

关注碳排放 关注 CO₂ 的综合利用

——以 2020—2021 年高考真题为例



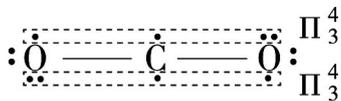
江西 张万程 管晓玲

近年来,由于全球经济的快速发展,工业化和城市化进程快速推进,全球 CO₂ 排放量持续增加,由 CO₂ 排放带来的全球环境问题日益引起国际社会的广泛关注。中国政府在第七十五届联合国大会上提出:“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和”。CO₂ 是初中化学的重要知识点,内容涉及 CO₂ 的制备、性质、检验、除杂、用途及其对环境的影响等,高中化学以初中所学碳及其化合物知识为基础,对碳族元素及其化合物进行更深入的学习,对于涉及 CO₂ 的知识,较多学生还停留在初中的知识水平,但在历年的高考试题中,以 CO₂ 为载体的试题几乎每年均有涉及,本文对 CO₂ 可关联的知识点进行归纳,并对 2020 年真题进行例析,望后期对备考师生有所帮助。

一、知识归纳总结

1. CO₂ 的分子结构:

CO₂ 为直线形非极性分子。实测碳氧键长为 116 pm,其数值介于 C=O 键与 C≡O 之间,键能为 531.4 kJ·mol⁻¹,也介于双键与三键之间。CO₂ 分子中 C 原子是以 sp 杂化轨道分别与 2 个 O 原子的 p_z 轨道重叠形成 σ 键,y 轴方向三个原子的 p_y 轨道相互平行,形成三中心四电子的大 π 键,在 z 轴上也形成大 π 键:



2. CO₂ 的物理性质:

CO₂ 是无色、无味、无毒的气体,不助燃,空气中 CO₂ 含量达到 2.5% 时,火焰会熄灭。高度冷却下,CO₂ 凝结为白色雪状晶体,压缩成块状的 CO₂ 固体称为“干冰”,分子晶体,可做制冷剂,常用于人工降雨。CO₂ 的临界温度为 304 K,加压可液化,在该温度下,可作为优良溶剂进行超临界萃取。

3. CO₂ 的制法:

工业制法:①煅烧石灰石:CaCO₃ $\xrightarrow{\text{高温}}$ CaO + CO₂ ↑

②酿造工业发酵:C₆H₁₂O₆(葡萄糖) $\xrightarrow{\text{酒化酶}}$ 2C₂H₅OH + 2CO₂ ↑

实验室制法:①碳酸钙与盐酸反应:CaCO₃ + 2HCl \longrightarrow

CaCl₂ + H₂O + CO₂ ↑

②加热碳酸氢盐:2NaHCO₃ $\xrightarrow{\Delta}$ Na₂CO₃ + H₂O + CO₂ ↑ 加热饱和 NaHCO₃ 溶液也能得到 CO₂。

4. CO₂ 的化学性质:

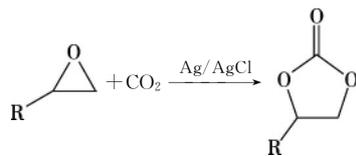
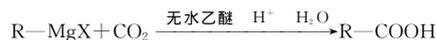
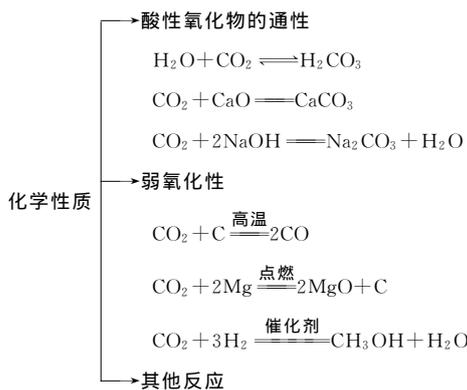


