

十年真题 2015-2024

专题 48 化学反应速率与平衡综合问题

十年考情·探规律

考点	十年考情(2015-2024)	命题趋势
考点 1 速率平衡综合问题(选择题)	2024·浙江 6 月卷、2024·江苏卷、2023·江苏卷、2022·江苏卷、2021·北京卷、2021·海南选择性考试、2020·浙江 1 月卷、2020·江苏卷、2020·天津卷、2019·浙江 4 月卷、2019·浙江 4 月卷、2018·天津卷、2018·江苏卷	化学反应速率和化学平衡的综合问题,延续选择题或非选择题的形式。涉及化学反应速率和化学平衡类综合问题,往往结合图象来呈现,试题利用数形结合,将影响化学反应速率和化学平衡的外界因素(如温度、浓度、压强和催化剂等)融入其中,充分考查学生的分析与推理能力,尤其是近年来把工业生产的投料比、转化率的变化及反应条件的控制等隐含在坐标图象中,让图象的判读更加复杂困难。此类题目信息量较大,能充分考查学生读图、提取信息、解决问题的能力,在新课标选考中受到命题者的青睐。
考点 2 速率平衡综合问题(非选择题)	2019·新课标 I 卷、2019·新课标 II 卷、2019·北京卷、2019·江苏卷、2018·新课标 I 卷、2018·新课标 II 卷、2018·天津卷、2018·江苏卷、2017·新课标 II 卷、2017·新课标 III 卷、2017·北京卷	

分考点·精准练

考点 1 速率平衡综合问题(选择题)

1. (2024·浙江 6 月卷, 11, 3 分)二氧化碳氧化乙烷制备乙烯, 主要发生如下两个反应:



向容积为 10L 的密闭容器中投入 2 mol C_2H_6 和 3 mol CO_2 , 不同温度下, 测得 5min 时(反应均未平衡)的相关数据见下表, 下列说法不正确的是()

温度(°C)	400	500	600
乙烷转化率(%)	2.2	9.0	17.8

乙烯选择性(%)	92.6	80.0	61.8
----------	------	------	------

注：乙烯选择性 = $\frac{\text{转化为乙烯的乙烷的物质的量}}{\text{转化的乙烷的总物质的量}} \times 100\%$

- A. 反应活化能：I < II
- B. 500°C 时，0~5 min 反应 I 的平均速率为： $v(\text{C}_2\text{H}_4) = 2.88 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- C. 其他条件不变，平衡后及时移除 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ，可提高乙烯的产率
- D. 其他条件不变，增大投料比 $[n(\text{C}_2\text{H}_6)/n(\text{CO}_2)]$ 投料，平衡后可提高乙烷转化率

【答案】D

【解析】A 项，由表可知，相同温度下，乙烷在发生转化时，反应 I 更易发生，则反应活化能：

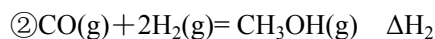
I < II，A 正确；B 项，由表可知，500°C 时，乙烷的转化率为 9.0%，可得转化的乙烷的总物质的量为 $2 \text{ mol} \times 9.0\% = 0.18 \text{ mol}$ ，而此温度下乙烯的选择性为 80%，则转化为乙烯的乙烷的物质的量为

$0.18 \text{ mol} \times 80\% = 0.144 \text{ mol}$ ，根据方程式可得，生成乙烯的物质的量为 0.144 mol，则 0~5 min 反应 I 的平均速率为

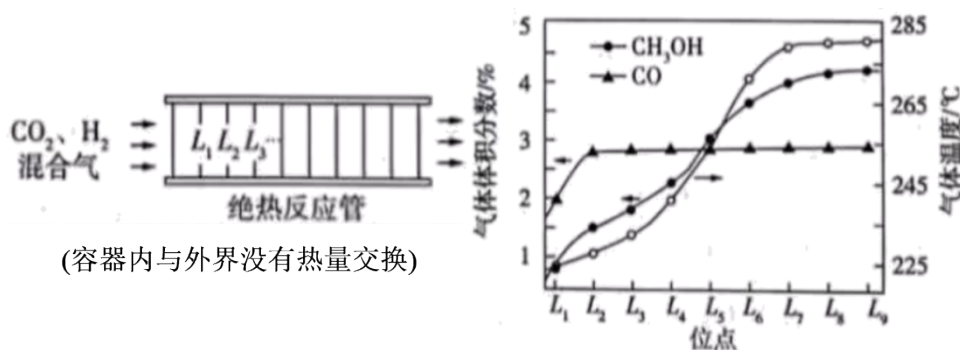
为： $v(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{0.144 \text{ mol}}{\frac{10 \text{ L}}{5 \text{ min}}} = 2.88 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，B 正确；C 项，其他条件不变，平衡后及时移除 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ，

反应 I 正向进行，可提高乙烯的产率，C 正确；D 项，其他条件不变，增大投料比 $[n(\text{C}_2\text{H}_6)/n(\text{CO}_2)]$ 投料，平衡后 CO_2 转化率提高， C_2H_6 转化率降低，D 错误；故选 D。

2. (2024·江苏卷，13，3 分) 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、 $8 \times 10^6 \text{ Pa}$ 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 、 $L_3 \dots$ 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()



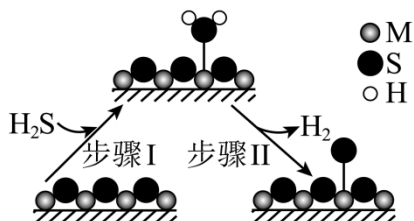
- A. L_4 处与 L_5 处反应①的平衡常数 K 相等
- B. 反应②的焓变 $\Delta H_2 > 0$
- C. L_6 处的 H_2O 的体积分数大于 L_5 处
- D. 混合气从起始到通过 L_1 处，CO 的生成速率小于 CH_3OH 的生成速率

【答案】C

【解析】A 项， L_4 处与 L_5 处的温度不同，故反应①的平衡常数 K 不相等，A 错误；B 项，由图像可知，

L_1-L_3 温度在升高, 该装置为绝热装置, 反应①为吸热反应, 所以反应②为放热反应, $\Delta H_2 < 0$, B 错误; C 项, 从 L_5 到 L_6 , 甲醇的体积分数逐渐增加, 说明反应②在向右进行, 反应②消耗 CO, 而 CO 体积分数没有明显变化, 说明反应①也在向右进行, 反应①为气体分子数不变的反应, 其向右进行时, $n(\text{H}_2\text{O})$ 增大, 反应②为气体分子数减小的反应, 且没有 H_2O 的消耗与生成, 故 n 总减小而 $n(\text{H}_2\text{O})$ 增加, 即 H_2O 的体积分数会增大, 故 L_6 处的 H_2O 的体积分数大于 L_5 处, C 正确; D 项, L_1 处 CO 的体积分数大于 CH_3OH , 说明生成的 CO 的物质的量大于 CH_3OH , 两者反应时间相同, 说明 CO 的生成速率大于 CH_3OH 的生成速率, D 错误; 故选 C。

3. (2023·江苏卷, 10, 3 分) 金属硫化物(M_xS_y) 催化反应 $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CS}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g})$, 既可以除去天然气中的 H_2S , 又可以获得 H_2 。下列说法正确的是()



A. 该反应的 $\Delta S < 0$

B. 该反应的平衡常数 $K = \frac{c(\text{CH}_4) \cdot c^2(\text{H}_2\text{S})}{c(\text{CS}_2) \cdot c^4(\text{H}_2)}$

C. 题图所示的反应机理中, 步骤 I 可理解为 H_2S 中带部分负电荷的 S 与催化剂中的 M 之间发生作用

D. 该反应中每消耗 $1\text{molH}_2\text{S}$, 转移电子的数目约为 $2 \times 6.02 \times 10^{23}$

【答案】C

【解析】A 项, 左侧反应物气体计量数之和为 3, 右侧生成物气体计量数之和为 5, $\Delta S > 0$, A 错误;

