

微专题 3 新旧平衡转化率的比较

1. 反应物用量的改变对转化率的影响

(1)若反应物只有一种： $aA(g) \rightleftharpoons bB(g)+cC(g)$

在恒温恒容条件下，增加 A 的量，平衡正向移动，但 A 的转化率与气体的计量数有关。

气体计量数关系	A 的转化率
$a=b+c$	不变
$a>b+c$	增大
$a<b+c$	减小

(2)若反应物不只一种： $aA(g)+bB(g) \rightleftharpoons cC(g)+dD(g)$

①在其他条件不变时，增加 A 的量，平衡正向移动，A 的转化率降低，B 的转化率升高。

②在恒温恒容条件下，若按原比例同倍数增加 A 和 B，平衡正向移动，但反应物(A 或 B)的转化率与气体物质的计量数有关。

气体计量数关系	A(或 B)的转化率
$a+b=c+d$	不变
$a+b>c+d$	增大
$a+b<c+d$	减小

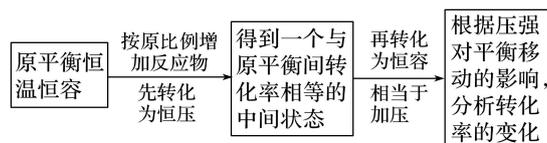
(3)若反应物、生成物均只有一种： $aA(g) \rightleftharpoons bB(g)$

在恒温恒容条件下，不管增加 A 的量、B 的量，还是 A、B 的量同时增加，均相当于加压，平衡向气体体积减小的方向移动，A 的转化率可据此分析。

(4)若可逆反应： $aA(g)+bB(g) \rightleftharpoons cC(g)+dD(g)$ ，按化学计量数之比投入 A、B，则 A、B 的转化率一定相同。

2. 分析方法——假设中间状态法

恒容条件下平衡转化率的变化分析，往往先假设一个恒压的中间状态，然后再转化为恒容条件，利用压强对平衡移动的影响分析转化率的变化，其思维过程如下：



【例】 两个体积相同的密闭容器 A、B，在 A 中充入 SO_2 和 O_2 各 1 mol，在 B 中充入 SO_2 和 O_2 各 2 mol，加热到相同温度，有如下反应 $2SO_2(g)+O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ ，对此反应下述不正确的是()

- A. 反应速率 $B > A$
- B. SO_2 的转化率 $B > A$
- C. 平衡时各组分含量 $B = A$
- D. 平衡时容器的压强 $B > A$

答案 C

解析 A 项, 两容器的体积相同, B 中 SO_2 、 O_2 物质的量浓度都是 A 中的两倍, 在相同条件下反应物浓度越大反应速率越快, 反应速率 $B > A$, 正确; 要将 A、B 两容器平衡时的物理量进行比较, 可建立如下模型: (1) 另取一个 2 倍体积的容器, 充入 SO_2 、 O_2 各 2 mol, 则在相同条件下, 该容器达平衡时 SO_2 的转化率、平衡时各组分含量、平衡时的压强与 A 中对应相等; (2) B 相当于在该容器的基础上将体积缩小为一半, 即增大压强, 平衡正向移动。B 项, 增大压强平衡正向移动, 反应物的转化率增大, SO_2 的转化率 $B > A$, 正确; C 项, 由于平衡正向移动, SO_3 的含量: $B > A$, SO_2 、 O_2 的含量: $A > B$, 错误; D 项, 平衡时 B 中的压强 $p_B < 2p_A$, 正确。

【跟踪训练】

1. 反应 $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Z}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$, 在密闭容器中充入 0.1 mol X 和 0.1 mol Y, 达到平衡时, 下列说法不正确的是()

- A. 减小容器体积, 平衡不移动, X 的转化率不变
- B. 增大 $c(\text{X})$, X 的转化率减小
- C. 保持容器体积不变, 同时充入 0.1 mol X 和 0.2 mol Y, X 的转化率增大
- D. 加入催化剂, 正反应速率增大, Z 的产率增大

答案 D

解析 A 项, 该反应为反应前后气体物质的量不变的反应, 平衡不受压强影响, 减小容器体积, 平衡不移动, X 的转化率不变, 正确; B 项, 增大 $c(\text{X})$, 平衡正向移动, Y 的转化率增大, X 的转化率减小, 正确; C 项, 相当于只增加 Y 的浓度, X 的转化率会增大, 正确; D 项, 催化剂不能使平衡移动, 不改变产物的产率, 错误。