图 1

二、2020—2021 年高考中涉及 CO₂ 的考查

表 1 2020—2021 年高考试题对 CO₂ 考查的统计

试题	题型	考查内容
2021·全国乙卷·7	选择题	碳中和最直接有效的方法
2020·全国卷 I·12	选择题	Zn-CO ₂ 水介质电池
2020·全国卷 II·9	选择题	CO ₂ 排放使海水酸化
2020·全国卷 II·11	选择题	Fe(CO) ₅ 催化反应机理
2020·全国卷 II·28	非选择题	CH ₄ 和 CO ₂ 的电化学耦合转化
2020·全国卷 III·28	非选择题	CO ₂ 催化加氢合成乙烯
2020·江苏卷·15	选择题	CH ₄ 和 CO ₂ 重整生成 H ₂ 和 CO
2020·江苏卷·20	非选择题	CO ₂ /HCOOH 循环储氢
2020·山东卷·18	非选择题	CO ₂ 、H ₂ 为原料合成 CH ₃ OH
2020·天津卷·16	非选择题	H ₂ 还原 CO ₂ 合成 CH ₃ OH
2020·浙江卷·29	非选择题	CO ₂ 氧化 C ₂ H ₆ 制 C ₂ H ₄
2020·海南卷·4	选择题	加热饱和 NaHCO ₃ 溶液制 CO ₂

从 2020 年各卷区试题可看出,涉及 CO₂ 载体的试题题型含选择题与非选择题,所考查的内容包含 CO₂ 的制取、电化、催化反应机理、耦合反应、化学反应原理、化学储氢等。考查形式丰富多样,充分体现高考命题的学科价值和社会价值,培养考生科学推理论证的关键能力。

三、典型试题例析

1. 电化学知识选择题的考查

历年涉及 CO₂ 的电化学试题:2019 年江苏卷第 20 题电解 CO₂ 制 HCOOH、2018 年全国卷 I 第 13 题天然气中 CO₂ 和 H₂S 的协同转化装置、2018 年全国卷 II 第 12 题“可呼吸”Na-CO₂ 二次电池。

【例 1】(2020·全国卷 I·12)科学家近年发明了一种新型 Zn-CO₂ 水介质电池。电池示意图如图 2,电极金属锌和选择性催化材料。放电时,温室气体 CO₂ 被转化为储氢物质甲酸等,为解决环境和能源问题提供了一种新途径。下列说法错误的是 ()

A. 放电时,负极反应为 $Zn - 2e^- + 4OH^- \rightleftharpoons Zn(OH)_4^{2-}$

B. 放电时,1 mol CO₂ 转化为 HCOOH,转移的电子数为 2 mol

C. 充电时,电池总反应为 $2Zn(OH)_4^{2-} \rightleftharpoons 2Zn + O_2 \uparrow + 4OH^- + 2H_2O$

D. 充电时,正极溶液中 OH⁻ 浓度升高

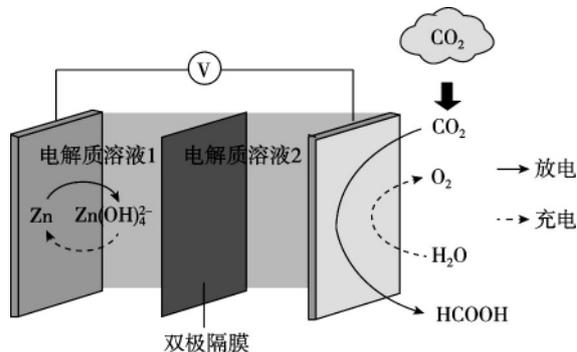


图 2

【答案】D

【解析】根据电池装置示意图进行电极反应分析,分析结果如表 2。

表 2

	放电时		充电时	
	电极反应式	电极名称	电极反应式	电极名称
左侧	负极	$Zn - 2e^- + 4OH^- \rightleftharpoons Zn(OH)_4^{2-}$	阴极	$2Zn(OH)_4^{2-} + 4e^- \rightleftharpoons 2Zn + 8OH^-$
右侧	正极	$CO_2 + 2e^- + 2H^+ \rightleftharpoons HCOOH$	阳极	$2H_2O - 4e^- \rightleftharpoons O_2 \uparrow + 4H^+$