B 项, 由方程形式知, $K = \frac{c(\text{CS}_2) \cdot c^4(\text{H}_2)}{c(\text{CH}_4) \cdot c^2(\text{H}_2\text{S})}$, B 错误; C 项, 由题图知, 经过步骤 I 后, H_2S 中带部分负电荷的 S 与催化剂中的 M 之间形成了作用力, C 正确; D 项, 由方程式知, 消耗 $1\text{molH}_2\text{S}$ 同时生成 2molH_2 , 转移 4mol e^- , 数目为 $4 \times 6.02 \times 10^{23}$, D 错误; 故选 C。

4. (2022·江苏卷, 10) 用尿素水解生成的 NH_3 催化还原 NO, 是柴油机动车辆尾气净化的主要方法。反应为 $4\text{NH}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, 下列说法正确的是()

A. 上述反应 $\Delta S < 0$

B. 上述反应平衡常数 $K = \frac{c^4(\text{N}_2) \cdot c^6(\text{H}_2\text{O})}{c^4(\text{NH}_3) \cdot c(\text{O}_2) \cdot c^4(\text{NO})}$

C. 上述反应中消耗 1molNH_3 , 转移电子的数目为 $2 \times 6.02 \times 10^{23}$

D. 实际应用中, 加入尿素的量越多, 柴油机动车辆排放的尾气对空气污染程度越小

【答案】B

【解析】A 项, 由方程式可知, 该反应是一个气体分子数增大的反应, 即熵增的反应, 反应 $\Delta S > 0$

，故 A 错误；B 项，由方程式可知，反应平衡常数 $K = \frac{c^4(\text{N}_2) \cdot c^6(\text{H}_2\text{O})}{c^4(\text{NH}_3) \cdot c(\text{O}_2) \cdot c^4(\text{NO})}$ ，故 B 正确；C 项，由方程式可知，反应每消耗 4mol 氨气，反应转移 12mol 电子，则反应中消耗 1mol 氨气转移电子的数目为 $3\text{mol} \times 4 \times \frac{1}{4} \times 6.02 \times 10^{23} = 3 \times 6.02 \times 10^{23}$ ，故 C 错误；D 项，实际应用中，加入尿素的量越多，尿素水解生成的氨气过量，柴油机车排放的氨气对空气污染程度增大，故 D 错误；故选 B。

5. (2021·北京卷, 10) 已知 $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \Delta H < 0$ 。下列说法正确的是()

- A. 1mol 混合气体含有 1molN 原子
- B. 完全断开 2molNO₂ 分子中的共价键所吸收的热量比完全断开 1molN₂O₄ 分子中的共价键所吸收的热量多
- C. 将气体体积压缩至一半，气体颜色变深是因为平衡发生了移动
- D. 将气体温度升高，气体颜色会变深

【答案】D

【解析】A 项，1molNO₂ 含有 1molN 原子，1molN₂O₄ 含有 2molN 原子，现为可逆反应，为 NO₂ 和 N₂O₄ 的混合气体，A 错误；B 项，反应 $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 为放热反应，故完全断开 2molNO₂ 分子中的共价键所吸收的热量比完全断开 1molN₂O₄ 分子中的共价键所吸收的热量少，B 错误；C 项，气体体积压缩至一半，颜色变深是因为体积减小，浓度变大引起的，C 错误；D 项，温度升高，平衡逆向移动，颜色加深，D 正确；故选 D。

6. (2021·海南选择性考试, 8) 制备水煤气的反应 $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \Delta H > 0$ ，下列说法正确的是()

- A. 该反应 $\Delta S < 0$
- B. 升高温度，反应速率增大
- C. 恒温下，增大总压，H₂O(g) 的平衡转化率不变
- D. 恒温恒压下，加入催化剂，平衡常数增大

【答案】B

【解析】A 项，该反应的正反应是气体体积增大的反应，所以 $\Delta S > 0$ ，A 错误；B 项，升高温度，物质的内能增加，分子运动速率加快，有效碰撞次数增加，因此化学反应速率增大，B 正确；C 项，恒温下，增大总压，化学平衡向气体体积减小的逆反应方向移动，使 H₂O(g) 的平衡转化率减小，C 错误；D 项，恒温恒压下，加入催化剂，化学平衡不移动，因此化学平衡常数不变，D 错误；故选 B。

7. (2020·浙江 1 月卷, 19) 在干燥的 HCl 气流中加热 MgCl₂·6H₂O，能得到无水 MgCl₂。下列说法不正确的是()

- A. $\text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}(\text{s}) = \text{MgCl}_2 \cdot (n-1)\text{H}_2\text{O}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \Delta H > 0$
- B. $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{s}) = \text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{g})$ ，HCl 气流可抑制反应进行
- C. $\text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s}) = \text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}(\text{s}) + \text{HCl}(\text{g})$ ，升高温度，反应更易发生

D. $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s}) = \text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, HCl 气流可抑制反应进行

【答案】D

【解析】A 项, $\text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 的失水反应是吸热反应, 焓变 $\Delta H > 0$, 故 A 正确; B 项, 在 HCl 气流中, 能使 $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的水解平衡向逆反应方向移动, 抑制反应进行, 故 B 正确; C 项, $\text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的水解反应是吸热反应, 升高温度, 水解平衡向正反应方向移动, 促进反应进行, 故 C 正确; D 项, $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 的失水反应没有氯化氢生成, HCl 气流对反应没有影响, 故 D 错误; 故选 D。

8. (2020·江苏卷, 8) 反应 $\text{SiCl}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si}(\text{s}) + 4\text{HCl}(\text{g})$ 可用于纯硅的制备。下列有关该反应的说法正确的是()

A. 该反应 $\Delta H > 0$ 、 $\Delta S < 0$

B. 该反应的平衡常数 $K = \frac{c^4(\text{HCl})}{c(\text{SiCl}_4) \times c^2(\text{H}_2)}$

C. 高温下反应每生成 1 mol Si 需消耗 $2 \times 22.4\text{L H}_2$

D. 用 E 表示键能, 该反应 $\Delta H = 4E(\text{Si-Cl}) + 2E(\text{H-H}) - 4E(\text{H-Cl})$

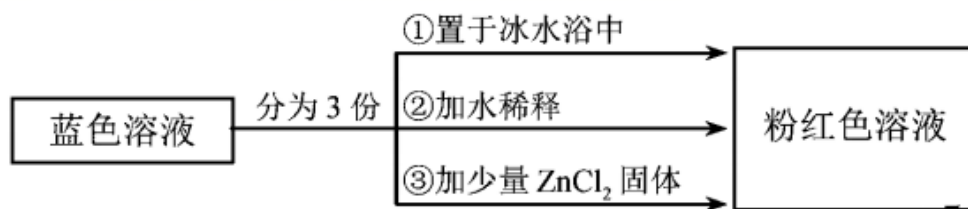
【答案】B

【解析】A 项, SiCl_4 、 H_2 、 HCl 为气体, 且反应前气体系数之和小于反应后气体系数之和, 因此该反应为熵增, 即 $\Delta S > 0$, 故 A 错误; B 项, 根据化学平衡常数的定义, 该反应的平衡常数

$K = \frac{c^4(\text{HCl})}{c(\text{SiCl}_4) \cdot c^2(\text{H}_2)}$, 故 B 正确; C 项, 题中说的是高温, 不是标准状况下, 因此不能直接用 $22.4\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$

计算, 故 C 错误; D 项, $\Delta H =$ 反应物键能总和 - 生成物键能总和, 即 $\Delta H = 4E(\text{Si-Cl}) + 2E(\text{H-H}) - 4E(\text{H-Cl}) - 2E(\text{Si-Si})$, 故 D 错误; 故选 B。

