

TỔNG HỢP KIẾN THỨC VỀ CÂN BẰNG HÓA HỌC

Chuyên đề Cân bằng hóa học là một phần quan trọng trong chương trình Hóa học lớp 12, giúp giải thích chiều hướng và hiệu suất của các phản ứng hóa học trong thực tế và sản xuất.

I. Phản ứng một chiều và phản ứng thuận nghịch

1. Phản ứng một chiều

Là phản ứng xảy ra theo một chiều duy nhất từ trái sang phải, các chất sản phẩm không thể phản ứng lại với nhau để tạo thành chất ban đầu trong cùng điều kiện. Kí hiệu bằng mũi tên một chiều ($\rightarrow$).

- **Ví dụ 1:** Phản ứng đốt cháy methane: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- **Ví dụ 2:** Phản ứng trung hòa: $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

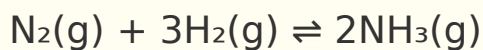
2. Phản ứng thuận nghịch và trạng thái cân bằng hóa học

Phản ứng thuận nghịch: Là phản ứng trong cùng điều kiện, các chất sản phẩm có thể phản ứng với nhau để tạo lại chất đầu. Phản ứng từ trái sang phải gọi là phản ứng thuận, từ phải sang trái gọi là phản ứng nghịch. Kí hiệu bằng hai nửa mũi tên ngược chiều ($\rightleftharpoons$).

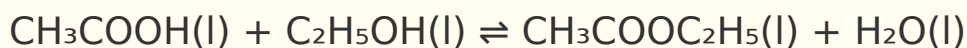
Trạng thái cân bằng: Là trạng thái của phản ứng thuận nghịch khi tốc độ phản ứng thuận bằng tốc độ phản ứng nghịch ($v_t = v_n$). Ở trạng thái cân bằng, nồng độ các chất trong hệ phản ứng không thay đổi theo thời gian. Đây là một

cân bằng động, nghĩa là các phản ứng thuận và nghịch vẫn liên tục xảy ra.

- **Ví dụ 1:** Phản ứng tổng hợp ammonia (quy trình Haber-Bosch):



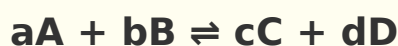
- **Ví dụ 2:** Phản ứng este hóa:



II. Hằng số cân bằng (K_c và K_p)

Hằng số cân bằng là đại lượng đặc trưng cho mức độ diễn ra của một phản ứng thuận nghịch tại một nhiệt độ xác định.

Xét phản ứng thuận nghịch tổng quát ở trạng thái cân bằng:



1. Hằng số cân bằng theo nồng độ (K_c)

- Công thức: $K_c = \frac{[\text{C}]^c[\text{D}]^d}{[\text{A}]^a[\text{B}]^b}$

- **Giải thích:**

- Trong biểu thức, $[\text{A}]$, $[\text{B}]$, $[\text{C}]$, $[\text{D}]$ là nồng độ mol/L của các chất tương ứng ở trạng thái cân bằng.
- K_c chỉ phụ thuộc vào bản chất của phản ứng và nhiệt độ, không phụ thuộc vào nồng độ ban đầu hay áp suất.
- Nếu $K_c \gg 1$: Cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận, sản phẩm chiếm ưu thế.
- Nếu $K_c \ll 1$: Cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch, chất tham gia chiếm ưu thế.

- **Lưu ý:** Không viết nồng độ của chất rắn (r) và dung môi (nếu là nước trong dung dịch loãng) vào biểu thức K_c vì nồng độ của chúng được coi là hằng số.

• Ví dụ:

1. Cho phản ứng: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$. Ở một nhiệt độ nhất định, nồng độ các chất ở trạng thái cân bằng là $[\text{H}_2] = 0.1 \text{ M}$, $[\text{I}_2] = 0.2 \text{ M}$, $[\text{HI}] = 1.0 \text{ M}$.
 $\rightarrow K_c = [\text{HI}]^2 / ([\text{H}_2][\text{I}_2]) = (1.0)^2 / (0.1 * 0.2) = 50$.
2. Cho phản ứng: $\text{CaCO}_3(\text{r}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{r}) + \text{CO}_2(\text{g})$.
 $\rightarrow K_c = [\text{CO}_2]$. Vì CaCO_3 và CaO là chất rắn nên không xuất hiện trong biểu thức.

2. Hằng số cân bằng theo áp suất riêng phần (K_p)

Áp dụng cho các phản ứng có chất khí.