由上表分析可知,新型 Zn-CO₂ 水介质电池放电时和充电时总反应不同,充电时,阳极发生电极反应 $2H_2O - 4e^- \rightleftharpoons O_2 \uparrow + 4H^+$,使溶液中 H⁺ 浓度升高,所以 D 项错误。

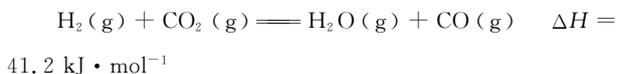
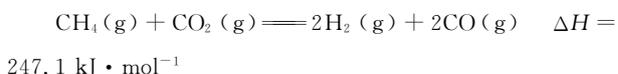
【试题点评】试题中双极隔膜表述较为简略,双极隔膜(BPM)是一种新型离子交换膜,膜主体分为阳离子交换层、阴离子交换层、中间界面层,水解离催化剂被夹在中间的离子交换聚合物中,水解产物 H⁺ 和 OH⁻ 在电场力的作用下快速迁移到两侧溶液中,为膜两侧的半反应提供各自理想的 pH 条件。试题中未明确给出双极隔膜的原理,在图 2 中,电解质溶液 1 和电解质溶液 2 未给出具体电解质溶质,在选项设置上,转移的电子数目和充电时的电极名称等均给考生造成了不小的困难。忽略这些问题,这道试题的价值非常高,引导高中的化学教学应从宏观把握,充分体现学科素养,培养学生的认知能力,同时本题也体现了高考命题的社会价值和学科价值。试题存在的少许缺陷,为试题改编提供了条件,如可对双极隔膜的原理、两侧电解质溶液等问题进行延伸考查。

2. CO₂ 和 CH₄ 的耦合转化:

CO₂ 和 CH₄ 通过耦合转化重整,可得到烃类物质、H₂、

CO 等,以此为载体可从化学反应原理、电化学方面进行综合考查。

【例 2】(2020·江苏卷·15)CH₄ 与 CO₂ 重整生成 H₂ 和 CO 的过程中主要发生下列反应



在恒压、反应物起始物质的量比 $n(\text{CH}_4) : n(\text{CO}_2) = 1 : 1$ 条件下,CH₄ 和 CO₂ 的平衡转化率随温度变化的曲线如图 3 所示。下列有关说法正确的是 ()

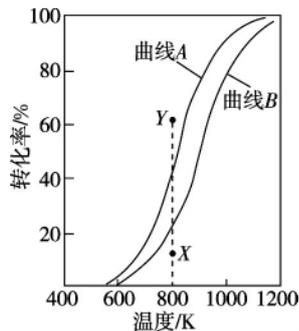


图 3

A. 升高温度、增大压强均有利于提高 CH_4 的平衡转化率

B. 曲线 B 表示 CH_4 的平衡转化率随温度的变化

C. 相同条件下, 改用高效催化剂能使曲线 A 和曲线 B 相重叠

D. 恒压、800 K、 $n(\text{CH}_4) : n(\text{CO}_2) = 1 : 1$ 条件下, 反应至 CH_4 转化率达到 X 点的值, 改变除温度外的特定条件继续反应, CH_4 转化率能达到 Y 点的值

【答案】BD

【解析】由 CH_4 与 CO_2 重整生成 H_2 和 CO 的过程中的两个主要反应可知, $\text{CH}_4(\text{g})$ 参与的反应为吸热反应, 正向气体体积减小, 故升高温度、减小压强能提高 CH_4 的平衡转化率, 当 $n(\text{CH}_4) : n(\text{CO}_2) = 1 : 1$ 时, $\text{CO}_2(\text{g})$ 的转化率比 $\text{CH}_4(\text{g})$ 高, A 项错误, B 项正确; 使用催化剂只能改变反应速率, 不能改变平衡转化率, C 项错误; 欲使 CH_4 转化率达到 Y 点的值, 可采取增大 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的浓度或减小压强等方法, D 项正确。