9. (2020·天津卷, 12) 已知 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 呈粉红色, $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ 呈蓝色, $[\text{ZnCl}_4]^{2-}$ 为无色。现将 CoCl_2 溶于水, 加入浓盐酸后, 溶液由粉红色变为蓝色, 存在以下平衡: $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + 4\text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{CoCl}_4]^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$ ΔH , 用该溶液做实验, 溶液的颜色变化如下:



以下结论和解释正确的是()

A. 等物质的量的 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 和 $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ 中 σ 键数之比为 3: 2

B. 由实验①可推知 $\Delta H < 0$

C. 实验②是由于 $c(\text{H}_2\text{O})$ 增大, 导致平衡逆向移动

D. 由实验③可知配离子的稳定性: $[\text{ZnCl}_4]^{2-} > [\text{CoCl}_4]^{2-}$

【答案】D

【解析】A 项, 1 个 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 中含有 18 个 σ 键, 1 个 $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ 中含有 4 个 σ 键, 等物质的量的 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 和 $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ 所含 σ 键数之比为 18: 4=9: 2, A 错误; B 项, 实验①将蓝色溶液置于冰水浴中, 溶液变为粉红色, 说明降低温度平衡逆向移动, 则逆反应为放热反应, 正反应为吸热反应, $\Delta H > 0$, B 错误; C 项, 实验②加水稀释, 溶液变为粉红色, 加水稀释, 溶液的体积增大, $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 、 $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ 、 Cl^- 浓度都减小, $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 、 Cl^- 的化学计量数之和大于 $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ 的化学计量数, 则瞬时浓度商 $>$ 化学平衡常数, 平衡逆向移动, C 错误; D 项, 实验③加入少量 ZnCl_2 固体, 溶液变为粉红色, 说明 Zn^{2+} 与 Cl^- 结合成更稳定的 $[\text{ZnCl}_4]^{2-}$, 导致溶液中 $c(\text{Cl}^-)$ 减小, 平衡逆向移动, 则由此说明稳定性: $[\text{ZnCl}_4]^{2-} > [\text{CoCl}_4]^{2-}$, D 正确; 故选 D。

10. (2019·浙江 4 月卷, 17) 下列说法正确的是()

- A. $\text{H}(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$, 其他条件不变, 缩小反应容器体积, 正逆反应速率不变
 B. $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$, 碳的质量不再改变说明反应已达平衡
 C. 若压强不再随时间变化能说明反应 $2\text{A}(\text{?}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{?})$ 已达平衡, 则 A 项, C 不能同时是气体
 D. 1 mol N_2 和 3 mol H_2 反应达到平衡时 H_2 转化率为 10%, 放出的热量为 Q_1 ; 在相同温度和压强下, 当 2 mol NH_3 分解为 N_2 和 H_2 的转化率为 10% 时, 吸收的热量为 Q_2 , Q_2 不等于 Q_1

【答案】B

【解析】A 项, 该可逆反应的反应前后气体计量数不发生变化, 当缩小反应容器体积, 相当于加压, 正逆反应速率同等程度增加, A 项错误; B 项, 在建立平衡前, 碳的质量不断改变, 达到平衡时, 质量不变, 因而碳的质量不再改变说明反应已达平衡, B 项正确; C 项, 若压强不再改变说明反应达到平衡, 表明反应前后气体的计量数不等, 故 A 项, C 不可能均为气体, C 项错误; D 项, 易知 $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) \Delta H$, 合成氨气实际参与反应 $n(\text{H}_2) = 3 \times 10\% = 0.3 \text{ mol}$, 因而 $Q_1 = 0.3/3 \times |\Delta H| = 0.1|\Delta H|$, 分解氨气时实际消耗的 $n(\text{NH}_3) = 2 \times 10\% = 0.2 \text{ mol}$, $Q_2 = 0.2/2 \times |\Delta H| = 0.1|\Delta H|$, 则 $Q_1 = Q_2$, D 项错误。故选 B。

11. (2019·浙江 4 月卷, 22) 高温高压液态水具有接近常温下弱酸的 $c(\text{H}^+)$ 或弱碱的 $c(\text{OH}^-)$, 油脂在其中能以较快的反应速率水解。与常温常压水相比, 下列说法不正确的是()

- A. 高温高压液态水中, 体系温度升高, 油脂水解反应速率加快
 B. 高温高压液态水中, 油脂与水的互溶能力增强, 油脂水解反应速率加快
 C. 高温高压液态水中, $c(\text{H}^+)$ 增大, 可催化油脂水解反应, 且产生的酸进一步催化水解
 D. 高温高压液态水中的油脂水解, 相当于常温下在体系中加入相同 $c(\text{H}^+)$ 的酸或相同 $c(\text{OH}^-)$ 的碱的水解

【答案】D

【解析】A 项, 对于任何化学反应, 体系温度升高, 均可加快反应速率, A 项正确; B 项, 由于高温高压液态水中, $c(\text{H}^+)$ 和 $c(\text{OH}^-)$ 增大, 油脂水解向右移动的倾向变大, 因而油脂与水的互溶能力增强, 反应速率加快, B 项正确; C 项, 油脂在酸性条件下水解, 以 H^+ 做催化剂, 加快水解速率, 因而高温高压液态水中, $c(\text{H}^+)$ 增大, 可催化油脂水解反应, 且产生的酸进一步催化水解, C 项正确; D 项, 高温高压液态水中的油脂水解, 其水环境仍呈中性, 因而不能理解成相当于常温下在体系中加入相同 $c(\text{H}^+)$ 的酸或相同 $c(\text{OH}^-)$ 的碱的水解, 而是以体系升温、增加水和油脂的互溶以及提高水中 H^+ 浓度的方式, 促进油脂的水解, D

项不正确。故选 D。

12. (2018·天津卷, 5) 室温下, 向圆底烧瓶中加入 1 mol C₂H₅OH 和含 1 mol HBr 的氢溴酸, 溶液中发生反应: C₂H₅OH + HBr \rightleftharpoons C₂H₅Br + H₂O, 充分反应后达到平衡。已知常压下, C₂H₅Br 和 C₂H₅OH 的沸点分别为 38.4°C 和 78.5°C。下列有关叙述错误的是()

- A. 加入 NaOH, 可增大乙醇的物质的量
- B. 增大 HBr 浓度, 有利于生成 C₂H₅Br
- C. 若反应物增大至 2 mol, 则两种反应物平衡转化率之比不变
- D. 若起始温度提高至 60°C, 可缩短反应达到平衡的时间

【答案】D

【解析】A 项, 加入 NaOH, 中和 HBr, 平衡逆向移动, 可增大乙醇的物质的量, A 正确; B 项, 增大 HBr 浓度, 平衡正向移动, 有利于生成 C₂H₅Br, B 正确; C 项, 若反应物增大至 2 mol, 实际上就是将反应的浓度都增大至原来的 2 倍, 比例不变(两次实验反应物的比例都是 1:1, 等于方程式中的系数比), 这里有一个可以直接使用的结论: 只要反应物的投料比等于系数比, 达平衡时反应物的转化率一定是相等的。所以两种反应物的转化率一定是 1:1, C 正确; D 项, 若起始温度提高至 60°C, 考虑到 HBr 是挥发性酸, 在此温度下会挥发出去, 降低 HBr 的浓度减慢速率, 增加了反应时间, D 错误。

13. (2018·江苏卷, 15) 一定温度下, 在三个容积相同的恒容密闭容器中按不同方式投入反应物, 发生反应 2SO₂(g) + O₂(g) \rightleftharpoons 2SO₃(g) (正反应放热), 测得反应的相关数据如下:

	容器 1	容器 2	容器 3
反应温度 T/K	700	700	800
反应物投入量	2 mol SO ₂ 、1 mol O ₂	4 mol SO ₃	2 mol SO ₂ 、1 mol O ₂
平衡 $v_{\text{正}}(\text{SO}_2)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	v_1	v_2	v_3
平衡 $c(\text{SO}_3)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	c_1	c_2	c_3
平衡体系总压强 p/Pa	p_1	p_2	p_3
物质的平衡转化率 α	$\alpha_1(\text{SO}_2)$	$\alpha_2(\text{SO}_3)$	$\alpha_3(\text{SO}_2)$
平衡常数 K	K_1	K_2	K_3

下列说法正确的是()

- A. $v_1 < v_2$, $c_2 < 2c_1$
- B. $K_1 > K_3$, $p_2 > 2p_3$
- C. $v_1 < v_3$, $\alpha_1(\text{SO}_2) > \alpha_3(\text{SO}_2)$
- D. $c_2 > 2c_3$, $\alpha_2(\text{SO}_3) + \alpha_3(\text{SO}_2) < 1$

【答案】CD

【解析】对比容器的特点, 将容器 1 和容器 2 对比, 将容器 1 和容器 3 对比。容器 2 中加入 4 mol SO₃ 等效于在相同条件下反应物投入量为 4 mol SO₂ 和 2 mol O₂, 容器 2 中起始反应物物质的量为容器 1 的两倍, 容器 2 相当于在容器 1 达平衡后增大压强, 将容器的体积缩小为原来的一半, 增大压强化学反应速率加快, $v_2 > v_1$, 增大压强平衡向正反应方向移动, 平衡时 $c_2 > 2c_1$, $p_2 < 2p_1$, $\alpha_1(\text{SO}_2) + \alpha_2(\text{SO}_3) < 1$, 容器 1 和容器 2 温度相同, $K_1 = K_2$; 容器 3 相当于在容器 1 达到平衡后升高温度, 升高温度化学反应速率加快, $v_3 > v_1$, 升高温度平衡向逆反应方向移动, 平衡时 $c_3 < c_1$, $p_3 > p_1$, $\alpha_3(\text{SO}_2) < \alpha_1(\text{SO}_2)$, $K_3 < K_1$ 。根据上述分析, A 项, $v_2 > v_1$, $c_2 > 2c_1$, A 项错误; B 项, $K_3 < K_1$, $p_2 < 2p_1$, $p_3 > p_1$, 则 $p_2 < 2p_3$, B 项错误; C 项, $v_3 > v_1$, $\alpha_3(\text{SO}_2) < \alpha_1(\text{SO}_2)$, C

项正确；D项， $c_2 > 2c_1$ ， $c_3 < c_1$ ，则 $c_2 > 2c_3$ ， $\alpha_1(\text{SO}_2) + \alpha_2(\text{SO}_3) < 1$ ， $\alpha_3(\text{SO}_2) < \alpha_1(\text{SO}_2)$ ，则 $\alpha_2(\text{SO}_3) + \alpha_3(\text{SO}_2) < 1$ ，D项正确；故选CD。

考点2 速率平衡综合问题(非选择题)

1. (2019•新课标I卷, 28)水煤气变换[$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$]是重要的化工过程，主要用于合成氨、制氢以及合成气加工等工业领域中。回答下列问题：

(1)Shibata 曾做过下列实验：①使纯 H_2 缓慢地通过处于 $721\text{ }^\circ\text{C}$ 下的过量氧化钴 $\text{CoO}(\text{s})$ ，氧化钴部分被还原为金属钴(Co)，平衡后气体中 H_2 的物质的量分数为 0.0250。

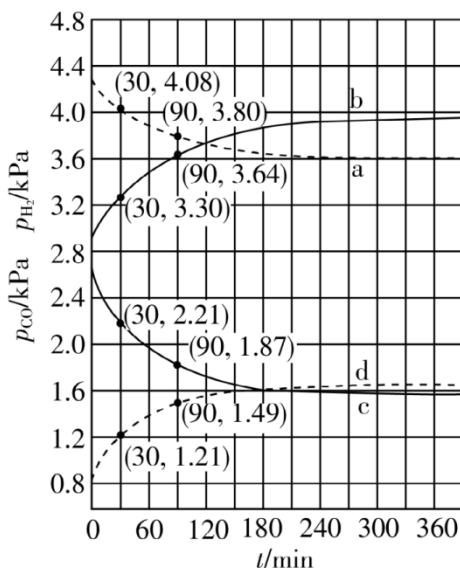
②在同一温度下用 CO 还原 $\text{CoO}(\text{s})$ ，平衡后气体中 CO 的物质的量分数为 0.0192。

根据上述实验结果判断，还原 $\text{CoO}(\text{s})$ 为 $\text{Co}(\text{s})$ 的倾向是 CO _____ H_2 (填“大于”或“小于”)。

(2) $721\text{ }^\circ\text{C}$ 时，在密闭容器中将等物质的量的 $\text{CO}(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 混合，采用适当的催化剂进行反应，则平衡时体系中 H_2 的物质的量分数为 _____ (填标号)。

- A. < 0.25 B. 0.25 C. 0.25~0.50 D. 0.50 E. > 0.50

(4)Shoichi 研究了 $467\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $489\text{ }^\circ\text{C}$ 时水煤气变换中 CO 和 H_2 分压随时间变化关系(如下图所示)，催化剂为氧化铁，实验初始时体系中的 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 P_{CO} 相等、 P_{CO_2} 和 P_{H_2} 相等。



计算曲线 a 的反应在 30~90 min 内的平均速率 $\bar{v}(\text{a}) =$ _____ $\text{kPa} \cdot \text{min}^{-1}$ 。467 $^\circ\text{C}$ 时 P_{H_2} 和 P_{CO} 随时间变化关系的曲线分别是 _____、_____。489 $^\circ\text{C}$ 时 P_{H_2} 和 P_{CO} 随时间变化关系的曲线分别是 _____、_____。

【答案】 (1)大于 (2)C (4)0.0047 b c a d

【解析】(1) H_2 还原氧化钴的方程式为： $\text{H}_2(\text{g}) + \text{CoO}(\text{s}) = \text{Co}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ； CO 还原氧化钴的方程式为： $\text{CO}(\text{g}) + \text{CoO}(\text{s}) = \text{Co}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ ，平衡时 H_2 还原体系中 H_2 的物质的量分数 $(\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{H}_2) + n(\text{H}_2\text{O})})$ 高于 CO

还原体系中 CO 的物质的量分数($\frac{n(\text{CO})}{n(\text{CO})+n(\text{CO}_2)}$), 故还原 $\text{CoO}(\text{s})$ 为 $\text{Co}(\text{s})$ 的倾向是 CO 大于 H_2 ;

(2)721 °C时, 在密闭容器中将等物质的量的 $\text{CO}(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 混合, 可设其物质的量为 1mol, 则

$$\text{CO}(\text{g})+\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})+\text{H}_2(\text{g})$$

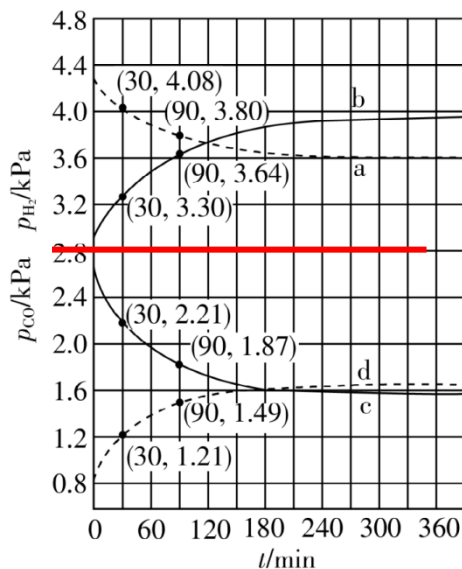
起始(mol)	1	1	0	0
转化(mol)	x	x	x	x
平衡(mol)	1-x	1-x	x	x

