

Chuyên đề tổng hợp các bài toán đồ thị Hóa học nâng cao

Bài toán đồ thị là một dạng toán 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 hóa học của các phản ứng mà còn phải có khả năng phân tích, tư duy logic và liên kết với toán học. Chuyên đề này sẽ tổng hợp đầy đủ các dạng bài toán đồ thị thường gặp, kèm theo phương pháp giải chi tiết và ví dụ minh họa.

I. Nguyên tắc chung khi giải bài toán đồ thị

Để giải quyết tốt các bài toán đồ thị, học sinh cần tuân thủ các bước sau:

- Xác định các trục của đồ thị:** Trục tung (y) và trục hoành (x) biểu diễn đại lượng nào (số mol chất phản ứng, số mol kết tủa, thể tích khí,...).
- Phân tích các giai đoạn của đồ thị:** Mỗi đoạn thẳng trên đồ thị (đi lên, đi xuống, nằm ngang) tương ứng với một hoặc một chuỗi các phản ứng hóa học xảy ra.
- Viết phương trình phản ứng:** Viết đầy đủ và đúng thứ tự các phương trình hóa học xảy ra trong từng giai đoạn.
- Xác định các điểm đặc biệt:** Chú ý các điểm gãy, điểm cực đại, điểm mà lượng kết tủa bắt đầu không đổi hoặc bắt đầu bị hòa tan. Các điểm này là

"chìa khóa" để giải bài toán.

5. **Sử dụng mối quan hệ tỉ lệ mol và tính chất hình học:** Dựa vào phương trình phản ứng để thiết lập tỉ lệ mol giữa các chất và áp dụng các tính chất của tam giác đồng dạng, định lý Thales, độ dốc,... để tìm ra các giá trị chưa biết.

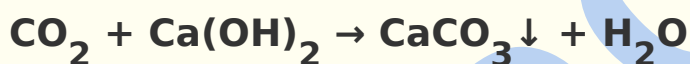
II. Các dạng bài toán đồ thị thường gặp

Dạng 1: Bài toán CO₂/SO₂ tác dụng với dung dịch kiềm (Ca(OH)₂, Ba(OH)₂)

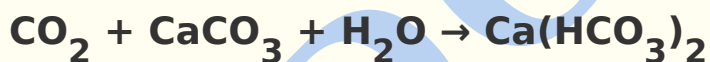
Đây là dạng đồ thị cơ bản nhất, biểu diễn sự phụ thuộc của số mol kết tủa (CaCO₃, BaSO₃) vào số mol CO₂ hoặc SO₂ được sục vào dung dịch kiềm.

Bản chất phản ứng:

- Giai đoạn 1 (đồ thị đi lên): Tạo kết tủa.



- Giai đoạn 2 (đồ thị đi xuống): Hòa tan kết tủa.



Công thức và nhận xét đồ thị:

- Đồ thị có dạng hình tam giác cân.
- Tại đỉnh tam giác, lượng kết tủa đạt cực đại: $n_{\text{kết tủa max}} = n_{\text{Ca(OH)}_2}$. Khi đó, $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Ca(OH)}_2}$.
- Khi kết tủa bị hòa tan hết, tổng lượng CO₂ đã dùng là: $n_{\text{CO}_2} = 2 * n_{\text{Ca(OH)}_2}$.

- Với một lượng kết tủa **y** cho trước ($y \leq n_{\text{kết tủa max}}$), sẽ có hai giá trị **x** của n_{CO_2} tương ứng:
 - Trường hợp 1 (chưa đạt kết tủa max): $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{kết tủa}}$
 - Trường hợp 2 (đã qua điểm cực đại): $n_{\text{CO}_2} = 2 * n_{\text{Ca(OH)}_2} - n_{\text{kết tủa}}$

Ví dụ 1: Sục từ từ khí CO_2 đến dư vào 100 ml dung dịch Ca(OH)_2 1M. Vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của số mol kết tủa CaCO_3 vào số mol CO_2 .