【例 3】(2020 · 全国卷 II · 28 节选) (3) CH_4 和 CO_2 都是比较稳定的分子, 科学家利用电化学装置实现两种分子的耦合转化, 其原理如图 4 所示:

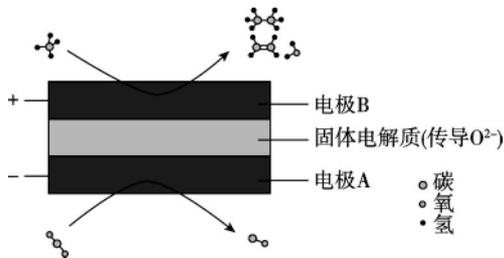


图 4

① 阴极上的反应式为 _____。

② 若生成的乙烯和乙烷的体积比为 2 : 1, 则消耗的 CH_4 和 CO_2 体积比为 _____。

【答案】① $\text{CO}_2 + 2\text{e}^- = \text{CO} + \text{O}^{2-}$ ② 6 : 5

【解析】根据固体电解质能传递 O^{2-} , 对电解原理进行如下分析:

表 3

电极	电极名称	电极反应式
电极 A	阴极	$\text{CO}_2 + 2\text{e}^- = \text{CO} + \text{O}^{2-}$
电极 B	阳极	$(2x+2y)\text{CH}_4 - (4x+2y)\text{e}^- + (2x+y)\text{O}^{2-} = x\text{C}_2\text{H}_4 + y\text{C}_2\text{H}_6 + (2x+y)\text{H}_2\text{O}$

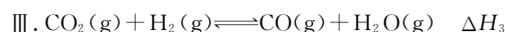
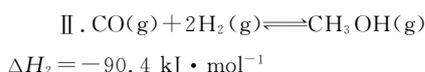
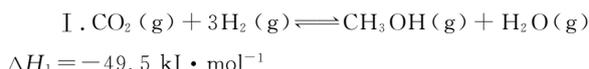
若生成的乙烯和乙烷的体积比为 2 : 1, 则阳极的电极反应式为 $6\text{CH}_4 - 10\text{e}^- + 5\text{O}^{2-} = 2\text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + 5\text{H}_2\text{O}$, 则阴极应有 5 体积的 CO_2 参与反应, 消耗 CH_4 和 CO_2 体积比为 6 : 5。

【试题点评】由于 CH_4 和 CO_2 的耦合反应产物体积比不能确定, 在讨论阳极电极反应时, 可假定 C_2H_4 和 C_2H_6 的量, 生成 C_2H_4 和 C_2H_6 的体积比不同, 电路中转移的电子数目也不等。

3. 以 CO_2 和 H_2 为原料合成 CH_3OH :

以 CO_2 和 H_2 为原料合成 CH_3OH 可实现 CO_2 的回收及综合利用, 山东卷和天津卷均有所涉及, 试题以化学反应原理题型形式出现, 涉及多重反应化学平衡常数的计算以及反应条件的选择。

【例 4】(2020 · 山东卷 · 18) 探究 CH_3OH 合成反应化学平衡的影响因素, 有利于提高 CH_3OH 的产率。以 CO_2 、 H_2 为原料合成 CH_3OH 涉及的主要反应如下:

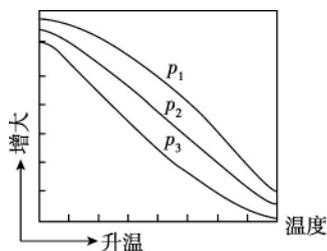


回答下列问题:

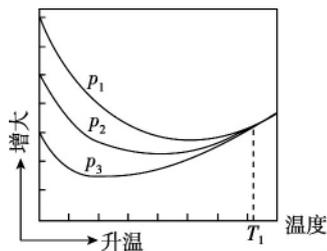
(1) $\Delta H_3 =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 一定条件下, 向体积为 $V \text{ L}$ 的恒容密闭容器中通入 1 mol CO_2 和 3 mol H_2 发生上述反应, 达到平衡时, 容器中 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 为 $a \text{ mol}$, $\text{CO}(\text{g})$ 为 $b \text{ mol}$, 此时 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的浓度为 _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (用含 a 、 b 、 V 的代数式表示, 下同), 反应 III 的平衡常数为 _____。

(3) 不同压强下, 按照 $n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2) = 1 : 3$ 投料, 实验测定 CO_2 的平衡转化率和 CH_3OH 的平衡产率随温度的变化关系如图 5 所示。



甲



乙

图 5

已知:

$$\text{CO}_2 \text{ 的平衡转化率} = \frac{n(\text{CO}_2)_{\text{初始}} - n(\text{CO}_2)_{\text{平衡}}}{n(\text{CO}_2)_{\text{初始}}} \times 100\%$$

CH_3OH 的平衡产率 = $\frac{n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{平衡}}}{n(\text{CO}_2)_{\text{初始}}} \times 100\%$, 其中纵坐标表示 CO_2 平衡转化率的是图 _____ (填“甲”或“乙”); 压强 p_1 、 p_2 、 p_3 由大到小的顺序为 _____; 图 5 乙中 T_1 温度时, 三条曲线几乎交于一点的原因是 _____。

(4) 为同时提高 CO_2 的平衡转化率和 CH_3OH 的平衡产率, 应选择反应条件为 _____ (填标号)。

- A. 低温、高压 B. 高温、低压
C. 低温、低压 D. 高温、高压

【答案】(1)+40.9

(2) $\frac{a+b}{V} \quad \frac{b \cdot (a+b)}{(1-a-b) \cdot (3-3a-b)}$

(3) 乙 $p_1 > p_2 > p_3$ T_1 时, 以反应 III 为主, 反应 III 前后气体分子数相等, 压强改变对平衡没有影响

(4) A

【解析】(1) 根据盖斯定律, 反应 III = 反应 I - 反应 II, 即 $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$, 带入数据可得 $\Delta H_3 = +40.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;

(2) 反应 I 与反应 III 中才有 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 生成, 达平衡时, 容器中有 $a \text{ mol CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 和 $b \text{ mol CO}(\text{g})$, 根据 C 元素守恒, 可知消耗 $(a+b) \text{ mol CO}_2(\text{g})$, 剩余 $(1-a-b) \text{ mol CO}_2(\text{g})$, 根据反应 I 和反应 III 中 $\text{CO}_2(\text{g})$ 与 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的计量数之比, 可知生成 $(a+b) \text{ mol H}_2\text{O}(\text{g})$, 故此时 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的浓度为 $\frac{a+b}{V} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 达到平衡时, 容器中有 $a \text{ mol CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 和 $(a+b) \text{ mol H}_2\text{O}(\text{g})$, 根据 H 元素守恒可知, 容器中剩余 $(3-3a-b) \text{ mol H}_2(\text{g})$, 即可得反应 III 的平衡常数

$$\text{数为 } \frac{c[\text{H}_2\text{O}(\text{g})] \cdot c[\text{CO}(\text{g})]}{c[\text{CO}_2(\text{g})] \cdot c[\text{H}_2(\text{g})]} = \frac{\frac{a+b}{V} \cdot \frac{b}{V}}{(1-a-b) \cdot \frac{(3-3a-b)}{V}} = \frac{b \cdot (a+b)}{(1-a-b) \cdot (3-3a-b)}$$

