

Tổng quan về phương pháp đồ thị trong bài toán CO₂ tác dụng với dung dịch kiềm

Bài toán sục khí CO₂ (hoặc SO₂) vào dung dịch kiềm (Ca(OH)₂, Ba(OH)₂, NaOH, KOH...) là một dạng bài tập kinh điển và thường xuyên xuất hiện trong các đề thi, đặc biệt là kỳ thi THPT Quốc gia. Việc sử dụng đồ thị không chỉ giúp hình dung quá trình phản ứng một cách trực quan mà còn là một công cụ mạnh mẽ để giải quyết bài toán một cách nhanh chóng và chính xác, đặc biệt với các câu hỏi phức tạp hoặc biện luận.

I. Cơ sở lý thuyết của phản ứng

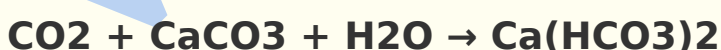
Khi sục khí CO₂ vào dung dịch kiềm, các phản ứng xảy ra theo thứ tự, tùy thuộc vào tỉ lệ mol giữa CO₂ và dung dịch kiềm.

1. Với dung dịch Ca(OH)₂ hoặc Ba(OH)₂:

- **Tạo kết tủa:** Khi CO₂ thiếu hoặc vừa đủ, sẽ tạo ra muối trung hòa không tan (kết tủa).

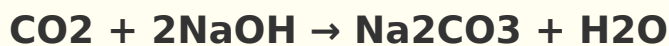


- **Hòa tan kết tủa:** Khi CO₂ dư, nó sẽ tiếp tục phản ứng với kết tủa vừa tạo thành để tạo ra muối axit tan.

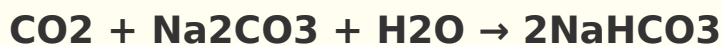


2. Với dung dịch NaOH hoặc KOH:

- **Tạo muối trung hòa:**



- **Tạo muối axit:** Khi CO_2 dư, nó sẽ tiếp tục phản ứng với muối trung hòa.



3. Với hỗn hợp dung dịch NaOH và Ca(OH)_2 :

Thứ tự phản ứng ưu tiên như sau:

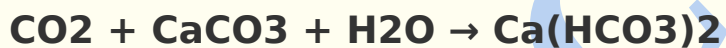
1. CO_2 phản ứng với bazơ mạnh hơn (Ca(OH)_2) để tạo kết tủa trước.



2. Sau khi Ca(OH)_2 hết, CO_2 phản ứng với NaOH .



3. Cuối cùng, nếu CO_2 vẫn còn dư, nó sẽ hòa tan kết tủa.



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

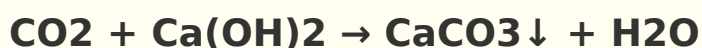
1. Phân tích đồ thị

Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của số mol kết tủa ($n\downarrow$, trục tung) vào số mol CO_2 (n_{CO_2} , trục hoành) có dạng hình tam giác cân.

- **Trục tung (y):** Số mol kết tủa $n\downarrow$ (n_{CaCO_3} hoặc n_{BaCO_3})
- **Trục hoành (x):** Số mol CO_2 (n_{CO_2})

Quá trình phản ứng được chia làm 2 giai đoạn:

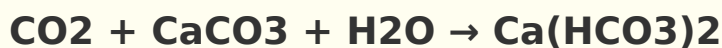
- **Giai đoạn 1 (Đoạn thẳng đi lên):** Tạo kết tủa.



Trong giai đoạn này, cứ 1 mol CO_2 phản ứng sẽ tạo ra 1 mol kết tủa. Do đó, $n\downarrow = n\text{CO}_2$. Đồ thị là đường thẳng $y = x$. Quá trình này dừng lại khi toàn bộ Ca(OH)_2 đã phản ứng hết, lúc này lượng kết tủa đạt cực đại (đỉnh của tam giác).

Tại đỉnh: $n\downarrow_{\text{max}} = n\text{Ca(OH)}_2$ và $n\text{CO}_2 = n\text{Ca(OH)}_2$.

- **Giai đoạn 2 (Đoạn thẳng đi xuống):** Hòa tan kết tủa.



Khi tiếp tục sục CO_2 , kết tủa bắt đầu bị hòa tan. Lượng kết tủa giảm dần cho đến khi bằng 0. Giai đoạn này kết thúc khi kết tủa tan hết.

Tổng lượng CO_2 cần để hòa tan hết kết tủa đúng bằng lượng kết tủa cực đại.

Do đó, điểm cuối của đồ thị có tọa độ $x = n\text{Ca(OH)}_2$ (tạo tủa) + $n\text{CaCO}_3_{\text{max}}$ (hòa tan tủa) = $2 * n\text{Ca(OH)}_2$.

2. Công thức giải nhanh từ đồ thị

Đặt $a = n\text{Ca(OH)}_2$ và $b = n\downarrow$ (lượng kết tủa thu được tại một thời điểm).

