

押新高考卷第 18 题

化学反应原理综合题

命题探究

化学反应原理综合题一般取材于能源、环境保护、化工生产等情境，题目围绕个主题，将热化学、化学反应速率、电化学及三大平衡知识融合在一起进行考查每个小题相对独立；题目中结合图像、表格、数据、装置等信息，考查考生的阅读、读图、分析归纳能力，试题的难度较大。涉及化学反应速率、化学平衡及其影响因素、化学反应中的能量转化、盖斯定律及其应用、热化学方程式的书写、原电池和电解池原理及其电极反应式的书写水溶液中的离子平衡等知识。各个小题又相对比较独立题目的综合性强，化学信息较多，设问角度灵活多变，侧重考查考生接收整合信息的能力和应用化学知识解决实际问题的能力。

真题回顾

1. (2023·新课标卷) 氨是最重要的化学品之一，我国目前氨的生产能力位居世界首位。回答下列问题：

(1) 根据图 1 数据计算反应 $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) = \text{NH}_3(\text{g})$ 的 $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

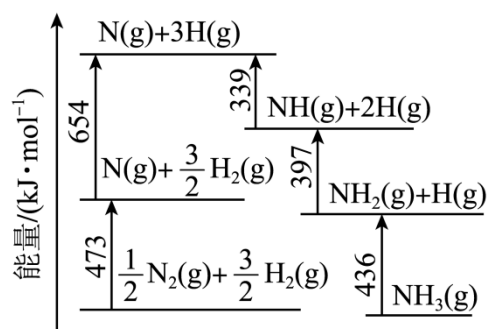


图1 能量转换关系

- (i) $\text{N}_2(\text{g}) + * \rightleftharpoons \text{N}_2^*$
- (ii) $\text{N}_2^* + * \rightleftharpoons 2\text{N}^*$
- (iii) $\text{H}_2(\text{g}) + * \rightleftharpoons \text{H}_2^*$
- (iv) $\text{H}_2^* + * \rightleftharpoons 2\text{H}^*$
- (v) $\text{N}^* + \text{H}^* \rightleftharpoons \text{NH}^* + *$
-
- (...) $\text{NH}_3^* \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) + *$

图2 反应机理

(2) 研究表明，合成氨反应在 Fe 催化剂上可能通过图 2 机理进行(*表示催化剂表面吸附位， N_2^* 表示被吸附于催化剂表面的 N_2)。判断上述反应机理中，速率控制步骤(即速率最慢步骤)为 _____ (填步骤前的标号)，理由是 _____。

(3) 合成氨催化剂前驱体(主要成分为 Fe_3O_4) 使用前经 H_2 还原，生成 $\alpha\text{-Fe}$ 包裹的 Fe_3O_4 。已知 $\alpha\text{-Fe}$ 属于立方晶系，晶胞参数 $a = 287 \text{pm}$ ，密度为 $7.8 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，则 $\alpha\text{-Fe}$ 晶胞中含有 Fe 的原子数为 _____ (列出计算式，阿伏加德罗常数的值为 N_A)。

(4) 在不同压强下，以两种不同组成进料，反应达平衡时氨的摩尔分数与温度的计算结果如下图所示。其中一种进料组成为 $x_{\text{H}_2} = 0.75$ 、 $x_{\text{N}_2} = 0.25$ ，另一种为 $x_{\text{H}_2} = 0.675$ 、 $x_{\text{N}_2} = 0.225$ 、 $x_{\text{Ar}} = 0.10$ 。(物质 i 的摩尔分数：

$$x_i = \frac{n_i}{n_{\text{总}}})$$

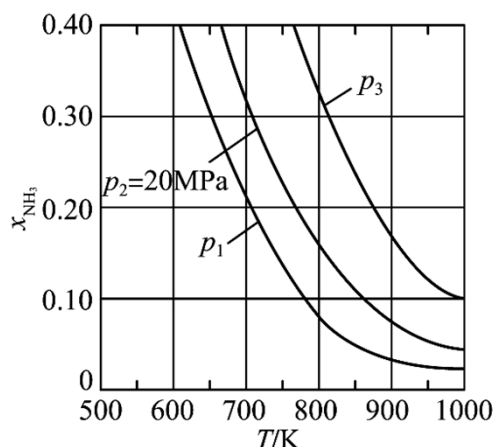


图3

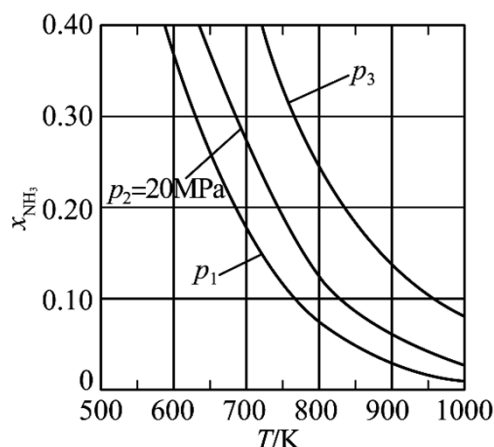


图4

①图中压强由小到大的顺序为_____，判断的依据是_____。

②进料组成中含有惰性气体 Ar 的图是_____。

③图 3 中，当 $p_2=20\text{MPa}$ 、 $x_{\text{NH}_3}=0.20$ 时，氮气的转化率 $\alpha=$ _____。该温度时，反应

$\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g})$ 的平衡常数 $K_p=$ _____ $(\text{MPa})^{-1}$ (化为最简式)。

【答案】 (1) -45

(2) (ii) 在化学反应中，最大的能垒为速率控制步骤，而断开化学键的步骤都属于能垒，由于 $\text{N} \equiv \text{N}$ 的键能比 $\text{H}-\text{H}$ 键的大很多，因此，在上述反应机理中，速率控制步骤为(ii)

$$(3) \frac{7.8 \times 287^3 N_A}{56 \times 10^{30}}$$

(4) $P_1 < P_2 < P_3$ 合成氨的反应为气体分子数减少的反应，压强越大平衡时氨的摩尔分数越大

图 4 33.33% $\sqrt{\frac{1}{432}}$

【解析】 (1) 在化学反应中，断开化学键要消耗能量，形成化学键要释放能量，反应的焓变等于反应物的键能总和与生成物的键能总和的差，因此，由图 1 数据可知，反应 $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) = \text{NH}_3(\text{g})$ 的

$$\Delta H = (473 + 654 - 436 - 397 - 339) \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -45 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}。$$

(2) 由图 1 中信息可知， $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) = \text{N}(\text{g})$ 的 $\Delta H = +473 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，则 $\text{N} \equiv \text{N}$ 的键能为 $946 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；

$\frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) = 3\text{H}(\text{g})$ 的 $\Delta H = +654 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，则 $\text{H}-\text{H}$ 键的键能为 $436 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。在化学反应中，最大的能垒为速率控制步骤，而断开化学键的步骤都属于能垒，由于 $\text{N} \equiv \text{N}$ 的键能比 $\text{H}-\text{H}$ 键的大很多，因此，在上述反应机理中，速率控制步骤为(ii)。

(3) 已知 $\alpha\text{-Fe}$ 属于立方晶系，晶胞参数 $a=287\text{pm}$ ，密度为 $7.8\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，设其晶胞中含有 Fe 的原子数为 x