(3) 由于反应 I 和反应 II 有 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 生成且均为放热反应, 随着温度升高, $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 的产率逐渐降低, 符合图甲曲线变化趋势, 则图乙表示 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的平衡转化率; 压强越大, $\text{CO}_2(\text{g})$ 的平衡转化率及 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 的产率均增大, 则有 $p_1 > p_2 > p_3$; 温度升高对 $\Delta H > 0$ 的反应有利, 当温度为 T_1 时, 以反应 III 为主, 反应 III 前后气体分子数相等, 压强改变对平衡没有影响;

(4) 结合图像可知应选择低温、高压, 有利于提高 CO_2 的平衡转化率和 CH_3OH 的平衡产率。

【试题点评】试题以 CO_2 和 H_2 为原料合成 CH_3OH 为载体考查盖斯定律、化学平衡常数计算、图像的识别与反应条件的选择等知识, 试题中多重反应的平衡常数的计算难

度较大, 如果结合三个反应计算, 往往会陷入困境, 可通过元素守恒等方法, 得出各物质的消耗量和剩余量, 使问题柳暗花明。

4. 以 CO_2 为原料制取烯烃:

CO_2 具有弱氧化性, 可催化加氢制取乙烯, 亦可氧化 C_2H_6 制取烯烃, 浙江 7 月选考第 29 题考查了 CO_2 氧化 C_2H_6 制取 C_2H_4 , 体现对资源的综合利用。

【例 5】(2020 · 全国卷 III · 28) 二氧化碳催化加氢合成乙烯是综合利用 CO_2 的热点研究领域。回答下列问题:

(1) CO_2 催化加氢生成乙烯和水的反应中, 产物的物质的量之比 $n(\text{C}_2\text{H}_4) : n(\text{H}_2\text{O}) =$ _____。当反应达到平衡时, 若增大压强, 则 $n(\text{C}_2\text{H}_4)$ _____ (填“变大”“变小”或“不变”)。

(2) 理论计算表明, 原料初始组成 $n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2) = 1 : 3$, 在体系压强为 0.1 MPa , 反应达到平衡时, 四种组分的物质的量分数 x 随温度 T 的变化如图 6 所示。

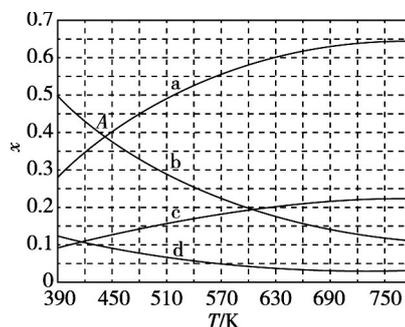


图 6

图 6 中, 表示 C_2H_4 、 CO_2 变化的曲线分别是 _____、_____。 CO_2 催化加氢合成 C_2H_4 反应的 ΔH _____ (填“大于”或“小于”)。

(3) 根据图 6 中点 A (440 K, 0.39), 计算该温度时反应的平衡常数 $K_p =$ _____ $(\text{MPa})^{-3}$ (列出计算式。以分压表示, 分压 = 总压 \times 物质的量分数)。

(4) 二氧化碳催化加氢合成乙烯反应往往伴随副反应, 生成 C_3H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_8 等低碳烃。一定温度和压强条件下, 为了提高反应速率和乙烯选择性, 应当 _____。

【答案】(1) 1 : 4 变大

(2) d c 小于

(3) $\frac{0.39^4 \times \frac{0.39}{4}}{0.39^6 \times \left(\frac{0.39}{3}\right)^2} \times \frac{1}{0.1^3}$

(4) 选择合适的催化剂

【解析】(1) CO_2 催化加氢反应为 $2\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_2 = \text{CH}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, 产物物质的量之比为 1 : 4, 该反应正向气体体积减小, 增大压强, 平衡正向移动,

$n(\text{C}_2\text{H}_4)$ 变大;