则平衡时体系中 H_2 的物质的量分数= $\frac{n(\text{H}_2)}{n_{\text{总}}}=\frac{x\text{mol}}{[(1-x)+(1-x)+x+x]\text{mol}}=\frac{x}{2}$, 因该反应为可逆反应,

故 $x < 1$, 可假设二者的还原倾向相等, 则 $x=0.5$, 由(1)可知 CO 的还原倾向大于 H_2 , 所以 CO 更易转化为 H_2 , 故 $x > 0.5$, 由此可判断最终平衡时体系中 H_2 的物质的量分数介于 0.25~0.50, 故答案为 C; (4)由图可知, 30~90 min 内 a 曲线对应物质的分压变化量 $\Delta p=(4.08-3.80)\text{kPa}=0.28\text{kPa}$, 故曲线 a 的反应在 30~90 min 内的

平均速率 $\bar{v}(\text{a})=\frac{0.28\text{kPa}}{60\text{min}}=0.0047\text{kPa}\cdot\text{min}^{-1}$; 由(2)中分析得出 H_2 的物质的量分数介于 0.25~0.5, CO 的物质的

量分数介于 0~0.25, 即 H_2 的分压始终高于 CO 的分压, 据此可将图分成两部分:



由此可知, A 项, b 表示的是 H_2 的分压, C 项, d 表示的是 CO 的分压, 该反应为放热反应, 故升高温度, 平衡逆向移动, CO 分压增加, H_2 分压降低, 故 467 °C 时 P_{H_2} 和 P_{CO} 随时间变化关系的曲线分别是 B 项, c; 489 °C 时 P_{H_2} 和 P_{CO} 随时间变化关系的曲线分别是 A 项, d。

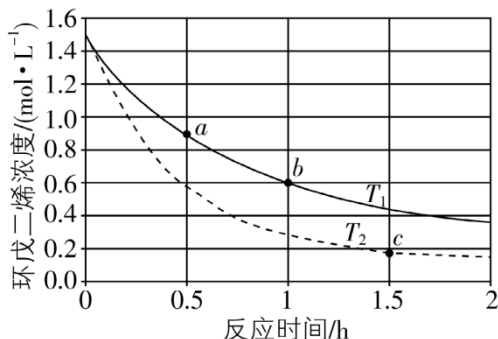
2. (2019•新课标 II 卷, 27)环戊二烯(C1=CC=CC1)是重要的有机化工原料, 广泛用于农药、橡胶、塑料等生产。回答下列问题:

(2)某温度下, 等物质的量的碘和环戊烯(C1=CC=CC1)在刚性容器内发生反应③, 起始总压为 10^5Pa , 平衡时总压增加了 20%, 环戊烯的转化率为_____, 该反应的平衡常数 $K_p=$ _____ Pa

。达到平衡后，欲增加环戊烯的平衡转化率，可采取的措施有_____ (填标号)。

- A. 通入惰性气体 B. 提高温度 C. 增加环戊烯浓度 D. 增加碘浓度

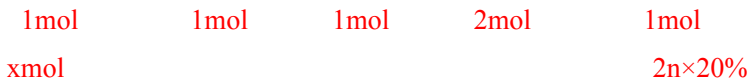
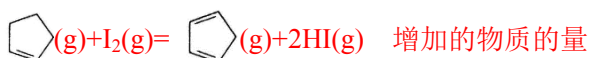
(3)环戊二烯容易发生聚合生成二聚体，该反应为可逆反应。不同温度下，溶液中环戊二烯浓度与反应时间的关系如图所示，下列说法正确的是_____ (填标号)。



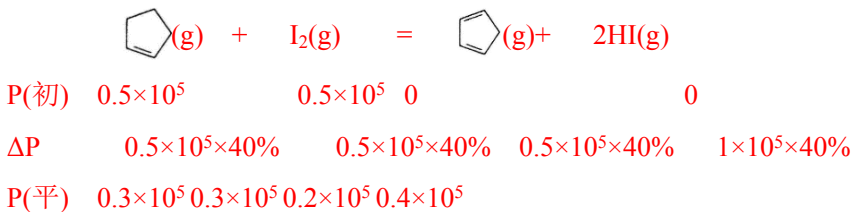
- A. $T_1 > T_2$
 B. a 点的反应速率小于 c 点的反应速率
 C. a 点的正反应速率大于 b 点的逆反应速率
 D. b 点时二聚体的浓度为 $0.45 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

【答案】(2)40% 3.56×10^4 BD (3)CD

【解析】(2)假设反应前碘单质与环戊烯均为 $n \text{ mol}$ ，平衡时环戊烯反应了 $x \text{ mol}$ ，根据题意可知：



得 $x = 0.4n \text{ mol}$ ，转化率为 $0.4n/n \times 100\% = 40\%$ ；



$$K_p = \frac{(0.4 \times 10^5)^2 \times 0.2 \times 10^5}{0.3 \times 10^5 \times 0.3 \times 10^5} = 3.56 \times 10^4$$

无影响，速率不变，平衡不移动，故 A 错误；B 项，升高温度，平衡向吸热方向移动，环戊烯转化率升高，故 B 正确；C 项，增加环戊烯的浓度平衡正向移动，但环戊烯转化率降低；D 项，增加 I_2 的浓度，平衡正向移动，环戊烯转化率升高，故 D 正确；(3)A 项，温度越高，反应速率越快，其浓度下降的也越快。因此 $T_1 < T_2$ ，故 A 错误；B 项，a 点比 b 点温度低，但是浓度大。此选项讨论的是瞬时反应速率，其表现是曲线上某时刻点，对应的曲线切线的斜率大小。从图中的两条切线不难看出，a 处斜率较 c 要更负一些。也就是 a 处的反应速率更大，故 B 错误；C 项，a 点、b 点温度相同，反应一直在正向进行，故 $v(\text{正}) > v(\text{逆})$ ，a 点反应物浓度大于 b 点，故 a 点正反应速率大于 b 点，因此 $v(\text{正 a}) > v(\text{逆 b})$ ，故 C 正确；D 项，. b

点时环戊二烯浓度由 1.5mol/L 减小到 0.6mol/L , 减少了 0.9mol/L , 因此生成二聚体 0.45mol/L , 故 D 正确; 故选 CD

3. (2019•北京卷, 11 节选)氢能源是最具应用前景的能源之一, 高纯氢的制备是目前的研究热点。

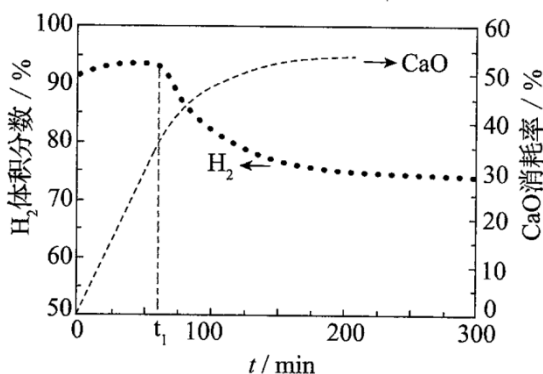
(1)甲烷水蒸气催化重整是制高纯氢的方法之一。

①反应器中初始反应的生成物为 H_2 和 CO_2 , 其物质的量之比为 4:1, 甲烷和水蒸气反应的方程式是 _____。

③反应物投料比采用 $n(\text{H}_2\text{O}) : n(\text{CH}_4) = 4 : 1$, 大于初始反应的化学计量数之比, 目的是 _____ (选填字母序号)。

A. 促进 CH_4 转化 B. 促进 CO 转化为 CO_2 C. 减少积炭生成

④用 CaO 可以去除 CO_2 。 H_2 体积分数和 CaO 消耗率随时间变化关系如下图所示。从 t_1 时开始, H_2 体积分数显著降低, 单位时间 CaO 消耗率 _____ (填“升高”“降低”或“不变”)。此时 CaO 消耗率约为 35%, 但已失效, 结合化学方程式解释原因: _____。