，则 α -Fe 晶体密度 $\rho = \frac{56x \times 10^{30}}{N_A \cdot 287^3} \text{g} \cdot \text{cm}^3 = 7.8 \text{g} \cdot \text{cm}^3$ ，解之得 $x = \frac{7.8 \times 287^3 N_A}{56 \times 10^{30}}$ ，即 α -Fe 晶胞中含有 Fe 的原子数为 $\frac{7.8 \times 287^3 N_A}{56 \times 10^{30}}$ 。

(4) ①合成氨的反应中，压强越大越有利于氨的合成，因此，压强越大平衡时氨的摩尔分数越大。由图中信息可知，在相同温度下，反应达平衡时氨的摩尔分数 $P_1 < P_2 < P_3$ ，因此，图中压强由小到大的顺序为

$P_1 < P_2 < P_3$ ，判断的依据是：合成氨的反应为气体分子数减少的反应，压强越大平衡时氨的摩尔分数越大。

②对比图 3 和图 4 中的信息可知，在相同温度和相同压强下，图 4 中平衡时氨的摩尔分数较小。在恒压下充入惰性气体 Ar，反应混合物中各组分的浓度减小，各组分的分压也减小，化学平衡要朝气体分子数增大的方向移动，因此，充入惰性气体 Ar 不利于合成氨，进料组成中含有惰性气体 Ar 的图是图 4。

③图 3 中，进料组成为 $x_{\text{H}_2} = 0.75$ 、 $x_{\text{N}_2} = 0.25$ 两者物质的量之比为 3:1。假设进料中氢气和氮气的物质的量分别为 3mol 和 1mol，达到平衡时氮气的变化量为 $x \text{ mol}$ ，则有：

	$\text{N}_2(\text{g})$	+	$3\text{H}_2(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$2\text{NH}_3(\text{g})$
始 (mol)	1		3		0
变 (mol)	x		$3x$		$2x$
平 (mol)	$1-x$		$3-3x$		$2x$

当 $p_2 = 20 \text{MPa}$ 、 $x_{\text{NH}_3} = 0.20$ 时， $x_{\text{NH}_3} = \frac{2x}{4-2x} = 0.20$ ，解之得 $x = \frac{1}{3}$ ，则氮气的转化率 $\alpha = \frac{1}{3} \approx 33.33\%$ ，平衡时

N_2 、 H_2 、 NH_3 的物质的量分别为 $\frac{2}{3} \text{mol}$ 、 2mol 、 $\frac{2}{3} \text{mol}$ ，其物质的量分数分别为 $\frac{1}{5}$ 、 $\frac{3}{5}$ 、 $\frac{1}{5}$ ，则该温度下

$$K'_p = \frac{\left(\frac{1}{5}P_2\right)^2}{\frac{1}{5}P_2 \times \left(\frac{3}{5}P_2\right)^3} = \frac{25}{27 \times 400} (\text{MPa})^{-2} \text{ 因此，该温度时，反应 } \frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) \text{ 的平衡常数}$$

$$K_p = \sqrt{K'_p} = \sqrt{\frac{25}{27 \times 400}} (\text{MPa})^{-2} = \sqrt{\frac{1}{432}} (\text{MPa})^{-1}。$$

2. (2023·山东卷) 一定条件下，水气变换反应 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ 的中间产物是 HCOOH 。为探究该反应过程，研究 HCOOH 水溶液在密封石英管中的分子反应：

I. $\text{HCOOH} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ (快)

II. $\text{HCOOH} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ (慢)

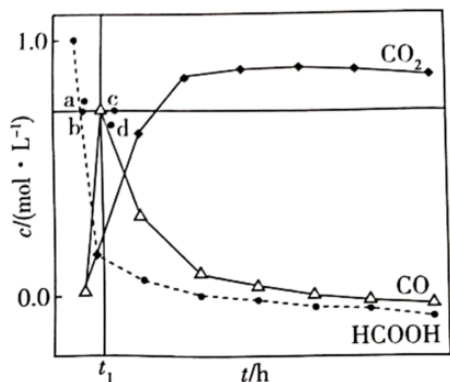
研究发现，在反应 I、II 中， H^+ 仅对反应 I 有催加速作用；反应 I 速率远大于反应 II，近似认为反应 I 建立平衡后始终处于平衡状态。忽略水电离，其浓度视为常数。回答下列问题：

(1) 一定条件下，反应 I、II 的焓变分别为 ΔH_1 、 ΔH_2 ，则该条件下水气变换反应的焓变 $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$ (用含 ΔH_1 、 ΔH_2 的代数式表示)。

(2) 反应 I 正反应速率方程为： $v = k c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCOOH})$ ， k 为反应速率常数。 T_1 温度下， HCOOH

电离平衡常数为 K_a ，当 HCOOH 平衡浓度为 $x\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时， H^+ 浓度为 $\underline{\hspace{2cm}}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，此时反应 I 应速率 $v = \underline{\hspace{2cm}}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (用含 K_a 、 x 和 k 的代数式表示)。

(3) T_3 温度下，在密封石英管内完全充满 $1.0\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HCOOH}$ 水溶液，使 HCOOH 分解，分解产物均完全溶于水。含碳物种浓度与反应时间的变化关系如图所示(忽略碳元素的其他存在形式)。 t_1 时刻测得 CO 、 CO_2 的浓度分别为 $0.70\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.16\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，反应 II 达平衡时，测得 H_2 的浓度为 $y\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。体系达平衡后 $\frac{c(\text{CO})}{c(\text{CO}_2)} = \underline{\hspace{2cm}}$ (用含 y 的代数式表示，下同)，反应 II 的平衡常数为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。



相同条件下，若反应起始时溶液中同时还含有 $0.10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸，则图示点 a、b、c、d 中， CO 的浓度峰值点可能是 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填标号)。与不同盐酸相比， CO 达浓度峰值时， CO_2 浓度 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填“增大”“减小”或“不变”)， $\frac{c(\text{CO})}{c(\text{HCOOH})}$ 的反应 $\underline{\hspace{2cm}}$ (填“增大”“减小”或“不变”)。

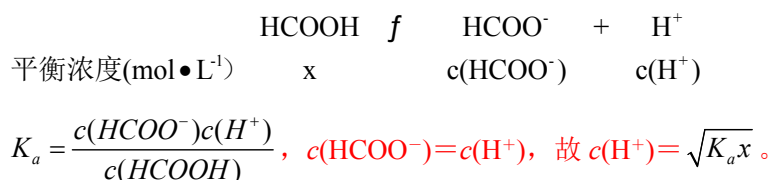
【答案】 (1) $\Delta H_2 - \Delta H_1$

(2) $\sqrt{K_a x}$ $kx\sqrt{K_a x}$

(3) $\frac{5-5y}{6y}$ $\frac{6y^2}{1-y}$ a 减小 不变

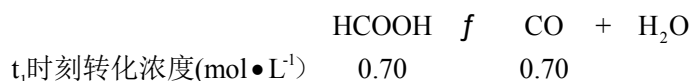
【解析】 (1) 根据盖斯定律，反应 II-反应 I=水气变换反应，故水气变换反应的焓变 $\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1$ ；