Phân tích: $n_{\text{Ca(OH)}_2} = 0.1 * 1 = 0.1 \text{ mol}$. Vậy $n_{\text{kết tủa max}} = 0.1 \text{ mol}$. Đồ thị sẽ có đỉnh tại (0.1, 0.1) và kết thúc tại điểm (0.2, 0).

Ví dụ 2: Sục V lít khí CO_2 (đktc) vào dung dịch chứa 0.2 mol Ba(OH)_2 , thu được 19.7 gam kết tủa. Tìm giá trị của V.

Giải: $n_{\text{Ba(OH)}_2} = 0.2 \text{ mol}$. $n_{\text{kết tủa}} = n_{\text{BaCO}_3} = 19.7 / 197 = 0.1 \text{ mol}$.

Vì $n_{\text{kết tủa}} < n_{\text{Ba(OH)}_2}$ nên có 2 trường hợp xảy ra:

TH1: Ba(OH)_2 dư. Phản ứng chỉ tạo kết tủa.

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{kết tủa}} = 0.1 \text{ mol} \rightarrow V = 0.1 * 22.4 = 2.24 \text{ lít.}$$

TH2: CO_2 đã hòa tan một phần kết tủa.

$$n_{\text{CO}_2} = 2 * n_{\text{Ba(OH)}_2} - n_{\text{kết tủa}} = 2 * 0.2 - 0.1 = 0.3 \text{ mol} \rightarrow V = 0.3 * 22.4 = 6.72 \text{ lít.}$$

Dạng 2: Bài toán dung dịch kiềm (NaOH , KOH) tác dụng với muối $\text{Al}^{3+}/\text{Zn}^{2+}$

Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của số mol kết tủa Al(OH)_3 hoặc Zn(OH)_2 vào số mol OH^- thêm vào.

Bản chất phản ứng (với Al^{3+}):

- Giai đoạn 1 (tạo kết tủa): $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$
- Giai đoạn 2 (hòa tan kết tủa): $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$

Công thức và nhận xét đồ thị:

- Đồ thị có dạng tam giác không cân. Đoạn đi lên có độ dốc lớn hơn đoạn đi xuống.
- Lượng kết tủa đạt cực đại khi: $n_{\text{OH}^-} = 3 * n_{\text{Al}^{3+}}$ và $n_{\text{kết tủa max}} = n_{\text{Al}^{3+}}$.
- Kết tủa tan hết khi tổng lượng OH^- đã dùng là: $n_{\text{OH}^-} = 4 * n_{\text{Al}^{3+}}$.
- Tỉ lệ mol OH^- ở giai đoạn tạo kết tủa và hòa tan kết tủa là 3:1.
- Với một lượng kết tủa y cho trước ($y \leq n_{\text{kết tủa max}}$), sẽ có hai giá trị x của n_{OH^-} :
 - Trường hợp 1 (chưa đạt kết tủa max): $n_{\text{OH}^-} = 3 * n_{\text{kết tủa}}$
 - Trường hợp 2 (đã qua điểm cực đại): $n_{\text{OH}^-} = 4 * n_{\text{Al}^{3+}} - n_{\text{kết tủa}}$

Ví dụ: Nhỏ từ từ dung dịch NaOH vào dung dịch chứa 0.1 mol AlCl_3 . Khi lượng kết tủa thu được là 0.06 mol thì số mol NaOH đã dùng là bao nhiêu?

Giải: $n_{\text{Al}^{3+}} = 0.1 \text{ mol}$. $n_{\text{kết tủa}} = 0.06 \text{ mol}$.

TH1: AlCl_3 dư, kết tủa chưa đạt cực đại.

$$n_{\text{NaOH}} = 3 * n_{\text{kết tủa}} = 3 * 0.06 = 0.18 \text{ mol}.$$

TH2: Kết tủa đã bị hòa tan một phần.

$$n_{\text{NaOH}} = 4 * n_{\text{Al}^{3+}} - n_{\text{kết tủa}} = 4 * 0.1 - 0.06 = 0.34 \text{ mol}.$$

Dạng 3: Bài toán axit (HCl, H₂SO₄) tác dụng với dung dịch muối AlO₂⁻

Đây là bài toán ngược của dạng 2. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của số mol kết tủa Al(OH)₃ vào số mol H⁺ thêm vào.