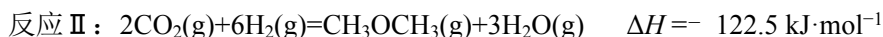
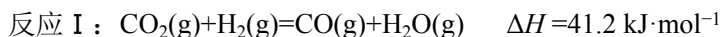
【答案】(1) ① $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$ ③ abc

④降低 H_2 体积分数在 t_1 之后较少, 结合 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ 可知水蒸气浓度较小, 反应器内反应逆向反应, 氧化钙很难和 CO_2 反应, 因而失效

【解析】(1)①由于生成物为 H_2 和 CO_2 , 其物质的量之比为 4:1, 反应物是甲烷和水蒸气, 因而反应方程式为 $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$; ③初始反应 $n(\text{H}_2\text{O}) : n(\text{CH}_4) = 2 : 1$, 说明加入的水蒸气过量, 又反应器中反应都有一定可逆性, 根据反应 i 知水蒸气浓度越大, 甲烷的转化率越高, a 正确; 根据反应 ii 知水蒸气浓度越大, CO 的转化率越高, b 正确; i 和 ii 产生氢气, 使得氢气浓度变大, 抑制反应 iii, 积炭生成量减少, c 正确; ④ t_1 时 CaO 消耗率曲线斜率减小, 因而单位时间内 CaO 的消耗率降低, H_2 体积分数在 t_1 之后较少, 结合 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ 可知水蒸气浓度较小, 反应器内反应逆向反应, 氧化钙很难和 CO_2 反应, 因而失效。

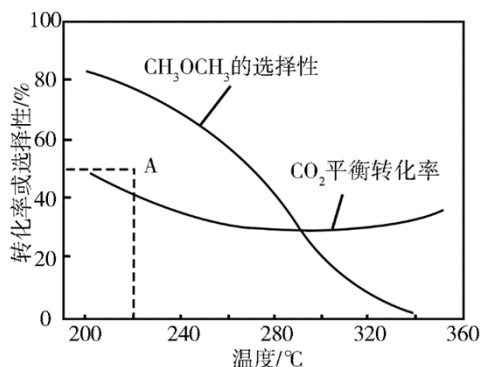
4. (2019•江苏卷, 17 节选) CO_2 的资源化利用能有效减少 CO_2 排放, 充分利用碳资源。

(3) CO_2 催化加氢合成二甲醚是一种 CO_2 转化方法, 其过程中主要发生下列反应:



在恒压、 CO_2 和 H_2 的起始量一定的条件下, CO_2 平衡转化率和平衡时 CH_3OCH_3 的选择性随温度的变化

如图。其中：



$$\text{CH}_3\text{OCH}_3 \text{ 的选择性} = \frac{2 \times \text{CH}_3\text{OCH}_3 \text{ 的物质的量}}{\text{反应的CO}_2 \text{ 的物质的量}} \times 100\%$$

①温度高于 300 °C，CO₂ 平衡转化率随温度升高而上升的原因是_____。

②220 °C时，在催化剂作用下 CO₂ 与 H₂ 反应一段时间后，测得 CH₃OCH₃ 的选择性为 48%(图中 A 点)。不改变反应时间和温度，一定能提高 CH₃OCH₃ 选择性的措施有_____。

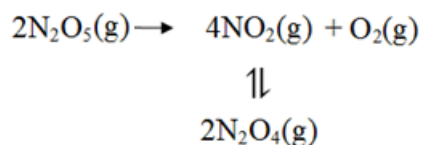
【答案】(3) ①反应 I 的 $\Delta H > 0$ ，反应 II 的 $\Delta H < 0$ ，温度升高使 CO₂ 转化为 CO 的平衡转化率上升，使 CO₂ 转化为 CH₃OCH₃ 的平衡转化率下降，且上升幅度超过下降幅度

②增大压强，使用对反应 II 催化活性更高的催化剂

【解析】(3)①根据反应方程式，反应 I 为吸热反应，升高温度，平衡向正反应方向移动，CO₂ 的转化率增大，反应 II 为放热反应，升高温度，平衡向逆反应方向进行，CO₂ 的转化率降低，根据图像，上升幅度超过下降幅度，因此温度超过 300°C 时，CO₂ 转化率上升；②图中 A 点 CH₃OCH₃ 的选择性没有达到此温度下平衡时 CH₃OCH₃ 的选择性，依据 CH₃OCH₃ 选择性公式，提高 CH₃OCH₃ 选择性，不改变反应时间和温度时，根据反应 II，可以增大压强，或者使用对反应 II 催化活性更高的催化剂。

5. (2018·新课标 I 卷，28 节选)采用 N₂O₅ 为硝化剂是一种新型的绿色硝化技术，在含能材料、医药等工业中得到广泛应用。回答下列问题

(2)F. Daniels 等曾利用测压法在刚性反应器中研究了 25°C 时 N₂O₅(g) 分解反应：



其中 NO₂ 二聚为 N₂O₄ 的反应可以迅速达到平衡。体系的总压强 p 随时间 t 的变化如下表所示($t = \infty$ 时，N₂O₅(g) 完全分解)：

t/min	0	40	80	160	260	1300	1700	∞
p/kPa	35.8	40.3	42.5	45.9	49.2	61.2	62.3	63.1

①已知：2N₂O₅(g) = 2N₂O₄(g) + O₂(g) $\Delta H_1 = -4.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

2NO₂(g) = N₂O₄(g) $\Delta H_2 = -55.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

则反应 N₂O₅(g) = 2NO₂(g) + 1/2O₂(g) 的 $\Delta H =$ _____ kJ·mol⁻¹。

②研究表明, $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ 分解的反应速率 $v=2\times 10^{-3}\times p_{\text{N}_2\text{O}_5}$ ($\text{kPa}\cdot\text{min}^{-1}$), $t=62\text{ min}$ 时, 测得体系中 $p_{\text{O}_2}=2.9\text{ kPa}$, 则此时的 $p_{\text{N}_2\text{O}_5}=\underline{\hspace{2cm}}\text{ kPa}$, $v=\underline{\hspace{2cm}}\text{ kPa}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

③若提高反应温度至 35°C , 则 $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ 完全分解后体系压强 $p_\infty(35^\circ\text{C})\underline{\hspace{1cm}}63.1\text{ kPa}$ (填“大于”“等于”或“小于”), 原因是_____。

④ 25°C 时 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})\rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ 反应的平衡常数 $K_p=\underline{\hspace{2cm}}\text{ kPa}$ (K_p 为以分压表示的平衡常数, 计算结果保留 1 位小数)。

(3)对于反应 $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})\rightarrow 4\text{NO}_2(\text{g})+\text{O}_2(\text{g})$, R.A. Ogg 提出如下反应历程:

第一步 $\text{N}_2\text{O}_5\rightleftharpoons \text{NO}_2+\text{NO}_3$ 快速平衡

第二步 $\text{NO}_2+\text{NO}_3\rightarrow \text{NO}+\text{NO}_2+\text{O}_2$ 慢反应

第三步 $\text{NO}+\text{NO}_3\rightarrow 2\text{NO}_2$ 快反应

其中可近似认为第二步反应不影响第一步的平衡。下列表述正确的是_____ (填标号)。

- A. v (第一步的逆反应) $>$ v (第二步反应)
- B. 反应的中间产物只有 NO_3
- C. 第二步中 NO_2 与 NO_3 的碰撞仅部分有效
- D. 第三步反应活化能较高

【答案】(1) O_2 (2)①53.1 ②30.0 6.0×10^{-2} ③大于 温度提高, 体积不变, 总压强提高; NO_2 二聚为放热反应, 温度提高, 平衡左移, 体系物质的量增加, 总压强提高 ④13.4