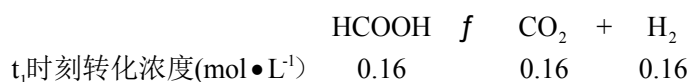
(2) T_1 温度时， HCOOH 建立电离平衡：



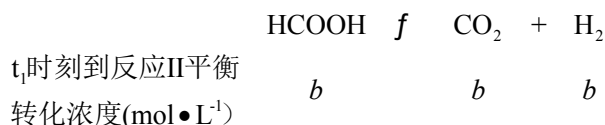
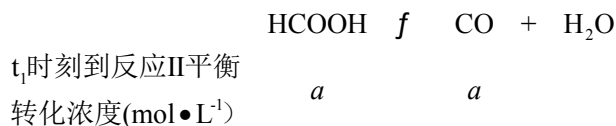
$$v = kc(\text{H}^+) \cdot c(\text{HCOOH}) = kx\sqrt{K_a x}。$$

(3) t_1 时刻时， $c(\text{CO})$ 达到最大值，说明此时反应 I 达平衡状态。此时





故 t₁ 时刻 $c(\text{HCOOH}) = 1.0 - 0.70 - 0.16 = 0.14 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $K(\text{I}) = \frac{c(\text{CO})}{c(\text{HCOOH})} = \frac{0.70}{0.14} = 5$ 。t₁ 时刻→反应 II 达平衡过程,



则 $c(\text{H}_2) = b + 0.16 = y$, $b = (y - 0.16) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{HCOOH}) = 0.14 - a - b = 0.3 - a - y$, $c(\text{CO}) = a + 0.7$, $K(\text{I}) =$

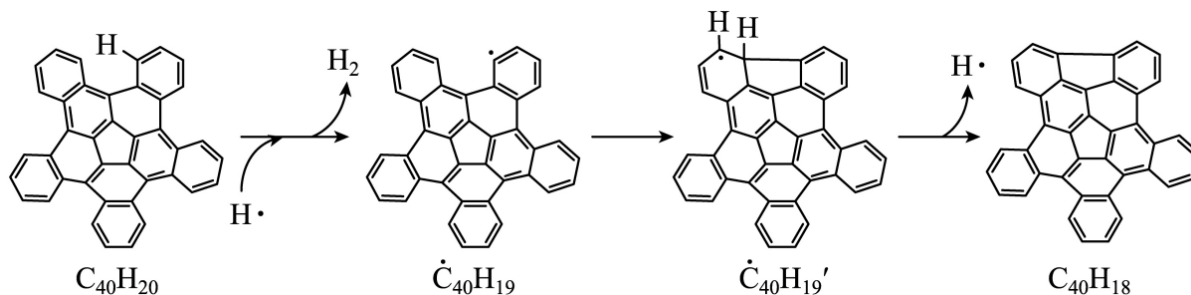
$$\frac{c(\text{CO})}{c(\text{HCOOH})} = \frac{0.3 - a - y}{a + 0.7} = 5, \quad a = \frac{0.8 - 5y}{6}。故 \frac{c(\text{CO})}{c(\text{CO}_2)} = \frac{\frac{0.8 - 5y}{6} + 0.7}{y} = \frac{5 - 5y}{6y}, \quad K(\text{II}) =$$

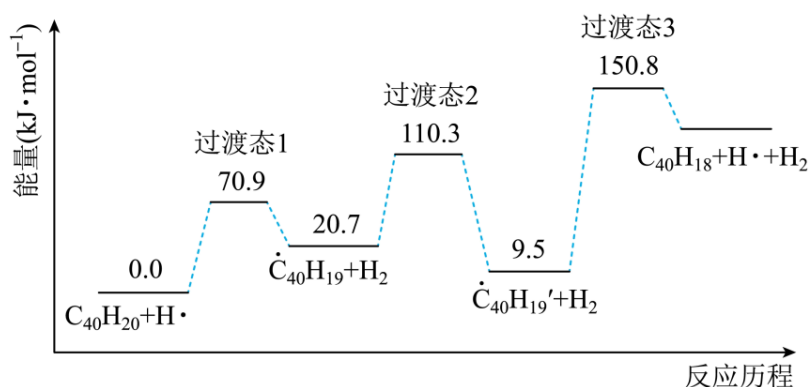
$$\frac{c(\text{CO}_2)c(\text{H}_2)}{c(\text{HCOOH})} = \frac{y \cdot y}{\frac{0.8 - 5y}{6} + 0.7} = \frac{6y^2}{1 - y}。$$

加入 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸后, H^+ 对反应 I 起催化作用, 加快反应 I 的反应速率, 缩短到达平衡所需时间, 故 CO 浓度峰值提前, 由于时间缩短, 反应 II 消耗的 HCOOH 减小, 体系中 HCOOH 浓度增大, 导致 CO 浓度大于 t₁ 时刻的峰值, 故 c(CO) 最有可能在 a 处达到峰值。此时 c(CO₂) 会小于不含盐酸的浓度, $\frac{c(\text{CO})}{c(\text{HCOOH})} = K(\text{I})$,

温度不变, 平衡常数不变, 则 $\frac{c(\text{CO})}{c(\text{HCOOH})}$ 的值不变。

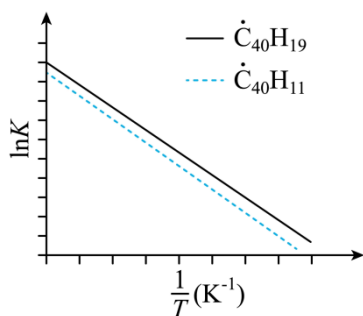
3. (2023·湖北卷) 纳米碗 C₄₀H₁₀ 是一种奇特的碗状共轭体系。高温条件下, C₄₀H₁₀ 可以由 C₄₀H₂₀ 分子经过连续 5 步氢抽提和闭环脱氢反应生成。C₄₀H₂₀(g) $\xrightarrow{\text{H}^\cdot}$ C₄₀H₁₈(g) + H₂(g) 的反应机理和能量变化如下:





回答下列问题：

- (1) 已知 $C_{40}H_x$ 中的碳氢键和碳碳键的键能分别为 $431.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 和 $298.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，H-H 键能为 $436.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。估算 $C_{40}H_{20}(g) \rightarrow C_{40}H_{18}(g) + H_2(g)$ 的 $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。
- (2) 图示历程包含 个基元反应，其中速率最慢的是第 个。
- (3) $C_{40}H_{10}$ 纳米碗中五元环和六元环结构的数目分别为 、 。
- (4) 1200K 时，假定体系内只有反应 $C_{40}H_{12}(g) \rightarrow C_{40}H_{10}(g) + H_2(g)$ 发生，反应过程中压强恒定为 p_0 (即 $C_{40}H_{12}$ 的初始压强)，平衡转化率为 α ，该反应的平衡常数 K_p 为 (用平衡分压代替平衡浓度计算，分压=总压×物质的量分数)。
- (5) $\dot{C}_{40}H_{19}(g) \rightarrow C_{40}H_{18}(g) + H \cdot (g)$ 及 $\dot{C}_{40}H_{11}(g) \rightarrow C_{40}H_{10}(g) + H \cdot (g)$ 反应的 $\ln K$ (K 为平衡常数) 随温度倒数的关系如图所示。已知本实验条件下， $\ln K = -\frac{\Delta H}{RT} + c$ (R 为理想气体常数， c 为截距)。图中两条线几乎平行，从结构的角分析其原因是 。



- (6) 下列措施既能提高反应物的平衡转化率，又能增大生成 $C_{40}H_{10}$ 的反应速率的是 (填标号)。
a. 升高温度 b. 增大压强 c. 加入催化剂