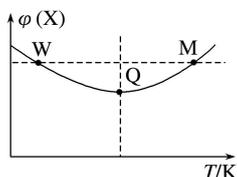
2. 一定量混合气体在密闭容器中发生如下反应: $x\text{A}(\text{g}) + y\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons n\text{C}(\text{g})$, 达到平衡后, 测得 A 气体的浓度为 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 保持温度不变将容器的容积扩大 1 倍, 再达平衡时, 测得 A 气体的浓度为 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则下列叙述中正确的是()

- A. $x + y < n$
- B. 该化学平衡向右移动
- C. B 的转化率增大
- D. C 的体积分数减小

答案 D

解析 保持温度不变将容器的容积扩大 1 倍, 如平衡不移动, A 的浓度为 $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 小于实际 A 的浓度 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 说明平衡向生成 A 的方向移动, 即向逆反应方向移动, 据此结合选项解答。

3. 在 2 L 恒容密闭容器中充入 2 mol X 和 1 mol Y, 发生反应: $2X(g)+Y(g) \rightleftharpoons 3Z(g) \quad \Delta H<0$, 反应过程持续升高温度, 测得混合体系中 X 的体积分数与温度的关系如图所示。下列推断正确的是()



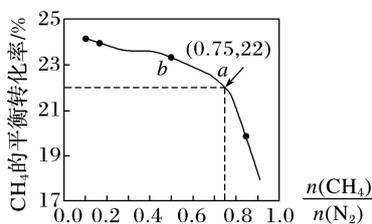
- A. 升高温度, 平衡常数增大
- B. W 点 X 的正反应速率等于 M 点 X 的正反应速率
- C. Q 点时, Y 的转化率最大
- D. 平衡时充入 Z, 达到新平衡时 Z 的体积分数比原平衡时大

答案 C

解析 此反应为放热反应, 升高温度, 平衡逆向移动, 平衡常数减小, A 选项错误; 图像中从开始到 Q 点, 反应正向进行, Y 的转化率逐渐增大, Q 点时达到平衡状态, 随着温度升高平衡逆向移动, Y 的转化率逐渐减小, C 选项正确; M 点的温度高于 W 点的, 所以 M 点 X 的正反应速率大, B 选项错误; 平衡时充入 Z, 相当于加压, 平衡不移动, D 选项错误。

4. 已知: $3CH_4(g)+2N_2(g) \rightleftharpoons 3C(s)+4NH_3(g) \quad \Delta H>0$, 在 700 °C、 CH_4 与 N_2 在不同物质的

量之比 $\left[\frac{n(CH_4)}{n(N_2)} \right]$ 时, CH_4 的平衡转化率如图所示。下列说法正确的是()



- A. $\frac{n(CH_4)}{n(N_2)}$ 越大, CH_4 的平衡转化率越高
- B. $\frac{n(CH_4)}{n(N_2)}$ 不变时, 若升温, NH_3 的体积分数会增大
- C. b 点对应的平衡常数比 a 点的大
- D. a 点对应的 NH_3 的体积分数约为 26%

答案 B

解析 CH_4 和 N_2 的物质的量之比越大, CH_4 的转化率越低, A 错误; CH_4 和 N_2 的物质的量之比不变时, 升温, 平衡正向移动, NH_3 的体积分数增大, B 正确; 平衡常数只与温度有关, 与反应物的物质的量无关, 所以各点的平衡常数相同, C 错误; a 点 CH_4 的平衡转化率为 22%,

$\frac{n(CH_4)}{n(N_2)} = 0.75$, 则设甲烷为 3 mol, 氮气为 4 mol,

	3CH ₄ (g) + 2N ₂ (g)		3C(s) + 4NH ₃ (g)
起始量/mol	3	4	0
转化量/mol	0.66	0.44	0.88
平衡量/mol	2.34	3.56	0.88

则 NH₃ 的体积分数为 $\frac{0.88 \text{ mol}}{(2.34 + 3.56 + 0.88) \text{ mol}} \times 100\% \approx 13\%$, D 错误。