(3)AC

【解析】(2)①根据盖斯定律可知 $i\div 2 - ii$ 即得到 $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})=2\text{NO}_2(\text{g})+1/2\text{O}_2(\text{g})$ $\Delta H_1=+53.1\text{ kJ/mol}$; ②根据方程式可知氧气与消耗五氧化二氮的物质的量之比是 1: 2, 又因为压强之比是物质的量之比, 所以消耗五氧化二氮减少的压强是 $2.9\text{ kPa}\times 2=5.8\text{ kPa}$, 则此时五氧化二氮的压强是 $35.8\text{ kPa}-5.8\text{ kPa}=30.0\text{ kPa}$, 因此此时反应速率 $v=2.0\times 10^{-3}\times 30=6.0\times 10^{-2}(\text{kPa}\cdot\text{min}^{-1})$; ③由于温度升高, 容器容积不变, 总压强提高, 且二氧化氮二聚为放热反应, 温度提高, 平衡左移, 体系物质的量增加, 总压强提高, 所以若提高反应温度至 35°C , 则 $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ 完全分解后体系压强 $p_\infty(35^\circ\text{C})$ 大于 63.1 kPa 。④根据表中数据可知五氧化二氮完全分解时的压强是 63.1 kPa , 根据方程式可知完全分解时最初生成的二氧化氮的压强是 $35.8\text{ kPa}\times 2=71.6\text{ kPa}$, 氧气是 $35.8\text{ kPa}\div 2=17.9\text{ kPa}$, 总压强应该是 $71.6\text{ kPa}+17.9\text{ kPa}=89.5\text{ kPa}$, 平衡后压强减少了 $89.5\text{ kPa}-63.1\text{ kPa}=26.4\text{ kPa}$, 所以根据方程式 $2\text{NO}_2(\text{g})\rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 可知平衡时四氧化二氮对应的压强是 26.4 kPa , 二氧化氮

对应的压强是 $71.6\text{ kPa}-26.4\text{ kPa}\times 2=18.8\text{ kPa}$, 则反应的平衡常数 $K_p=\frac{18.8^2}{26.4}\text{ kPa}\approx 13.4\text{ kPa}$ 。(3)A 项, 第一步反应快, 所以第一步的逆反应速率大于第二步的逆反应速率, A 正确; B 项, 根据第二步和第三步可知中间产物还有 NO , B 错误; C 项, 根据第二步反应生成物中有 NO_2 可知 NO_2 与 NO_3 的碰撞仅部分有效, C 正确; D 项, 第三步反应快, 所以第三步反应的活化能较低, D 错误。故选 AC。

6. (2018·新课标 II 卷, 27 节选) $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ 催化重整不仅可以得到合成气(CO 和 H_2), 还对温室气体的减排具有重要意义。回答下列问题:

(1)CH₄-CO₂ 催化重整反应为：CH₄(g)+CO₂(g)=2CO(g)+2H₂(g)。

已知：C(s)+2H₂(g)=CH₄(g) ΔH=-75 kJ·mol⁻¹

C(s)+O₂(g)=CO₂(g) ΔH=-394 kJ·mol⁻¹

C(s)+1/2O₂(g)=CO(g) ΔH=-111 kJ·mol⁻¹

该催化重整反应的 ΔH==_____ kJ·mol⁻¹。有利于提高 CH₄ 平衡转化率的条件是____(填标号)。

A. 高温低压 B. 低温高压 C. 高温高压 D. 低温低压

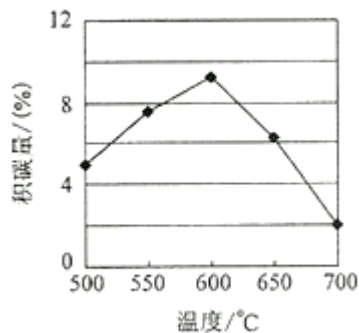
某温度下,在体积为 2 L 的容器中加入 2 mol CH₄、1 mol CO₂ 以及催化剂进行重整反应,达到平衡时 CO₂ 的转化率是 50%, 其平衡常数为_____ mol²·L⁻²。

(2)反应中催化剂活性会因积碳反应而降低,同时存在的消碳反应则使积碳量减少。

相关数据如下表:

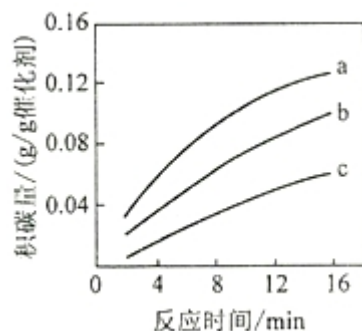
		积碳反应 CH ₄ (g)=C(s)+2H ₂ (g)	消碳反应 CO ₂ (g)+C(s)=2CO(g)
ΔH/(kJ·mol ⁻¹)		75	172
活化能/ (kJ·mol ⁻¹)	催化剂 X	33	91
	催化剂 Y	43	72

①由上表判断,催化剂 X____Y(填“优于”或“劣于”),理由是_____。在反应进料气组成、压强及反应时间相同的情况下,某催化剂表面的积碳量随温度的变化关系如图所示。升高温度时,下列关于积碳反应、消碳反应的平衡常数(K)和速率(v)的叙述正确的是_____ 填标号)。



- A. K_积、K_消均增加
- B. v_积减小, v_消增加
- C. K_积减小, K_消增加
- D. v_消增加的倍数比 v_积增加的倍数大

②在一定温度下,测得某催化剂上沉积碳的生成速率方程为 v=k·p(CH₄)·[p(CO₂)]^{-0.5}(k 为速率常数)。在 p(CH₄)一定时,不同 p(CO₂)下积碳量随时间的变化趋势如图所示,则 p_a(CO₂)、p_b(CO₂)、p_c(CO₂)从大到小的顺序为_____。



【答案】(1)247 A

(2)劣于 相对于催化剂 X, 催化剂 Y 积碳反应的活化能大, 积碳反应的速率小; 而消碳反应活化能相对小, 消碳反应速率大 AD $p_c(\text{CO}_2)$ 、 $p_b(\text{CO}_2)$ 、 $p_a(\text{CO}_2)$

【解析】(1)已知:



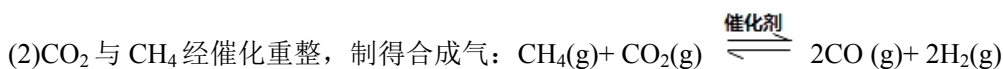
根据盖斯定律可知③ \times 2-②-①即得到该催化重整反应 $\text{CH}_4(\text{g})+\text{CO}_2(\text{g})=2\text{CO(g)}+2\text{H}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H=+247 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。正反应是体积增大的吸热反应, 所以有利于提高 CH_4 平衡转化率的条件是高温低压, 故选 A; 某温度下, 在体积为 2 L 的容器中加入 2 mol CH_4 、1 mol CO_2 以及催化剂进行重整反应, 达到平衡时 CO_2 的转化率是 50%, 根据方程式可知

	$\text{CH}_4(\text{g})+\text{CO}_2(\text{g})=2\text{CO(g)}+2\text{H}_2(\text{g})$			
起始浓度(mol/L)	1	0.5	0	0
转化浓度(mol/L)	0.25	0.25	0.5	0.5
平衡浓度(mol/L)	0.75	0.25	0.5	0.5

所以其平衡常数为 $\frac{0.5^2 \times 0.5^2}{0.75 \times 0.25} = \frac{1}{3} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。