Nếu bài toán cho lượng kết tủa b và yêu cầu tìm lượng CO_2 cần dùng, sẽ có 2 trường hợp tương ứng với 2 điểm cắt của đường thẳng $y = b$ với đồ thị:

- **Trường hợp 1 (Nhánh đi lên):** Kết tủa chưa đạt cực đại.

$$n\text{CO}_2 = n\downarrow = b$$

- **Trường hợp 2 (Nhánh đi xuống):** Kết tủa đã đạt cực đại và bị hòa tan một phần.

$$n_{\text{CO}_2} = 2 * n_{\text{Ca(OH)}_2} - n_{\downarrow} = 2a - b$$

3. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Sục từ từ V lít khí CO₂ (đktc) vào 200ml dung dịch Ca(OH)₂ 1M, thu được 15 gam kết tủa. Tính V?

Giải:

Ta có: $n_{\text{Ca(OH)}_2} = 0.2 * 1 = 0.2 \text{ mol}$.

$n_{\text{CaCO}_3 \downarrow} = 15 / 100 = 0.15 \text{ mol}$.

Nhận thấy $n_{\downarrow} < n_{\text{Ca(OH)}_2}$ (0.15 < 0.2), vậy có 2 trường hợp xảy ra.

TH1: Ca(OH)₂ dư, kết tủa chưa đạt cực đại (nhánh đi lên).

$n_{\text{CO}_2} = n_{\downarrow} = 0.15 \text{ mol}$.

$V = 0.15 * 22.4 = 3.36 \text{ lít}$.

TH2: CO₂ dư, kết tủa đã bị hòa tan một phần (nhánh đi xuống).

$n_{\text{CO}_2} = 2 * n_{\text{Ca(OH)}_2} - n_{\downarrow} = 2 * 0.2 - 0.15 = 0.25 \text{ mol}$.

$V = 0.25 * 22.4 = 5.6 \text{ lít}$.

Vậy V có thể là 3.36 lít hoặc 5.6 lít.

III. Dạng 2: Sục khí CO₂ vào dung dịch chứa hỗn hợp NaOH và Ca(OH)₂

1. Phân tích đồ thị

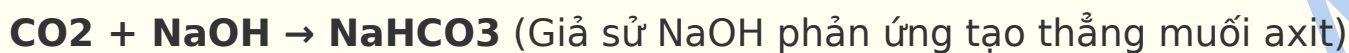
Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của $n_{\downarrow}$ vào n_{CO_2} trong trường hợp này có dạng hình thang. Thứ tự phản ứng quyết định hình dạng của đồ thị:

1. **Giai đoạn 1 (Đoạn thẳng đi lên):** Tạo kết tủa.



Tương tự dạng 1, $n\downarrow = n\text{CO}_2$. Kết thúc giai đoạn này khi $n\text{CO}_2 = n\text{Ca(OH)}_2$ và $n\downarrow_{\text{max}} = n\text{Ca(OH)}_2$.

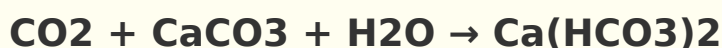
2. **Giai đoạn 2 (Đoạn thẳng nằm ngang):** CO_2 phản ứng với NaOH .



Trong giai đoạn này, lượng kết tủa không đổi và bằng giá trị cực đại. Lượng CO_2 phản ứng thêm trong giai đoạn này đúng bằng số mol NaOH .

Độ dài của đoạn nằm ngang trên trục hoành là: **$n\text{NaOH}$** .

3. **Giai đoạn 3 (Đoạn thẳng đi xuống):** Hòa tan kết tủa.



Kết tủa bắt đầu tan, lượng kết tủa giảm dần. Quá trình này cần một lượng CO_2 bằng đúng lượng kết tủa ban đầu ($n\text{CaCO}_3_{\text{max}}$).

2. Các điểm đặc biệt trên đồ thị

Đặt **$a = n\text{Ca(OH)}_2$** và **$b = n\text{NaOH}$** .

- **Điểm bắt đầu (0, 0):** Bắt đầu sục CO_2 .
- **Điểm kết tủa cực đại:** Tọa độ (a, a) . Tại đây $n\text{CO}_2 = a$ và $n\downarrow = a$.
- **Điểm bắt đầu hòa tan kết tủa:** Tọa độ $(a + b, a)$. Tại đây toàn bộ Ca(OH)_2 và NaOH đã phản ứng.
- **Điểm kết tủa tan hết:** Tọa độ $(2a + b, 0)$. Tổng CO_2 đã dùng = a (tạo tủa) + b (pứ với NaOH) + a (hòa tan tủa).