Bản chất phản ứng:

- Giai đoạn 1 (tạo kết tủa): $\text{H}^+ + \text{AlO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al(OH)}_3 \downarrow$
- Giai đoạn 2 (hòa tan kết tủa): $\text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$

Công thức và nhận xét đồ thị:

- Đồ thị có dạng tam giác không cân. Đoạn đi xuống có độ dốc lớn hơn đoạn đi lên.
- Lượng kết tủa đạt cực đại khi: $n_{\text{H}^+} = n_{\text{AlO}_2^-}$ và $n_{\text{kết tủa max}} = n_{\text{AlO}_2^-}$.
- Kết tủa tan hết khi tổng lượng H⁺ đã dùng là: $n_{\text{H}^+} = 4 * n_{\text{AlO}_2^-}$.
- Tỉ lệ mol H⁺ ở giai đoạn tạo kết tủa và hòa tan kết tủa là 1:3.
- Với một lượng kết tủa **y** cho trước ($y \leq n_{\text{kết tủa max}}$), sẽ có hai giá trị **x** của n_{H^+} :
 - Trường hợp 1 (chưa đạt kết tủa max): $n_{\text{H}^+} = n_{\text{kết tủa}}$
 - Trường hợp 2 (đã qua điểm cực đại): $n_{\text{H}^+} = 4 * n_{\text{AlO}_2^-} - 3 * n_{\text{kết tủa}}$

Ví dụ: Nhỏ từ từ dung dịch HCl vào dung dịch chứa 0.2 mol NaAlO₂. Khi số mol HCl đã dùng là 0.26 mol thì khối lượng kết tủa thu được là bao nhiêu?

Giải: $n_{\text{AlO}_2^-} = 0.2 \text{ mol}$.

Tại điểm kết tủa cực đại: $n_{\text{H}^+} = n_{\text{AlO}_2^-} = 0.2 \text{ mol}$.

Tại điểm kết tủa tan hết: $n_{\text{H}^+} = 4 * n_{\text{AlO}_2^-} = 0.8 \text{ mol}$.

Ta thấy $0.2 n_{H^+}$ (đã dùng) = $0.26 - 0.8$. Vậy kết tủa đã đạt cực đại và bị hòa tan một phần.

Áp dụng công thức TH2: $n_{H^+} = 4 * n_{AlO_2^-} - 3 * n_{\text{kết tủa}}$

$$\rightarrow 0.26 = 4 * 0.2 - 3 * n_{\text{kết tủa}}$$

$$\rightarrow 3 * n_{\text{kết tủa}} = 0.8 - 0.26 = 0.54$$

$$\rightarrow n_{\text{kết tủa}} = 0.18 \text{ mol.}$$

$$\rightarrow m_{\text{kết tủa}} = 0.18 * 78 = 14.04 \text{ gam.}$$

Dạng 4: Các bài toán đồ thị kết hợp

Đây là dạng phức tạp, kết hợp nhiều phản ứng xảy ra theo thứ tự ưu tiên.

4.1. Nhỏ từ từ dung dịch kiềm vào dung dịch chứa H^+ và Al^{3+}

Thứ tự phản ứng:

1. Trung hòa axit trước: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ (đoạn nằm ngang, chưa có kết tủa)
2. Tạo kết tủa: $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3 \downarrow$ (đoạn đi lên)
3. Hòa tan kết tủa: $Al(OH)_3 + OH^- \rightarrow AlO_2^- + 2H_2O$ (đoạn đi xuống)

Ví dụ: Nhỏ từ từ dung dịch NaOH vào dung dịch chứa x mol HCl và y mol $AlCl_3$.

Đồ thị biểu diễn số mol kết tủa như sau: Tại $n_{NaOH} = 0.3 \text{ mol}$ thì bắt đầu có kết tủa. Tại $n_{NaOH} = 0.9 \text{ mol}$ thì kết tủa đạt cực đại. Tìm x, y.