5. (2018·浙江 11 月选考, 22) 已知: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -197.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。起始反应物为 SO₂ 和 O₂ (物质的量之比为 2:1, 且总物质的量不变)。SO₂ 的平衡转化率(%) 随温度和压强的变化如下表:

温度/K	压强/(10 ⁵ Pa)				
	1.01	5.07	10.1	25.3	50.7
673	99.2	99.6	99.7	99.8	99.9
723	97.5	98.9	99.2	99.5	99.6
773	93.5	96.9	97.8	98.6	99.0

下列说法不正确的是()

- A. 一定压强下降低温度, SO₂ 的转化率增大
- B. 在不同温度、压强下, 转化相同物质的量的 SO₂ 所需要的时间相等
- C. 使用催化剂可以缩短反应达到平衡所需的时间
- D. 工业生产通常不采取加压措施, 是因为常压下 SO₂ 的转化率已相当高

答案 B

解析 A 项, 根据表格信息, 压强一定时, 温度越低, SO₂ 的转化率越大, 正确; B 项, 不同的温度、压强下, 反应速率不确定, 故转化相同的 SO₂ 所需时间无法确定, 错误; C 项, 使用催化剂降低反应的活化能, 增大反应速率, 可以缩短达到平衡所需的时间, 正确; D 项, 根据表格数据可以看出, 常压下 SO₂ 的转化率已相当高(大于 93.5%), 正确。

6. [2017·全国卷 I, (3)] H₂S 与 CO₂ 在高温下发生反应: $\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{COS}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。在 610 K 时, 将 0.10 mol CO₂ 与 0.40 mol H₂S 充入 2.5 L 的空钢瓶中, 反应平衡后水的物质的量分数为 0.02。

① H₂S 的平衡转化率 $\alpha_1 =$ _____ %, 反应平衡常数 $K =$ _____。

② 在 620 K 重复实验, 平衡后水的物质的量分数为 0.03, H₂S 的转化率 α_2 _____ α_1 , 该反应的 ΔH _____ 0 (填 “>” “<” 或 “=”)。

③ 向反应器中再分别充入下列气体, 能使 H₂S 转化率增大的是 _____ (填字母)。

- A. H₂S
- B. CO₂
- C. COS
- D. N₂

答案 ① 2.5 2.8 × 10⁻³ ② > > ③ B

解析 ①610 K 时向空钢瓶中充入 0.10 mol CO₂ 和 0.40 mol H₂S，钢瓶容积为 2.5 L，按“三段式”法进行计算：

	H ₂ S(g) + CO ₂ (g)		COS(g) + H ₂ O(g)	
起始量/mol	0.40	0.10	0	0
转化量/mol	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
平衡量/mol	0.40 - <i>x</i>	0.10 - <i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>

反应平衡后水的物质的量分数为 0.02，则有 $\frac{x}{(0.40 - x) + (0.10 - x) + x + x} = 0.02$ ，解得 $x = 0.01$ ，

故 H₂S 的平衡转化率 $\alpha_1 = \frac{0.01 \text{ mol}}{0.40 \text{ mol}} \times 100\% = 2.5\%$ 。

该反应的平衡常数 $K = \frac{c(\text{COS}) \cdot c(\text{H}_2\text{O})}{c(\text{H}_2\text{S}) \cdot c(\text{CO}_2)} = \frac{n(\text{COS}) \cdot n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2\text{S}) \cdot n(\text{CO}_2)} = \frac{0.01^2}{0.39 \times 0.09} \approx 2.8 \times 10^{-3}$ 。

②在 620 K 重复实验，平衡后水的物质的量分数为 0.03，温度升高，平衡后水的物质的量分数增大，说明平衡正向移动，则 $\Delta H > 0$ ；升高温度，平衡正向移动，反应物的平衡转化率增大，则 H₂S 的转化率： $\alpha_2 > \alpha_1$ 。

③该反应器为钢瓶，反应过程中容积不变。向反应器中再充入 H₂S 气体，平衡正向移动，CO₂ 的转化率增大，但 H₂S 的转化率减小，A 错误；充入 CO₂，平衡正向移动，H₂S 的转化率增大，CO₂ 的转化率减小，B 正确；充入 COS，平衡逆向移动，H₂S 的转化率减小，C 错误；充入 N₂，平衡不移动，H₂S 的转化率不变，D 错误。