【答案】 (1) 128

(2) 3 3

(3) 6 10

(4) $p_0 \frac{\alpha^2}{1-\alpha^2}$

(5) 在反应过程中，断裂和形成的化学键相同

(6) a

【解析】(1) 由 $C_{40}H_{20}$ 和 $C_{40}H_{18}$ 的结构式和反应历程可以看出, $C_{40}H_{20}$ 中断裂了 2 根碳氢键, $C_{40}H_{18}$ 形成了 1 根碳碳键, 所以 $C_{40}H_{20}(g) \rightarrow C_{40}H_{18}(g) + H_2(g)$ 的 $\Delta H = 431 \times 2 - 298 - 436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = +128 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 故答案为: 128;

(2) 由反应历程可知, 包含 3 个基元反应, 分别为: $C_{40}H_{20} + Hg \xrightarrow{g} C_{40}H_{19} + H_2$, $C_{40}H_{19} + H_2 \xrightarrow{g} C_{40}H_{19}' + H_2$, $C_{40}H_{19}' + H_2 \xrightarrow{g} C_{40}H_{18} + Hg + H_2$, 其中第三个的活化能最大, 反应速率最慢, 故答案为: 3; 3;

(3) 由 $C_{40}H_{20}$ 的结构分析, 可知其中含有 1 个五元环, 10 个六元环, 每脱两个氢形成一个五元环, 则 $C_{40}H_{10}$ 总共含有 6 个五元环, 10 个六元环, 故答案为: 6; 10;

(4) 1200K 时, 假定体系内只有反应 $C_{40}H_{12}(g) \rightarrow C_{40}H_{10}(g) + H_2(g)$ 发生, 反应过程中压强恒定为 p_0 (即 $C_{40}H_{12}$ 的初始压强), 平衡转化率为 α , 设起始量为 1mol, 则根据信息列出三段式为:

	$C_{40}H_{12}(g)$	$\rightleftharpoons$	$C_{40}H_{10}(g)$	$+H_2(g)$
起始量 (mol)	1		0	0
变化量 (mol)	α		α	α
平衡量 (mol)	$1-\alpha$		α	α

则 $P(C_{40}H_{12}) = P_0 \times \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$, $P(C_{40}H_{10}) = P_0 \times \frac{\alpha}{1+\alpha}$, $P(H_2) = P_0 \times \frac{\alpha}{1+\alpha}$, 该反应的平衡常数 $K_p = \frac{P_0 \times \frac{\alpha}{1+\alpha} \times P_0 \times \frac{\alpha}{1+\alpha}}{P_0 \times \frac{1-\alpha}{1+\alpha}} =$

$P_0 \times \frac{\alpha^2}{1-\alpha^2}$, 故答案为: $P_0 \times \frac{\alpha^2}{1-\alpha^2}$;

(5) $C_{40}H_{19}(g) \rightarrow C_{40}H_{18}(g) + H \cdot (g)$ 及 $C_{40}H_{11}(g) \rightarrow C_{40}H_{10}(g) + H \cdot (g)$ 反应的 $\ln K$ (K 为平衡常数) 随温度倒数的关系如图。图中两条线几乎平行, 说明斜率几乎相等, 根据 $\ln K = -\frac{\Delta H}{RT} + c$ (R 为理想气体常数, c 为截距) 可知, 斜率相等, 则说明焓变相等, 因为在反应过程中, 断裂和形成的化学键相同, 故答案为: 在反应过程中, 断裂和形成的化学键相同;

(6) a. 由反应历程可知, 该反应为吸热反应, 升温, 反应正向进行, 提高了平衡转化率反应速率也加快, a 符合题意;

b. 由化学方程式可知, 该反应为正向体积增大的反应, 加压, 反应逆向进行, 降低了平衡转化率, b 不符合题意;

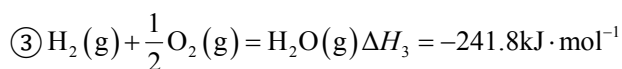
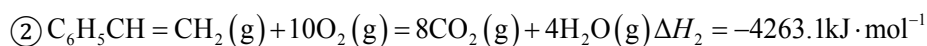
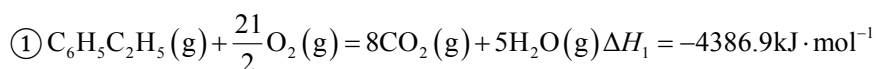
c. 加入催化剂, 平衡不移动, 不能提高平衡转化率, c 不符合题意;

故答案为: a。

4. (2023·湖南卷) 聚苯乙烯是一类重要的高分子材料, 可通过苯乙烯聚合制得。

I. 苯乙烯的制备

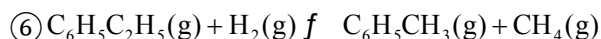
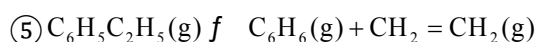
(1) 已知下列反应的热化学方程式:



计算反应④ $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H_4 =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;

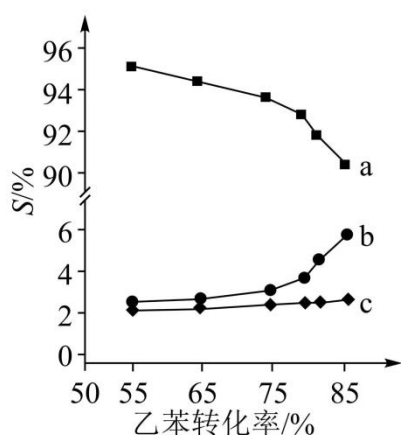
(2) 在某温度、100kPa 下, 向反应器中充入 1mol 气态乙苯发生反应④, 其平衡转化率为 50%, 欲将平衡转化率提高至 75%, 需要向反应器中充入 _____ mol 水蒸气作为稀释气(计算时忽略副反应);

(3) 在 913K、100kPa 下, 以水蒸气作稀释气。Fe₂O₃ 作催化剂, 乙苯除脱氢生成苯乙烯外, 还会发生如下两个副反应:



以上反应体系中, 芳香烃产物苯乙烯、苯和甲苯的选择性 $S(S = \frac{\text{转化为目的产物所消耗乙苯的量}}{\text{已转化的乙苯总量}} \times 100\%)$ 随

乙苯转化率的变化曲线如图所示, 其中曲线 b 代表的产物是 _____, 理由是 _____;



(4) 关于本反应体系中催化剂 Fe₂O₃ 的描述错误的是 _____;

- A. X 射线衍射技术可测定 Fe₂O₃ 晶体结构
- B. Fe₂O₃ 可改变乙苯平衡转化率
- C. Fe₂O₃ 降低了乙苯脱氢反应的活化能
- D. 改变 Fe₂O₃ 颗粒大小不影响反应速率

II. 苯乙烯的聚合

苯乙烯聚合有多种方法, 其中一种方法的关键步骤是某 Cu(I) 的配合物促进 C₆H₅CH₂X (引发剂, X 表示卤素) 生成自由基 C₆H₅CH₂·, 实现苯乙烯可控聚合。

(5) 引发剂 C₆H₅CH₂Cl、C₆H₅CH₂Br、C₆H₅CH₂I 中活性最高的是 _____;