3. Công thức giải nhanh từ đồ thị

Khi bài toán cho lượng kết tủa **y** (với $0 < y < a$) và yêu cầu tìm n_{CO_2} , sẽ có 2 trường hợp:

- **Trường hợp 1 (Nhánh đi lên):**

$$n_{\text{CO}_2} = y$$

- **Trường hợp 2 (Nhánh đi xuống):** Dựa vào tính đối xứng hoặc phương trình đường thẳng.

$$n_{\text{CO}_2} = (2a + b) - y$$

4. Ví dụ minh họa

Ví dụ 2: Sục từ từ khí CO_2 vào dung dịch chứa 0.1 mol Ca(OH)_2 và 0.15 mol NaOH . Đồ thị biểu diễn lượng kết tủa theo số mol CO_2 được cho như hình vẽ. Nếu thu được 0.05 mol kết tủa thì số mol CO_2 đã dùng là bao nhiêu?

Giải:

Ta có: $a = n_{\text{Ca(OH)}_2} = 0.1 \text{ mol}$; $b = n_{\text{NaOH}} = 0.15 \text{ mol}$.

Lượng kết tủa thu được là $y = 0.05 \text{ mol}$.

Vì $y < a$ (0.05 < 0.1), có 2 khả năng xảy ra.

TH1: Kết tủa đang được tạo thành (nhánh lên).

$$n_{\text{CO}_2} = y = 0.05 \text{ mol}.$$

TH2: Kết tủa đã bị hòa tan một phần (nhánh xuống).

$$n_{\text{CO}_2} = (2a + b) - y = (2 * 0.1 + 0.15) - 0.05 = 0.35 - 0.05 = 0.3 \text{ mol}.$$

Vậy n_{CO_2} có thể là 0.05 mol hoặc 0.3 mol.

IV. Dạng 3: Bài toán ngược - Khai thác thông tin từ đồ thị cho trước

Dạng bài này cung cấp một đồ thị với một vài giá trị và yêu cầu tìm các đại lượng chưa biết (nồng độ, thể tích, khối lượng...). Phương pháp là dựa vào tọa độ các điểm đặc biệt đã phân tích ở trên.

Ví dụ minh họa

Ví dụ 3: Đồ thị dưới đây biểu diễn sự phụ thuộc của khối lượng kết tủa vào thể tích CO_2 (đktc) sục vào dung dịch $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Tính nồng độ mol của dung dịch $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ban đầu.

(Giả sử đồ thị cho thấy: Lượng kết tủa cực đại là 39.4g. Điểm kết tủa tan hết ứng với $V(\text{CO}_2) = 8.96$ lít)

Giải:

Từ đồ thị, ta có:

1. Khối lượng kết tủa cực đại là 39.4g.

$$m_{\text{BaCO}_3}_{\text{max}} = 39.4\text{g} \Rightarrow n_{\text{BaCO}_3}_{\text{max}} = 39.4 / 197 = 0.2 \text{ mol.}$$

Theo lý thuyết đồ thị, $n_{\downarrow}_{\text{max}} = n_{\text{Ba}(\text{OH})_2}$. Vậy **$n_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = 0.2 \text{ mol.}$**

2. Kiểm tra lại với điểm cuối:

$$\text{Tại điểm kết tủa tan hết, } V(\text{CO}_2) = 8.96 \text{ lít} \Rightarrow n_{\text{CO}_2} = 8.96 / 22.4 = 0.4 \text{ mol.}$$

Theo lý thuyết đồ thị, tại điểm này $n_{\text{CO}_2} = 2 * n_{\text{Ba}(\text{OH})_2}$.

Ta có: $2 * 0.2 = 0.4 \text{ mol.}$ Dữ kiện khớp với nhau.

Giả sử thể tích dung dịch $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ban đầu là $200\text{ml} = 0.2 \text{ lít.}$

Nồng độ mol của $\text{Ba}(\text{OH})_2$ là: $C_M = n / V = 0.2 / 0.2 = 1\text{M.}$

V. Bảng tổng kết các dạng đồ thị

Dạng bài toán	Hình dạng đồ thị	Tọa độ điểm đặc biệt	Công thức tính nhanh (với $n\downarrow = y$)
$\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 / \text{Ba(OH)}_2$	Tam giác cân	Đỉnh: (a, a) Điểm cuối: $(2a, 0)$ (với $a = n_{\text{Kiềm}}$)	$n_{\text{CO}_2} = y$ hoặc $n_{\text{CO}_2} = 2a - y$
$\text{CO}_2 + \text{Hỗn hợp NaOH và Ca(OH)}_2$	Hình thang	Đỉnh trái: (a, a) Đỉnh phải: $(a+b, a)$ Điểm cuối: $(2a+b, 0)$ (với $a=n_{\text{Ca(OH)}_2}$, $b=n_{\text{NaOH}}$)	$n_{\text{CO}_2} = y$ hoặc $n_{\text{CO}_2} = 2a + b - y$

Kết luận: Phương pháp đồ thị là một công cụ trực quan và hiệu quả để giải quyết các bài toán CO₂ tác dụng với dung dịch kiềm. Nắm vững hình dạng và các điểm đặc biệt của từng loại đồ thị sẽ giúp học sinh tiết kiệm thời gian và tăng độ chính xác khi làm bài, đặc biệt trong các kỳ thi trắc nghiệm áp lực về thời gian.