(2) 原料初始组成 $n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2) = 1 : 3$ 与反应物化学计量数之比一致, 随着反应的进行, 达到平衡时, CO_2 与 H_2 的物质的量分数之比依然保持 $1 : 3$, 390 K 时, 增大趋势的曲线 c、a 的比值为 $1 : 3$, 减小趋势的曲线 d、b 的比值为 $1 : 4$, 所以曲线 c、a 分别表示 $\text{CO}_2(\text{g})$ 与 $\text{H}_2(\text{g})$ 的物质的量分数变化, 曲线 d、b 分别表示 $\text{CH}_2=\text{CH}_2(\text{g})$ 与 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的物质的量分数变化; 随着温度的升高, 产物的物质的量分数逐渐减小, 说明平衡向逆向移动, 则 CO_2 催化加氢反应 $\Delta H < 0$;

(3) 原料初始组成 $n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2) = 1 : 3$ 在 0.1 MPa 下建立平衡, A 点时, $\text{H}_2(\text{g})$ 与 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的物质的量分数均为 0.39, 根据比例关系可知 $\text{CO}_2(\text{g})$ 为 $\text{H}_2(\text{g})$ 物质的量分数的 $\frac{1}{3}$, 即 $\frac{0.39}{3}$, $\text{CH}_2=\text{CH}_2(\text{g})$ 为 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的物质的量分数的 $\frac{1}{4}$, 即 $\frac{0.39}{4}$, 根据 K_p 的定义可得该温度时反应的

$$K_p = \frac{0.39^4 \times \frac{0.39}{4}}{0.39^6 \times \left(\frac{0.39}{3}\right)^2 \times 0.1^3} (\text{MPa})^{-3};$$

(4) 不同的催化剂对反应有不同的选择性, 可生成不同的产物, 且能提高反应速率, 在一定的温度和压强下, 可选择合适的催化剂以提高反应速率和乙烯选择性。

【试题点评】试题中原料投料比与反应物的化学计量数之比一致, 故从反应开始到平衡时, 各物质的比值均保持恒定, 反应的热效应未知, 故图中减小趋势的曲线并不代表反应物, 仔细阅读试题可知曲线发生变化是达到平衡时, 升高温度的变化曲线, 结合各物质的比值进行判断分析曲线所属及计算 K_p 。

四、以 CO_2 为载体的原创试题

CO_2 作为一种温室气体, 减少其在空气中的含量或从源头上减少排放是科研的热点, 可通过电化学还原法将 CO_2 还原为各种有机化合物或合成气。

【原创试题 1】“十三五”期间中国应对气候变化工作取得显著成效, 并向国际社会承诺 2030 年“碳达峰”, 2060 年实现“碳中和”。 CO_2 的回收及综合利用越来越受到国际社会的重视, 将 CO_2 转化为高附加值化学品已成为有吸引力的解决方案。

I. CO_2 合成二甲醚(DME):

(1) 合成二甲醚反应:



已知: $\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

$$\Delta H_1 = -49.01 \text{ kJ/mol}$$



则合成二甲醚的反应的 $\Delta H =$ _____ kJ/mol。

(2) 在不同温度和不同氢碳比 $\left[\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{CO}_2)}\right]$ 时, 合成二甲醚反应 CO_2 的平衡转化率如图 7 所示, 则图中氢碳比由大到小的关系是 _____ (用 a、b、c、d 表示)。

