

多平衡体系的分析应用

1.化学平衡与平衡转化率

(1)转化率和平衡转化率

转化率有未达到平衡的转化率和平衡转化率，在审题的时候一定要注意转化率是否为平衡转化率。

(2)转化率与温度的关系

可逆反应的焓变 ΔH	升高温度
吸热反应， $\Delta H > 0$	未达到平衡的转化率增大
	平衡转化率增大
放热反应， $\Delta H < 0$	未达到平衡的转化率增大
	平衡转化率减小

(4)如果两气体物质的投料比按照化学计量数投料，那么无论是否达到化学平衡，两者的转化率一直相等。

2.化学平衡常数、平衡移动方向与反应速率的关系

$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$	
$K = \frac{c^c(C) \cdot c^d(D)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$ 平衡时浓度	$Q = \frac{c^c(C) \cdot c^d(D)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$ 某时刻浓度
$K \begin{cases} = Q, \text{反应处于化学平衡状态, } v_{\text{正}} \text{——} v_{\text{逆}} \\ < Q, \text{平衡向逆反应方向移动, } v_{\text{正}} \text{——} v_{\text{逆}} \\ > Q, \text{平衡向正反应方向移动, } v_{\text{正}} \text{——} v_{\text{逆}} \end{cases}$	

3.转化率、产率的计算公式

反应物的转化率 = $\frac{\text{反应物的变化量}}{\text{反应物的起始量}} \times 100\%$

生成物的产率 = $\frac{\text{生成物的实际产量}}{\text{生成物的理论产量}} \times 100\%$

4.相关反应平衡常数的相互计算

(1)同一可逆反应中， $K_{\text{正}} \cdot K_{\text{逆}} = 1$ 。

(2)同一化学方程式中的化学计量数等倍扩大或缩小 n 倍, 则新平衡常数 K' 与原平衡常数 K 间的关系是 $K'=K^n$ 或 $K'=\sqrt[n]{K}$ 。

(3)几个可逆反应的化学方程式相加得总化学方程式, 则总化学反应的平衡常数等于各分步反应平衡常数之积。

5.多重平衡定性分析

(1)找准目标物质及所在反应, 根据原理(勒夏特列原理以及影响速率的因素等)推断条件改变的影响, 作出判断。

(2)竞争型多重平衡解题思路

①先分析是速率问题, 还是平衡问题。

②若是速率问题, 考虑温度、压强、催化剂选择性等。

③若是平衡问题, 先判断以哪个反应为主, 再描述平衡移动。

④若改变条件出现两种相反的结论, 要结合问题中的结论抓住矛盾的主要方面解题。

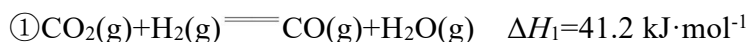
6.催化剂与转化率(或产率)

(1)转化率(或产率)分为平衡前转化率(或产率)和平衡转化率(或平衡产率), 催化剂能加快反应速率, 使平衡前转化率(或产率)提高, 但不能改变平衡转化率(或平衡产率)。

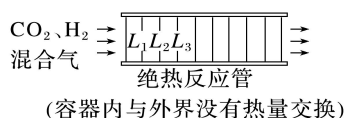
(2)实际工业生产中大多数反应未达到平衡, 反应物就随产物流出反应器, 所以实际转化率总比平衡转化率低。利用催化剂提高反应速率, 可以提高单位时间内的产量, 目标产物的实际产率也相应得以提升。

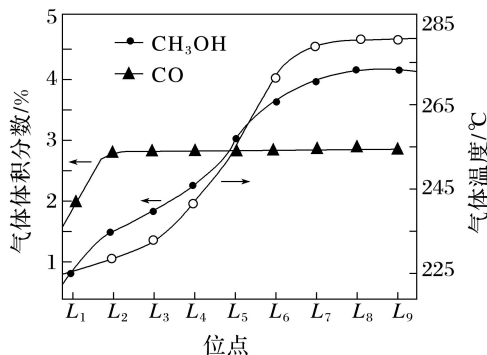
■ 真题演练

1.(2024·江苏, 13)二氧化碳加氢制甲醇的过程中的主要反应(忽略其他副反应)为:



225 °C、 8×10^6 Pa 下, 将一定比例 CO_2 、 H_2 混合气匀速通过装有催化剂的绝热反应管。装置及 L_1 、 L_2 、 L_3 ...位点处(相邻位点距离相同)的气体温度、CO 和 CH_3OH 的体积分数如图所示。下列说法正确的是()