- **Công thức:** $K_p = (P_C^c * P_D^d) / (P_A^a * P_B^b)$

• Giải thích:

- Trong đó P_A, P_B, P_C, P_D là áp suất riêng phần của các khí tương ứng ở trạng thái cân bằng.
- K_p cũng chỉ phụ thuộc vào bản chất phản ứng và nhiệt độ.

- **Ví dụ:** Cho phản ứng $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$. Ở trạng thái cân bằng, áp suất riêng phần của N_2 , H_2 , NH_3 lần lượt là 0.5 atm, 1.0 atm, và 0.8 atm.

$$\rightarrow K_p = (P_{\text{NH}_3})^2 / (P_{\text{N}_2} * P_{\text{H}_2}^3) = (0.8)^2 / (0.5 * 1.0^3) = 1.28$$

3. Mối liên hệ giữa K_p và K_c

- Công thức: $K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$

- Giải thích:

- R là hằng số khí lý tưởng ($R \approx 0.0821 \text{ L.atm/mol.K}$).
- T là nhiệt độ tuyệt đối (K), $T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273.15$.
- Δn là biến thiên số mol khí trong phản ứng: $\Delta n = (\text{tổng số mol khí sản phẩm}) - (\text{tổng số mol khí tham gia}) = (c + d) - (a + b)$.

- Ví dụ: Xét phản ứng $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ ở 700°C (973.15 K) có $K_c = 4.3 \times 10^6$.

$$\Delta n = 2 - (2 + 1) = -1.$$

$$\rightarrow K_p = K_c(RT)^{\Delta n} = (4.3 \times 10^6) * (0.0821 * 973.15)^{-1} \approx 5.39 \times 10^4.$$

III. Sự chuyển dịch cân bằng hóa học - Nguyên lí Le

Chatelier

Phát biểu nguyên lí: Một phản ứng thuận nghịch đang ở trạng thái cân bằng, khi chịu một tác động từ bên ngoài như biến đổi nồng độ, áp suất hoặc nhiệt độ thì cân bằng sẽ chuyển dịch theo chiều làm giảm tác động đó.

1. Ảnh hưởng của nồng độ

- Quy tắc:

- Khi tăng nồng độ một chất (tham gia hoặc sản phẩm), cân bằng sẽ chuyển dịch theo chiều làm giảm nồng độ chất đó.

- Khi giảm nồng độ một chất, cân bằng sẽ chuyển dịch theo chiều làm tăng nồng độ chất đó.

• **Ví dụ:** Xét cân bằng $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$

- Thêm N_2 hoặc H_2 vào hệ: Cân bằng chuyển dịch sang phải (chiều thuận) để tạo thêm NH_3 .
- Lấy bớt NH_3 ra khỏi hệ: Cân bằng chuyển dịch sang phải (chiều thuận) để bù lại lượng NH_3 đã mất.
- Thêm NH_3 vào hệ: Cân bằng chuyển dịch sang trái (chiều nghịch) để phân hủy NH_3 .

2. Ảnh hưởng của áp suất (đối với phản ứng có chất khí)

• **Quy tắc:**

- Khi tăng áp suất chung của hệ, cân bằng chuyển dịch theo chiều làm giảm số mol khí (giảm áp suất).
- Khi giảm áp suất chung của hệ, cân bằng chuyển dịch theo chiều làm tăng số mol khí (tăng áp suất).
- Nếu tổng số mol khí ở hai vế bằng nhau ($\Delta n = 0$) hoặc phản ứng không có chất khí, áp suất không ảnh hưởng đến chuyển dịch cân bằng.

• **Ví dụ:**

1. Phản ứng $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$. Tổng mol khí vế trái là 4, vế phải là 2.
→ Khi tăng áp suất, cân bằng chuyển dịch sang phải (chiều giảm số mol

khí).

2. Phản ứng $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$. Tổng mol khí hai vế bằng nhau (2 mol).

→ Thay đổi áp suất không làm chuyển dịch cân bằng này.

3. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Để xét ảnh hưởng của nhiệt độ, cần biết phản ứng là tỏa nhiệt ($\Delta H < 0$) hay thu nhiệt ($\Delta H > 0$).

• Quy tắc:

- Khi tăng nhiệt độ, cân bằng chuyển dịch theo chiều phản ứng thu nhiệt (làm giảm nhiệt độ).
- Khi giảm nhiệt độ, cân bằng chuyển dịch theo chiều phản ứng tỏa nhiệt (làm tăng nhiệt độ).