(2)①根据表中数据可知相对于催化剂 X, 催化剂 Y 积碳反应的活化能大, 积碳反应的速率小; 而消碳反应活化能相对小, 消碳反应速率大, 所以催化剂 X 劣于 Y。A. 正反应均是吸热反应, 升高温度平衡向正反应方向进行, 因此 $K_{\text{积}}$ 、 $K_{\text{消}}$ 均增加, A 正确; B. 升高温度反应速率均增大, B 错误; C. 根据 A 中分析可知选项 C 错误; D. 积碳量达到最大值以后再升高温度积碳量降低, 这说明 $v_{\text{消}}$ 增加的倍数比 $v_{\text{积}}$ 增加的倍数大, D 正确。故选 AD。②根据反应速率方程式可知在 $p(\text{CH}_4)$ 一定时, 生成速率随 $p(\text{CO}_2)$ 的升高而降低, 所以根据图像可知 $p_a(\text{CO}_2)$ 、 $p_b(\text{CO}_2)$ 、 $p_c(\text{CO}_2)$ 从大到小的顺序为 $p_c(\text{CO}_2)$ 、 $p_b(\text{CO}_2)$ 、 $p_a(\text{CO}_2)$ 。

7. (2018•天津卷, 8 节选) CO_2 是一种廉价的碳资源, 其综合利用具有重要意义。回答下列问题:



①已知上述反应中相关的化学键键能数据如下:

化学键	C—H	C=O	H—H	$C\equiv O(CO)$
键能/ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	413	745	436	1075

分别在 VL 恒温密闭容器 A(恒容)、B(恒压, 容积可变)中, 加入 CH_4 和 CO_2 各 1 mol 的混合气体。两容器中反应达平衡后放出或吸收的热量较多的是_____ (填“A” 或“B”)。

②按一定体积比加入 CH_4 和 CO_2 , 在恒压下发生反应, 温度对 CO 和 H_2 产率的影响如图 3 所示。此反应优选温度为 900°C 的原因是_____。

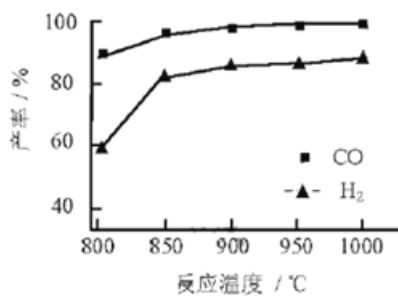


图 3

【答案】①B ② 900°C 时, 合成气产率已经较高, 再升高温度产率增幅不大, 能耗升高, 经济效益降低。

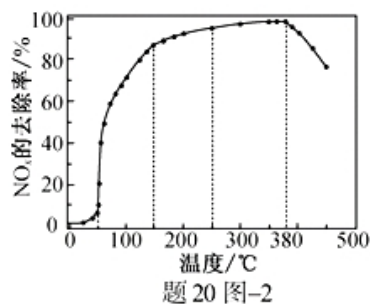
【解析】(2)①化学反应的焓变应该等于反应物键能减去生成物的键能, 所以焓变为 $(4\times 413+2\times 745)-(2\times 1075+2\times 436)=+120\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。初始时容器 A 项, B 的压强相等, A 容器恒容, 随着反应的进行压强逐渐增大(气体物质的量增加); B 容器恒压, 压强不变; 所以达平衡时压强一定是 A 中大, B 中小, 此反应压强减小平衡正向移动, 所以 B 的反应平衡更靠右, 反应的更多, 吸热也更多。②根据图 3 得到, 900°C 时反应产率已经比较高, 温度再升高, 反应产率的增大并不明显, 而生产中的能耗和成本明显增大, 经济效益会下降, 所以选择 900°C 为反应最佳温度。

8. (2018·江苏卷, 19 节选) NO_x (主要指 NO 和 NO_2)是大气主要污染物之一。有效去除大气中的 NO_x 是环境保护的重要课题。

(4)在有氧条件下, 新型催化剂 M 能催化 NH_3 与 NO_x 反应生成 N_2 。

②将一定比例的 O_2 、 NH_3 和 NO_x 的混合气体, 匀速通入装有催化剂 M 的反应器中反应。

反应相同时间 NO_x 的去除率随反应温度的变化曲线如题 20 图-2 所示, 在 $50\sim 250^\circ\text{C}$ 范围内随着温度的升高, NO_x 的去除率先迅速上升后上升缓慢的主要原因是_____ ; 当反应温度高于 380°C 时, NO_x 的去除率迅速下降的原因可能是_____。



题 20 图-2

【答案】(4)②迅速上升段是催化剂活性随温度升高增大与温度升高共同使 NO_x 去除反应速率迅速增大；上升缓慢段主要是温度升高引起的 NO_x 去除反应速率增大

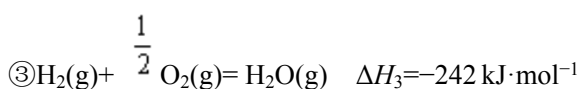
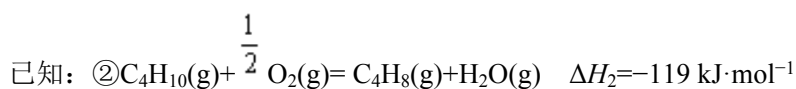
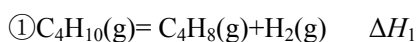
催化剂活性下降； NH_3 与 O_2 反应生成了 NO

【解析】(4)① NH_3 与 NO_2 的反应为 $8\text{NH}_3+6\text{NO}_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} 7\text{N}_2+12\text{H}_2\text{O}$ ，该反应中 NH_3 中-3 价的 N 升至 0 价， NO_2 中+4 价的 N 降至 0 价，生成 7mol N_2 转移 24mol 电子。生成 1mol N_2 时转移电子数为 24/7mol。②因为反应时间相同，所以低温时主要考虑温度和催化剂对化学反应速率的影响；高温时 NH_3 与 O_2 发生催化氧化反应。在 50~250°C 范围内， NO_x 的去除率迅速上升段是催化剂活性随温度升高增大与温度升高共同使 NO_x 去除反应速率迅速增大；上升缓慢段主要是温度升高引起的 NO_x 去除反应速率增大，温度升高催化剂活性下降。反应温度高于 380°C 时， NO_x 的去除率迅速下降的原因可能是 NH_3 与 O_2 反应生成了 NO ，反应的化学方程式为 $4\text{NH}_3+5\text{O}_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} 4\text{NO}+6\text{H}_2\text{O}$ 。

学方程式为 $4\text{NH}_3+5\text{O}_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} 4\text{NO}+6\text{H}_2\text{O}$ 。

9. (2017·新课标 II 卷, 27) 丁烯是一种重要的化工原料，可由丁烷催化脱氢制备。回答下列问题：

(1) 正丁烷(C_4H_{10}) 脱氢制 1-丁烯(C_4H_8) 的热化学方程式如下：



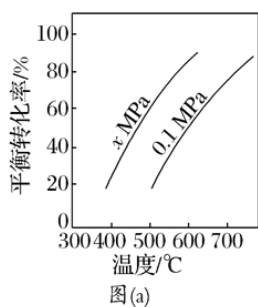
反应①的 ΔH_1 为 _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。图(a) 是反应①平衡转化率与反应温度及压强的关系图， x _____ 0.1 (填“大于”或“小于”)；欲使丁烯的平衡产率提高，应采取的措施是 _____ (填标号)。

A. 升高温度

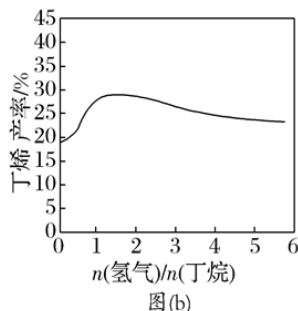
B. 降低温度

C. 增大压强

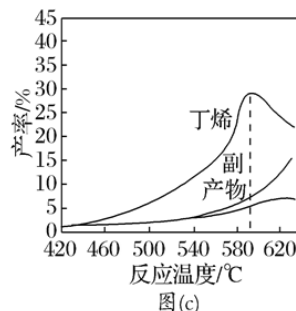
D. 降低压强



图(a)



图(b)



图(c)

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/017101164005010003>