- A. L_4 处与 L_5 处反应①的平衡常数 K 相等
 B. 反应②的焓变 $\Delta H_2 > 0$
 C. L_6 处的 H_2O 的体积分数大于 L_5 处
 D. 混合气从起始到通过 L_1 处, CO 的生成速率小于 CH_3OH 的生成速率

2. (2023·江苏, 13) 二氧化碳加氢制甲烷过程中的主要反应为



$$\Delta H = -164.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

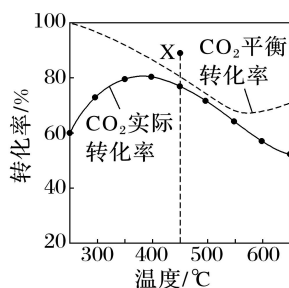


$$\Delta H = 41.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

在密闭容器中, $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $n_{\text{起始}}(CO_2) : n_{\text{起始}}(H_2) = 1 : 4$ 时, CO_2 平衡转化率、在催化剂作用下反应相同时间所测得的 CO_2 实际转化率随温度的变化如图所示。 CH_4 的选择性可表示为

$$\frac{n_{\text{生成}}(CH_4)}{n_{\text{反应}}(CO_2)} \times 100\%。$$

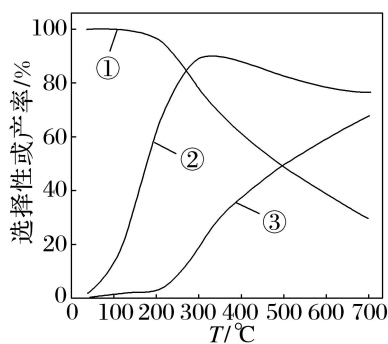
下列说法正确的是()



- A. 反应 $2CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + CH_4(g)$ 的焓变 $\Delta H = -205.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
 B. CH_4 的平衡选择性随着温度的升高而增加
 C. 用该催化剂催化二氧化碳反应的最佳温度范围约为 $480 \sim 530 \text{ } ^\circ\text{C}$
 D. $450 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时, 提高 $\frac{n_{\text{起始}}(H_2)}{n_{\text{起始}}(CO_2)}$ 的值或增大压强, 均能使 CO_2 平衡转化率达到 X 点的值

3. (2022·江苏, 13) 乙醇-水催化重整可获得 H_2 。其主要反应为 $C_2H_5OH(g) + 3H_2O(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) + 6H_2(g)$ $\Delta H = 173.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$ $\Delta H = 41.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 在 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、

$n_{\text{始}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) : n_{\text{始}}(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 3$ 时, 若仅考虑上述反应, 平衡时 CO_2 和 CO 的选择性及 H_2 的产率随温度的变化如图所示。



CO 的选择性 = $\frac{n_{\text{生成}}(\text{CO})}{n_{\text{生成}}(\text{CO}_2) + n_{\text{生成}}(\text{CO})} \times 100\%$, 下列说法正确的是()

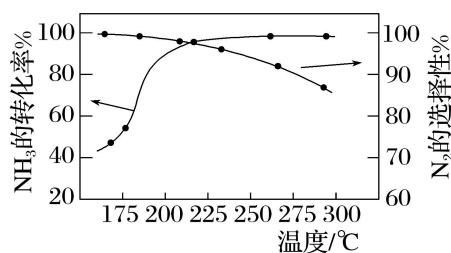
A. 图中曲线①表示平衡时 H_2 产率随温度的变化

B. 升高温度, 平衡时 CO 的选择性增大

C. 一定温度下, 增大 $\frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{H}_2\text{O})}$ 可提高乙醇平衡转化率

D. 一定温度下, 加入 $\text{CaO}(\text{s})$ 或选用高效催化剂, 均能提高平衡时 H_2 产率

4. (2021·江苏, 14) NH_3 与 O_2 作用分别生成 N_2 、 NO 、 N_2O 的反应均为放热反应。工业尾气中的 NH_3 可通过催化氧化为 N_2 除去。将一定比例的 NH_3 、 O_2 和 N_2 的混合气体以一定流速通过装有催化剂的反应管, NH_3 的转化率、生成 N_2 的选择性 $[\frac{2n_{\text{生成}}(\text{N}_2)}{n_{\text{总转化}}(\text{NH}_3)} \times 100\%]$ 与温度的关系如图所示。



下列说法正确的是()

A. 其他条件不变, 升高温度, NH_3 的平衡转化率增大

B. 其他条件不变, 在 175~300 °C 范围, 随温度的升高, 出口处 N_2 和氮氧化物的量均不断增大

C. 催化氧化除去尾气中的 NH_3 应选择反应温度高于 250 °C

D. 高效除去尾气中的 NH_3 , 需研发低温下 NH_3 转化率高和 N_2 选择性高的催化剂