Giải:

- Đoạn đầu tiên (từ 0 đến 0.3 mol NaOH) là phản ứng trung hòa HCl. Vậy **$x = n_{HCl} = n_{NaOH} = 0.3 \text{ mol}$** .

- Đoạn tạo kết tủa bắt đầu từ $n_{NaOH} = 0.3 \text{ mol}$ đến $n_{NaOH} = 0.9 \text{ mol}$. Lượng NaOH dùng để tạo kết tủa là $0.9 - 0.3 = 0.6 \text{ mol}$.

$$n_{\text{NaOH (tạo kết tủa)}} = 3 * n_{\text{Al}^{3+}} \rightarrow 0.6 = 3 * y \rightarrow y = 0.2 \text{ mol.}$$

4.2. Sục CO₂ vào dung dịch chứa NaOH và Ca(OH)₂

Thứ tự phản ứng:

1. Tạo kết tủa trước: $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$
2. Tác dụng với NaOH: $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
3. Tạo muối axit: $\text{CO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3$
4. Hòa tan kết tủa: $\text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2$

Nhận xét đồ thị: Đồ thị sẽ có một đoạn đi lên (tạo kết tủa), tiếp theo là một đoạn nằm ngang (kết tủa không đổi, CO₂ phản ứng với NaOH), và cuối cùng là một đoạn đi xuống (hòa tan kết tủa).

Ví dụ: Sục CO₂ vào dung dịch chứa 0.1 mol Ca(OH)₂ và 0.1 mol NaOH. Đồ thị sẽ có các điểm gây quan trọng:

- Kết tủa max tại $n_{\text{CO}_2} = 0.1 \text{ mol}$ ($n_{\text{kết tủa}} = 0.1 \text{ mol}$).
- Đoạn nằm ngang kết thúc khi n_{CO_2} pư với NaOH hết. $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Ca(OH)}_2} + n_{\text{NaOH}} = 0.1 + 0.1 = 0.2 \text{ mol}$.
- Kết tủa bắt đầu tan từ $n_{\text{CO}_2} > 0.2 \text{ mol}$.
- Kết tủa tan hết khi tổng $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Ca(OH)}_2} + n_{\text{NaOH}} + n_{\text{CaCO}_3} = 0.1 + 0.1 + 0.1 = 0.3 \text{ mol}$. (Sai, phải tính tổng mol OH⁻)

Chính xác hơn: Tổng OH⁻ = 2*0.1 + 0.1 = 0.3 mol. Kết tủa tan hết khi $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{OH}^-} - n_{\text{kết tủa}} = 0.3 - 0 = 0.3 \text{ mol}$? Không, phải là $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{Ca(OH)}_2} + n_{\text{NaOH}} = 0.1 + 0.1 = 0.2 \text{ mol}$. Hoặc cách khác: Tổng n_{CO_2} để tạo muối trung hòa = $n_{\text{CaCO}_3} + n_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 0.1 + 0.1/2 = 0.15 \text{ mol}$. Tổng n_{CO_2} để tạo muối axit = $n_{\text{Ca(HCO}_3)_2}$

+ $n_{\text{NaHCO}_3} = 2 \cdot 0.1 + 0.1 = 0.3 \text{ mol}$. Đồ thị sẽ phức tạp hơn, cần phân tích kỹ thứ tự.

Cách phân tích đúng:

1. $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ ($n_{\text{CO}_2} = 0.1$, $n_{\text{kt}} = 0.1$)
2. $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$ ($n_{\text{CO}_2} = 0.05$, tổng $\text{CO}_2 = 0.15$)
3. $\text{CO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3$ ($n_{\text{CO}_2} = 0.05$, tổng $\text{CO}_2 = 0.2$)
4. $\text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2$ ($n_{\text{CO}_2} = 0.1$, tổng $\text{CO}_2 = 0.3$)

Như vậy, đồ thị có điểm gãy tại $n_{\text{CO}_2} = 0.1$, $n_{\text{CO}_2} = 0.15$, $n_{\text{CO}_2} = 0.2$, $n_{\text{CO}_2} = 0.3$.