• Ví dụ:

1. Phản ứng tổng hợp NH_3 : $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$, $\Delta H < 0$ (tỏa nhiệt).

→ Để tăng hiệu suất tạo NH_3 , cần giảm nhiệt độ. Cân bằng sẽ dịch chuyển sang phải (chiều tỏa nhiệt).

2. Phản ứng nhiệt phân CaCO_3 : $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$, $\Delta H > 0$ (thu nhiệt).

→ Để phản ứng xảy ra, cần cung cấp nhiệt độ cao. Cân bằng sẽ dịch chuyển sang phải (chiều thu nhiệt).

4. Vai trò của chất xúc tác

- **Quy tắc:** Chất xúc tác làm tăng tốc độ cả phản ứng thuận và phản ứng nghịch với mức độ như nhau.
- **Kết quả:** Chất xúc tác **không làm chuyển dịch cân bằng hóa học** mà chỉ giúp hệ nhanh chóng đạt đến trạng thái cân bằng.

Bảng tổng kết các yếu tố ảnh hưởng đến cân bằng hóa học

Yếu tố	Tác động	Chiều chuyển dịch cân bằng
Nồng độ	Tăng nồng độ chất tham gia	Chiều thuận (→)
	Tăng nồng độ chất sản phẩm	Chiều nghịch (←)
Áp suất (chất khí)	Tăng áp suất	Chiều làm giảm số mol khí
	Giảm áp suất	Chiều làm tăng số mol khí
	Số mol khí 2 vế bằng nhau	Không chuyển dịch
Nhiệt độ	Tăng nhiệt độ	Chiều phản ứng thu nhiệt ($\Delta H > 0$)
	Giảm nhiệt độ	Chiều phản ứng tỏa nhiệt ($\Delta H < 0$)
Chất xúc tác	Thêm vào	Không làm chuyển dịch cân bằng



IV. Bài tập vận dụng

Bài 1: Cho 0.4 mol SO_2 và 0.6 mol O_2 vào một bình kín dung tích 1 lít được giữ ở nhiệt độ không đổi. Phản ứng xảy ra: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$. Khi phản ứng đạt trạng thái cân bằng, lượng SO_3 trong bình là 0.3 mol. Tính hằng số cân bằng K_c của phản ứng.

Giải:

$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ Ban đầu (M): 0.4 0.6 0
Phản ứng (M): 0.3 0.15 0.3 Cân bằng (M): 0.4 - 0.3 = 0.1 0.6 - 0.15 = 0.45 0.3

Nồng độ các chất ở trạng thái cân bằng: $[\text{SO}_2] = 0.1 \text{ M}$; $[\text{O}_2] = 0.45 \text{ M}$; $[\text{SO}_3] = 0.3 \text{ M}$. $K_c = [\text{SO}_3]^2 / ([\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]) = (0.3)^2 / (0.1^2 * 0.45) = 0.09 / (0.01 * 0.45) = 20$.

Bài 2: Cho cân bằng hóa học sau: $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$. Biết ở 25°C , hằng số cân bằng $K_c = 4.63 \times 10^{-3}$. Tính K_p của phản ứng ở nhiệt độ này.

Giải:

$$T = 25 + 273.15 = 298.15 \text{ K.}$$

$$\Delta n = (\text{số mol khí sản phẩm}) - (\text{số mol khí tham gia}) = 2 - 1 = 1.$$

$$\text{Áp dụng công thức: } K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

$$K_p = (4.63 \times 10^{-3}) * (0.0821 * 298.15)^1 \approx 0.113.$$

Bài 3: Cho cân bằng: $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g})$, $\Delta H = 172 \text{ kJ/mol}$. Cân bằng sẽ chuyển dịch theo chiều nào nếu:

a) Tăng nhiệt độ?

- b) Thêm khí CO_2 vào hệ?
- c) Tăng áp suất?
- d) Dùng chất xúc tác?

Giải:

- a) Phản ứng thu nhiệt ($\Delta H > 0$), nên khi tăng nhiệt độ, cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận ($\rightarrow$).
- b) Thêm CO_2 , cân bằng chuyển dịch theo chiều làm giảm nồng độ CO_2 , tức là chiều thuận ($\rightarrow$).
- c) Tổng số mol khí về trái là 1, về phải là 2. Khi tăng áp suất, cân bằng chuyển dịch theo chiều làm giảm số mol khí, tức là chiều nghịch ($\leftarrow$).
- d) Dùng chất xúc tác không làm chuyển dịch cân bằng.