(6) 室温下, ① Cu⁺ 在配体 L 的水溶液中形成 [Cu(L)₂]⁺, 其反应平衡常数为 K; ② CuBr

在水中的溶度积常数为 K_{sp} 。由此可知，CuBr 在配体 L 的水溶液中溶解反应的平衡常数为_____ (所有方程式中计量系数关系均为最简整数比)。

【答案】 (1) +118

(2) 5

(3) 苯 反应④为主反应，反应⑤⑥为副反应，苯乙烯的选择性最大；在恒温恒压下，随乙苯转化率的增大，反应⑤正向移动，反应⑥不移动，则曲线 b 代表产物苯

(4) BD

(5) $C_6H_5CH_2Cl$

(6) $K \cdot K_{sp}$

【解析】 (1) 根据盖斯定律，将①-②-③可得 $C_6H_5C_2H_5(g) \rightleftharpoons C_6H_5CH=CH_2(g) + H_2(g)$

$\Delta H_f = -4386.9 \text{ kJ/mol} - (-4263.1 \text{ kJ/mol}) - (-241.8 \text{ kJ/mol}) = +118 \text{ kJ/mol}$ ； 答案为： +118；

(2) 设充入 $H_2O(g)$ 物质的量为 $x \text{ mol}$ ；在某温度、100kPa 下，向反应器中充入 1mol 气态乙苯发生反应④。

	$C_6H_5C_2H_5(g)$	$\rightleftharpoons$	$C_6H_5CH=CH_2(g)$	$+$	$H_2(g)$	
$n(\text{起始})(\text{mol})$	1		0		0	
$n(\text{转化})(\text{mol})$	0.5		0.5		0.5	
$n(\text{平衡})(\text{mol})$	0.5		0.5		0.5	

乙苯的平衡转化率为 50%，可列三段式

混合气体总物质的量为 1.5mol，此时容器的体积为 V；当乙苯的平衡转化率为 75%，可列三段式

	$C_6H_5C_2H_5(g)$	$\rightleftharpoons$	$C_6H_5CH=CH_2(g)$	$+$	$H_2(g)$	
$n(\text{起始})(\text{mol})$	1		0		0	
$n(\text{转化})(\text{mol})$	0.75		0.75		0.75	
$n(\text{平衡})(\text{mol})$	0.25		0.75		0.75	

，此时乙苯、苯乙烯、 H_2 物质的量之和为 1.75mol，混

合气的总物质的量为 $(1.75+x) \text{ mol}$ ，在恒温、恒压时，体积之比等于物质的量之比，此时容器的体积为 $\frac{1.75+x}{1.5} V$ ；

两次平衡温度相同，则平衡常数相等，则 $\frac{(\frac{0.5}{V})^2}{\frac{0.5}{V}} = \frac{(\frac{0.75}{\frac{1.75+x}{1.5} V})^2}{\frac{0.25}{\frac{1.75+x}{1.5} V}}$ ，解得 $x=5$ ； 答案为： 5；

(3) 曲线 a 芳香烃产物的选择性大于曲线 b、c 芳香烃产物的选择性，反应④为主反应，反应⑤⑥为副反应，则曲线 a 代表产物苯乙烯的选择性；反应④⑤的正反应为气体分子数增大的反应，反应⑥的正反应是气体分子数不变的反应；在 913K、100kPa（即恒温恒压）下以水蒸气作稀释气，乙苯的转化率增大，即减小压强，反应④⑤都向正反应方向移动，反应⑥平衡不移动，故曲线 b 代表的产物是苯；答案为：苯；反应④为主反应，反应⑤⑥为副反应，苯乙烯的选择性最大；在恒温恒压下，随乙苯转化率的增大，反应⑤正向移动，反应⑥不移动，则曲线 b 代表产物苯；

(4) A. 测定晶体结构最常用的仪器是 X 射线衍射仪，即用 X 射线衍射技术可测定 Fe_2O_3 晶体结构，A 项正确；

B. 催化剂不能使平衡发生移动, 不能改变乙苯的平衡转化率, B 项错误;

C. 催化剂能降低反应的活化能, 加快反应速率, 故 Fe_2O_3 可降低乙苯脱氢反应的活化能, C 项正确;

D. 催化剂颗粒大小会影响接触面积, 会影响反应速率, D 项错误;

答案选 BD。

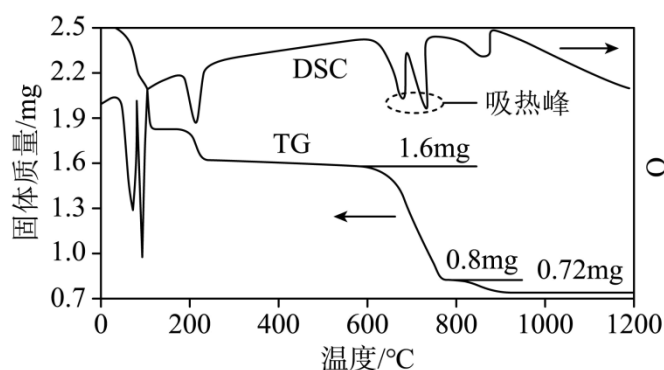
(5) 电负性 $\text{Cl} > \text{Br} > \text{I}$, 则极性 $\text{C}-\text{Cl}$ 键 $> \text{C}-\text{Br}$ 键 $> \text{C}-\text{I}$ 键, 则 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$ 更易生成自由基, 即活性最高的是 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$; 答案为: $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$;

(6) Cu^+ 在配体 L 的水溶液中形成 $[\text{Cu}(\text{L})_2]^+$, 则 $\text{Cu}^+ + 2\text{L} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{L})_2]^+$ 的平衡常数 $K = \frac{c\{[\text{Cu}(\text{L})_2]^+\}}{c(\text{Cu}^+) \cdot c^2(\text{L})}$; CuBr 在水中的溶度积常数 $K_{sp} = c(\text{Cu}^+) \cdot c(\text{Br}^-)$; CuBr 在配体 L 的水溶液中溶解反应为 $\text{CuBr} + 2\text{L} \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{L})_2]^+ + \text{Br}^-$, 该反应的平衡常数为 $\frac{c\{[\text{Cu}(\text{L})_2]^+\} \cdot c(\text{Br}^-)}{c^2(\text{L})} = \frac{c\{[\text{Cu}(\text{L})_2]^+\} \cdot c(\text{Br}^-) \cdot c(\text{Cu}^+)}{c^2(\text{L}) \cdot c(\text{Cu}^+)} = K \cdot K_{sp}$; 答案为: $K \cdot K_{sp}$ 。

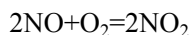
5. (2023·辽宁卷) 硫酸工业在国民经济中占有重要地位。

(1) 我国古籍记载了硫酸的制备方法——“炼石胆($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)取精华法”。借助现代仪器分析, 该制备过程中 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 分解的 TG 曲线(热重)及 DSC 曲线(反映体系热量变化情况, 数值已省略)如下图所示。

700°C 左右有两个吸热峰, 则此时分解生成的氧化物有 SO_2 、_____和 _____(填化学式)。



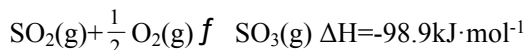
(2) 铅室法使用了大容积铅室制备硫酸(76%以下), 副产物为亚硝基硫酸, 主要反应如下:



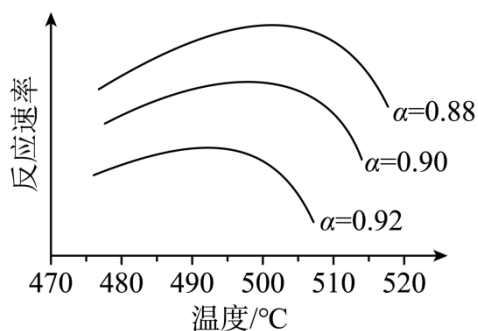
(i) 上述过程中 NO_2 的作用为_____。

(ii) 为了适应化工生产的需求, 铅室法最终被接触法所代替, 其主要原因是_____ (答出两点即可)。

(3) 接触法制硫酸的关键反应为 SO_2 的催化氧化:

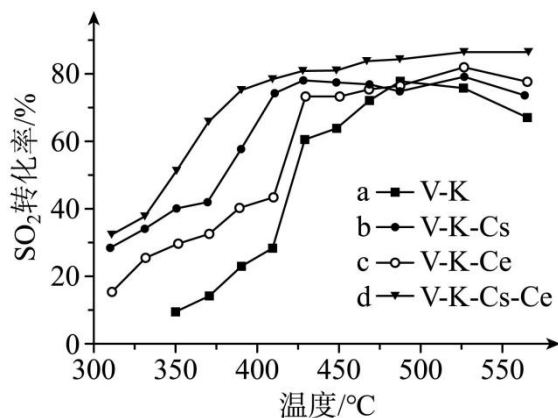


(i) 为寻求固定投料比下不同反应阶段的最佳生产温度, 绘制相应转化率(α)下反应速率(数值已略去)与温度的关系如下图所示, 下列说法正确的是_____。



- 温度越高，反应速率越大
- $\alpha=0.88$ 的曲线代表平衡转化率
- α 越大，反应速率最大值对应温度越低
- 可根据不同 α 下的最大速率，选择最佳生产温度

(ii) 为提高钒催化剂的综合性能，我国科学家对其进行了改良。不同催化剂下，温度和转化率关系如下图所示，催化性能最佳的是_____ (填标号)。



(iii) 设 O_2 的平衡分压为 p ， SO_2 的平衡转化率为 α_e ，用含 p 和 α_e 的代数式表示上述催化氧化反应的 K_p = _____ (用平衡分压代替平衡浓度计算)。

【答案】 (1) CuO SO_3

(2) 催化剂 反应中有污染空气的 NO 和 NO_2 放出影响空气环境、 NO_2 可以溶解在硫酸中给产物硫酸带来杂质、产率不高 (答案合理即可)

(3) cd d
$$\frac{\alpha_e}{(1-\alpha_e) \cdot p^{\frac{1}{2}}}$$

【解析】 (1) 根据图示的热重曲线所示，在 700°C 左右会出现两个吸热峰，说明此时 CuSO_4 发生热分解反应，从 TG 图像可以看出，质量减少量为原 CuSO_4 质量的一半，说明有固体 CuO 剩余，还有其他气体产出，此时气体产物为 SO_2 、 SO_3 、 O_2 ，可能出现的化学方程式为 $3\text{CuSO}_4 \xrightarrow{700^\circ\text{C}} 3\text{CuO} + 2\text{SO}_2\uparrow + \text{SO}_3\uparrow + \text{O}_2\uparrow$ ，结合反应中产物的固体产物质量和气体产物质量可以确定，该反应的产物为 CuO 、 SO_2 、 SO_3 、 O_2 ，故答案为 CuO 、 SO_3 。

(2) (i) 根据所给的反应方程式， NO_2 在反应过程中先消耗再生成，说明 NO_2 在反应中起催化剂的作用；

(ii)近年来, 铅室法被接触法代替因为在反应中有污染空气的 NO 和 NO_2 放出影响空气环境、同时作为催化剂的 NO_2 可以溶解在硫酸中给产物硫酸带来杂质影响产品质量、产率不高(答案合理即可)。

- (3) (i)a. 根据不同转化率下的反应速率曲线可以看出, 随着温度的升高反应速率先加快后减慢, a 错误;
b. 从图中所给出的速率曲线可以看出, 相同温度下, 转化率越低反应速率越快, 但在转化率小于 88% 时的反应速率图像并没有给出, 无法判断 $\alpha=0.88$ 的条件下是平衡转化率, b 错误;
c. 从图像可以看出随着转化率的增大, 最大反应速率不断减小, 最大反应速率出现的温度也逐渐降低, c 正确;
d. 从图像可以看出随着转化率的增大, 最大反应速率出现的温度也逐渐降低, 这时可以根据不同转化率选择合适的反应温度以减少能源的消耗, d 正确;

故答案选 cd;

(ii)为了提高催化剂的综合性能, 科学家对催化剂进行了改良, 从图中可以看出标号为 d 的催化剂 V-K-Cs-Ce 对 SO_2 的转化率最好, 产率最佳, 故答案选 d;

(iii)利用分压代替浓度计算平衡常数, 反应的平衡常数 $K_p = \frac{p(\text{SO}_3)}{p(\text{SO}_2) p^{\frac{1}{2}}(\text{O}_2)} = \frac{\frac{n(\text{SO}_3)}{n(\text{总})} p(\text{总})}{\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{总})} p(\text{总}) \cdot p^{\frac{1}{2}}(\text{O}_2)} =$

$\frac{n(\text{SO}_3)}{n(\text{SO}_2) \cdot p^{\frac{1}{2}}(\text{O}_2)}$; 设 SO_2 初始量为 m mol, 则平衡时 $n(\text{SO}_2)=m-m \cdot \alpha_e=m(1-\alpha_e)$, $n(\text{SO}_3)=m \cdot \alpha_e$, $K_p =$

$\frac{m \cdot \alpha_e}{m(1-\alpha_e) \cdot p^{\frac{1}{2}}(\text{O}_2)} = \frac{\alpha_e}{(1-\alpha_e) \cdot p^{\frac{1}{2}}}$, 故答案为 $\frac{\alpha_e}{(1-\alpha_e) \cdot p^{\frac{1}{2}}}$ 。

解题秘籍

一、化学反应原理综合题的解题“三原则”

原则一、注意跳跃思维

化学反应原理综合题是拼盘式考查, 热化学和电化学的题目设计一般没有递进性, 答题时可跳跃解决, 不能因为化学平衡的题目难度大而放弃

原则二、仔细分析图像

分析图像要明确三步:

“一看”看图像

“二想”想规律

“三判”得结论

原则三、分层简化解题

把大题化为小题, 把综合性问题分解为相对独立的小问题, 降低难度, 各个击破。如:

(1) 利用盖斯定律求算反应热。分层思考:

- ①明确待求热化学方程式中的反应物和生成物；
- ②处理已知热化学方程式中的化学计量数和焓变；
- ③叠加处理热化学方程式确定答案。

(2) 化学反应速率的计算、转化率及平衡常数的计算

用“三段式”法分层找相关“量”:用什么时刻量,用什么物理量计算。如计算平衡常数 K 时,不能使用平衡时的物质的量,要用平衡时的物质的量浓度。

(3) 电化学的考查:首先分析电化学装置,判断是原电池还是电解池,再根据电极所处的环境书写电极反应式。

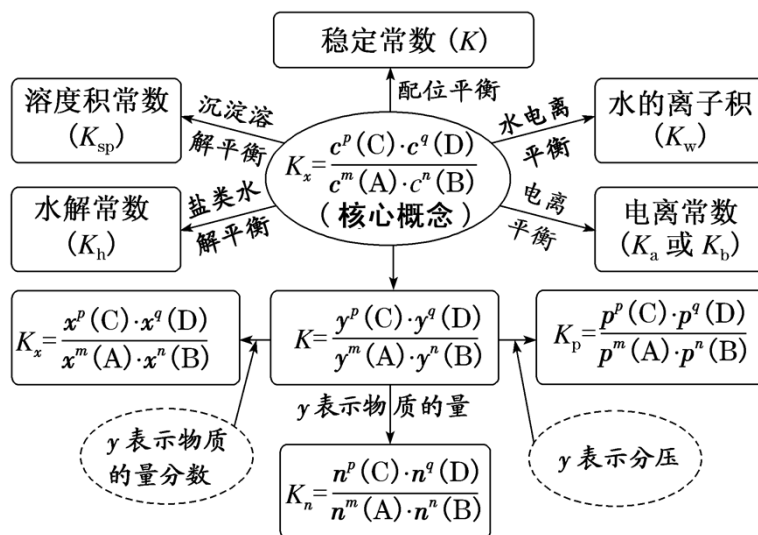
二、化学反应原理题的四大考向

1. “加和法”突破盖斯定律运算

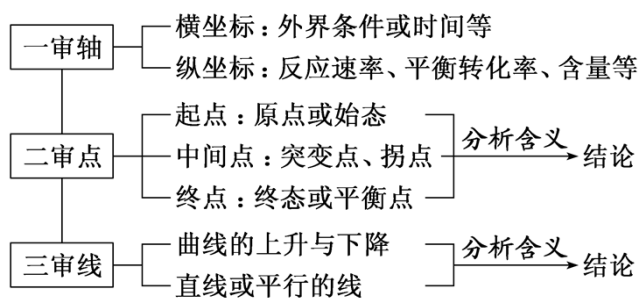
- (1) 确定目标反应中的物质存在于哪个已知热化学反应方程式中及所处的位置与化学计量数。
- (2) 根据目标反应调整已知反应的方向、计量数和焓变。
- (3) 根据调整好的已知热化学方程式进行加和运算,进而确定目标热化学方程式或焓变(ΔH)。

2. “三段式”分析突破反应速率和平衡的有关计算

- (1) 根据题意在反应的下方确定或设定有关起始量、转化量和平衡量(这里的量可以是物质的量、物质的量浓度、分压等)。
- (2) 根据题中所求的物理量的表示式代入上述有关量进行换算或计算。在进行有关计算时,要注意对单位的要求。

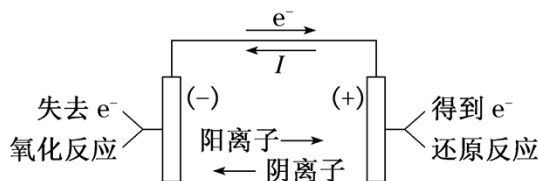


3. “三审”突破反应速率和平衡的有关图像

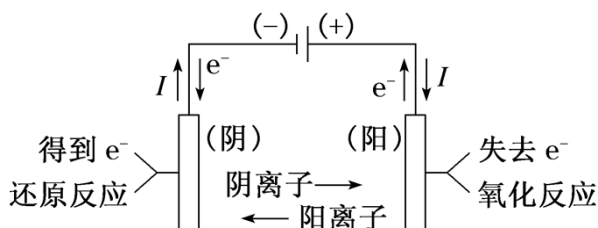


4. 利用“两种模型”突破电化学分析

(1) 原电池模型

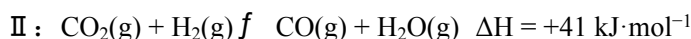
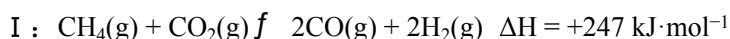


(2) 电解池模型



押题预测

1. (2024·吉林·统考一模)“碳达峰·碳中和”是我国社会发展重大战略之一， CH_4 还原 CO_2 是实现“双碳”经济的有效途径之一，相关的主要反应有：



请回答下列问题：

(1) 有利于提高 CO_2 平衡转化率的条件是_____。

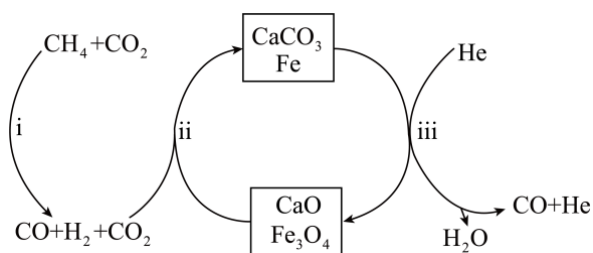
A. 低温低压 B. 低温高压 C. 高温低压 D. 高温高压

(2) 反应 $\text{CH}_4(\text{g}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(3) 恒温恒压条件下，1mol $\text{CH}_4(\text{g})$ 和 1mol $\text{CO}_2(\text{g})$ 反应达平衡时， $\text{CH}_4(\text{g})$ 的转化率为 α ， $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的物质的量为 $b\text{mol}$ ，则反应 I 的平衡常数 $K_x = \underline{\hspace{2cm}}$ (写出含有 α 、 b 的计算式；对于反应 $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$,

$$K_x = \frac{x^p(\text{C}) \cdot x^q(\text{D})}{x^m(\text{A}) \cdot x^n(\text{B})}, \quad x \text{ 为物质的量分数}。$$

(4) 恒压、750°C 时， CH_4 和 CO_2 按物质的量之比 1:3 投料，反应经如下流程(主要产物已标出)可实现 CO_2 高效转化。



①下列说法正确的是_____。

- A. Fe_3O_4 可循环利用, CaO 不可循环利用
- B. 过程 ii, CaO 吸收 CO_2 , 可促使 Fe_3O_4 氧化 CO 的平衡正移
- C. 过程 ii 产生的 H_2O 最终未被 CaO 吸收, 在过程 iii 被排出
- D. 相比于反应 I, 该流程的总反应还原 1molCO_2 需吸收的能量更多

②过程 ii 平衡后通入 He , 测得一段时间内 CO 物质的量上升, 根据过程 iii, 结合平衡移动原理, 解释 CO 物质的量上升的原因_____。

(5) CH_4 还原能力(R)可衡量 CO_2 转化效率, $R = \frac{\Delta n(\text{CO}_2)}{\Delta n(\text{CH}_4)}$ (同一时段内 CO_2 与 CH_4 的物质的量变化量之比)。

催化剂 X 可提高 R 值, 某一时段内 CH_4 转化率、R 值随温度变化如下表:

温度/ $^{\circ}\text{C}$	480	500	520	550
CH_4 转化率/%	7.9	11.5	20.2	34.8
R	2.6	2.4	2.1	1.8

①温度升高, CH_4 转化率增加, CO_2 转化率_____ (填“增大”“减小”或“不变”)。

②分析催化剂提高 R 值的原因_____。

【答案】(1) C

(2) +329

$$(3) \frac{\left(\frac{2a-b}{2+2a}\right)^2 \times \left(\frac{2a+b}{2+2a}\right)^2}{\left(\frac{1-a-b}{2+2a}\right) \times \left(\frac{1-a}{2+2a}\right)}$$

(4) BC 通入 He , CaCO_3 分解平衡正移, 导致 $\frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO})}$ 增大, 促进 Fe 还原 CO_2 平衡正移

(5) 增大 催化剂 X 选择性地提高反应 II 的速率, 使单位时间内反应 II 中 CO_2 的转化率增大, $\Delta n(\text{CO}_2)$ 增大的倍数比 $\Delta n(\text{CH}_4)$ 大, 所以 R 提高

【解析】(1) 反应 I 是正向气体分子数增大的吸热反应, 反应 II 是气体分子数不变的吸热反应, 故高温、低压有利于反应 I 正向移动, 高温有利于反应 II 正向移动, 从而提高 CO_2 平衡转化率, 故 C 符合题意, 故答案为: C;

