hòa tan một phần. $n_{HCl} = 4 * n_{NaAlO_2} - 3 * n_{\text{kết tủa}} = 4 * 0,2 - 3 * 0,1 = 0,5 \text{ mol}$. $V_{HCl} = 0,5 / 1 = 0,5 \text{ lít} = 500 \text{ ml}$.

Dạng 4: Đồ thị hỗn hợp (Al³⁺, H⁺ và OH⁻)

1. Bản chất phản ứng

Khi cho từ từ dung dịch OH⁻ vào dung dịch chứa Al³⁺ và H⁺, thứ tự phản ứng là:

1. Trung hòa axit: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$
2. Tạo kết tủa: $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3 \downarrow$
3. Hòa tan kết tủa: $Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow [Al(OH)_4]^- \text{ (tan)}$

2. Phân tích đồ thị

Đồ thị có thêm một đoạn nằm ngang trên trục hoành ở đầu tiên.

- **Đoạn 1 (Nằm ngang, $n_{\text{kết tủa}} = 0$):** OH^- phản ứng với H^+ . Chiều dài đoạn này trên trục hoành chính là n_{H^+} .
- **Đoạn 2 (Đi lên):** Tạo kết tủa $\text{Al}(\text{OH})_3$. Lượng OH^- tiêu tốn trong giai đoạn này là $3 * n_{\text{Al}^{3+}}$.
- **Đoạn 3 (Đi xuống):** Hòa tan kết tủa $\text{Al}(\text{OH})_3$. Lượng OH^- tiêu tốn trong giai đoạn này là $n_{\text{Al}^{3+}}$.

3. Ví dụ minh họa

Ví dụ: Đồ thị biểu diễn lượng kết tủa khi cho NaOH vào dung dịch X chứa AlCl_3 và HCl . Trục hoành là V_{NaOH} (ml). Đoạn đầu tiên kết tủa bằng 0 kéo dài từ $V=0$ đến $V=50$ ml. Sau đó kết tủa tăng dần đến cực đại tại $V=200$ ml và tan hết tại $V=250$ ml. Biết nồng độ NaOH là 1M. Tính nồng độ mol của AlCl_3 và HCl trong dung dịch X (giả sử $V_X = 100$ ml).

Giải:

- Giai đoạn 1 ($V=0$ đến 50 ml): Trung hòa HCl . $n_{\text{OH}^-} = n_{\text{H}^+} = 0,05 * 1 = 0,05$ mol. $[\text{HCl}] = 0,05 / 0,1 = 0,5$ M.
- Giai đoạn 2 ($V=50$ đến 200 ml): Tạo kết tủa. V_{NaOH} đã dùng = $200 - 50 = 150$ ml. $n_{\text{OH}^-} = 0,15 * 1 = 0,15$ mol. Ta có $n_{\text{OH}^-} = 3 * n_{\text{Al}^{3+}} \Rightarrow n_{\text{Al}^{3+}} = 0,15 / 3 = 0,05$ mol. $[\text{AlCl}_3] = 0,05 / 0,1 = 0,5$ M.
- Kiểm tra giai đoạn 3 ($V=200$ đến 250 ml): Hòa tan kết tủa. V_{NaOH} đã dùng = $250 - 200 = 50$ ml. $n_{\text{OH}^-} = 0,05 * 1 = 0,05$ mol. Ta có $n_{\text{OH}^-} = n_{\text{Al}(\text{OH})_3} = n_{\text{Al}^{3+}} = 0,05$ mol (phù hợp).

Vậy nồng độ các chất là $[\text{HCl}] = 0,5$ M và $[\text{AlCl}_3] = 0,5$ M.