(2) 根据盖斯定律可知, $\text{I} + 2 \times \text{II}$ 可得: $\text{CH}_4(\text{g}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \Delta H$, 则 $\Delta H = (247 + 41 \times 2) \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 329 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 故答案为: 329;

(3) 恒温恒压条件下, $1 \text{mol CH}_4(\text{g})$ 和 $1 \text{mol CO}_2(\text{g})$ 反应达平衡时, $\text{CH}_4(\text{g})$ 的转化率为 α , $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的物质的

量为 $b \text{mol}$, 由三段式分析可知:

	$\text{CH}_4(\text{g})$	$+ \text{CO}_2(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$	
起始量(mol)	1	1		0	0
转化量(mol)	α	α		2α	2α
平衡量(mol)	$1-\alpha$	$1-\alpha$		2α	2α

	$\text{CO}_2(\text{g})$	$+ \text{H}_2(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	
起始量(mol)	$1-\alpha$	2α		2α	0
转化量(mol)	b	b		b	b
平衡量(mol)	$1-\alpha-b$	$2\alpha-b$		$2\alpha+b$	b

, 平衡时 CH_4 、 CO_2 、 CO 、 H_2 的物质的量分数分别为:

$$\frac{1-\alpha}{2+2\alpha}, \frac{1-\alpha-b}{2+2\alpha}, \frac{2\alpha+b}{2+2\alpha}, \frac{2\alpha-b}{2+2\alpha}, \text{ 则反应 I 的平衡常数 } K_x = \frac{x^2(\text{CO})x^2(\text{H}_2)}{x(\text{CO}_2)x(\text{CH}_4)} = \frac{\left(\frac{2\alpha-b}{2+2\alpha}\right)^2 \times \left(\frac{2\alpha+b}{2+2\alpha}\right)^2}{\left(\frac{1-\alpha-b}{2+2\alpha}\right) \times \left(\frac{1-\alpha}{2+2\alpha}\right)}, \text{ 故答案为:}$$

$$\frac{\left(\frac{2\alpha-b}{2+2\alpha}\right)^2 \times \left(\frac{2\alpha+b}{2+2\alpha}\right)^2}{\left(\frac{1-\alpha-b}{2+2\alpha}\right) \times \left(\frac{1-\alpha}{2+2\alpha}\right)};$$

- (4) ①A. 由图可知, Fe_3O_4 和 CaO 在反应 ii 中消耗, 在反应 iii 中生成, 可循环利用, A 错误;
 B. 由图可知, 过程 ii 中, CaO 吸收 CO_2 可促使 Fe_3O_4 氧化 CO 的平衡正移, B 正确;
 C. 由图可知, 过程 ii 产生的 H_2O 在过程 iii 中不反应, 未被 CaO 吸收, 在过程 iii 被排出, C 正确;
 D. Fe_3O_4 和 CaO 做催化剂, 不影响焓变, 相比于反应 I, 该流程的总反应还原 1mol CO_2 需吸收的能量不变, D 错误;

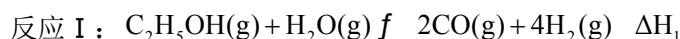
故答案为: BC;

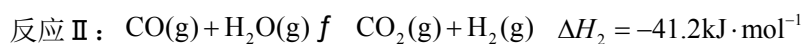
②过程 ii 平衡后通入 He , 气体体积增大, 相当于减压, CaCO_3 分解平衡正移, 导致 $\frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO})}$ 增大, 进一步促进 Fe 还原 CO_2 平衡正移, 一段时间内 CO 物质的量上升, 故答案为: 通入 He , CaCO_3 分解平衡正移, 导致 $\frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO})}$ 增大, 促进 Fe 还原 CO_2 平衡正移;

(5) ①由题干可知, 两个反应都是吸热反应, 温度升高, CH_4 转化率增加, CO_2 转化率增大, 两个反应中 CO_2 转化率都增大, 故答案为: 增大;

②催化剂具有选择性, 由于催化剂 X 选择性地提高反应 II 的速率, 使单位时间内反应 II 中 CO_2 的转化率增大, $\Delta n(\text{CO}_2)$ 增大的倍数比 $\Delta n(\text{CH}_4)$ 大, 所以 R 提高, 故答案为: 催化剂 X 选择性地提高反应 II 的速率, 使单位时间内反应 II 中 CO_2 的转化率增大, $\Delta n(\text{CO}_2)$ 增大的倍数比 $\Delta n(\text{CH}_4)$ 大, 所以 R 提高。

2. (2024·山东日照校际联考一模) “氢能”的开发利用意义重大, 乙醇与水催化重整制“氢”发生如下反应。



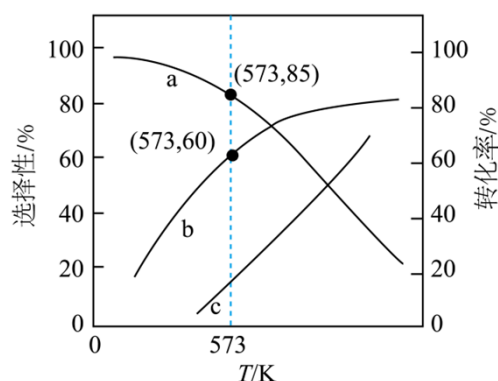


回答下列问题：

(1) 反应Ⅰ的 $\Delta H_1 =$ _____。

(2) 反应Ⅱ的速率 $v = v_{\text{正}} - v_{\text{逆}} = k_{\text{正}}c(\text{CO}) \cdot c(\text{H}_2\text{O}) - k_{\text{逆}}c(\text{CO}_2) \cdot c(\text{H}_2)$ ，其中 $k_{\text{正}}$ 、 $k_{\text{逆}}$ 分别为正、逆反应速率常数。升高温度时 $\lg k_{\text{正}} - \lg k_{\text{逆}}$ _____ (填“增大”“减小”或“不变”)。

(3) 压强为 100kPa 下，1mol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH(g)}$ 和 3mol $\text{H}_2\text{O(g)}$ 发生上述反应，平衡时 CO_2 和 CO 的选择性、乙醇的转化率随温度的变化曲线如图。



[已知： CO 的选择性 $= \frac{n_{\text{生成}}(\text{CO})}{n_{\text{生成}}(\text{CO}) + n_{\text{生成}}(\text{CO}_2)}$]

①表示 CO 选择性的曲线是 _____ (填标号)；

②573K 时，生成 CO_2 的物质的量为 _____；

③573K 时，反应Ⅱ的标准平衡常数 $K^\theta = \frac{\frac{p(\text{CO}_2)}{p^\theta} \times \frac{p(\text{H}_2)}{p^\theta}}{\frac{p(\text{CO})}{p^\theta} \times \frac{p(\text{H}_2\text{O})}{p^\theta}}$ ，其中 p^θ 为 100kPa， $p(\text{CO}_2)$ 、 $p(\text{H}_2)$ 、 $p(\text{CO})$

和 $p(\text{H}_2\text{O})$ 为各组分的平衡分压，则反应Ⅲ的 $K^\theta =$ _____ (列出计算式即可)。

(4) 压强为 100kPa， H_2 的平衡产率与温度、起始时 $\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}$ 的关系如图所示，每条曲线表示 H_2 相同的平衡产率。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/295231100200011322>