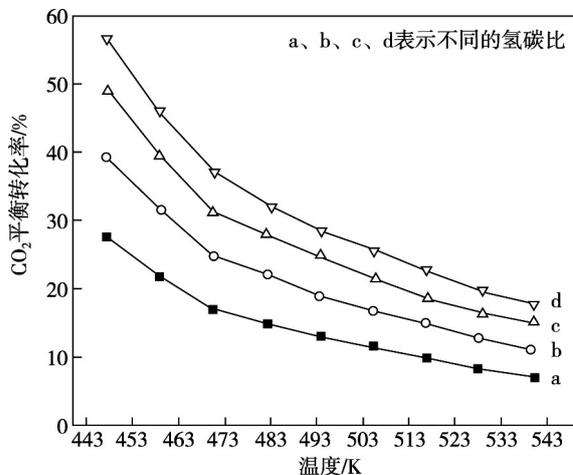


图 7

(3) 在 503 K 时, 当以氢碳比为 0.9 时合成二甲醚(如图 8), 则化学平衡常数 $K_p =$ _____ MPa^{-4} (用气体的平衡分压代替物质的量浓度计算压强平衡常数 K_p , 气体分压 = 气体总压 \times 各气体的体积分数, 列出表达式)。

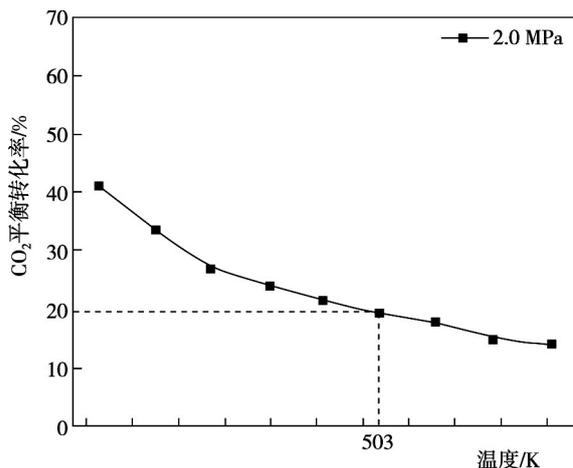
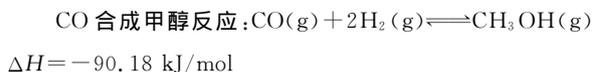
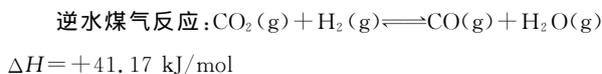
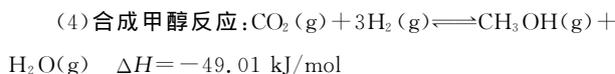


图 8

II. CO_2 合成甲醇(MT):



在不同条件下 CO_2 平衡转化率和甲醇的平衡产率如

图 9 所示：

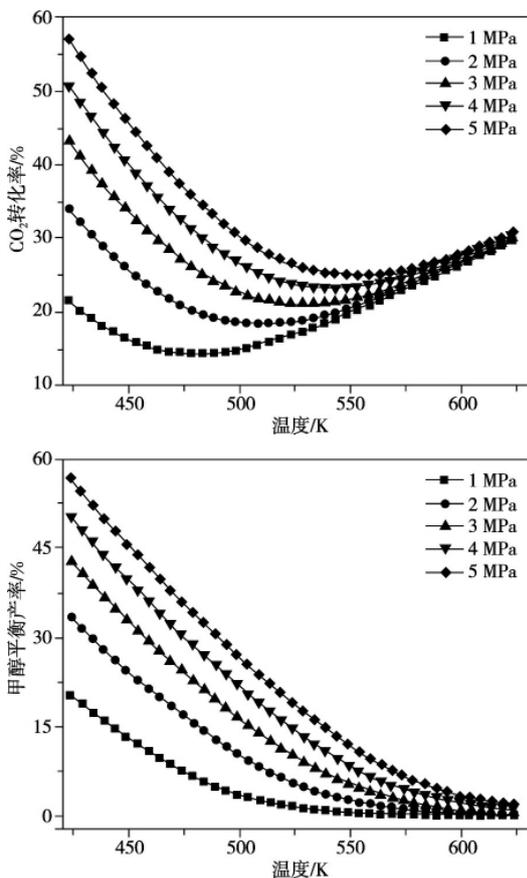


图 9

①由图 9 可知，CO₂ 平衡转化率随反应温度的升高_____，原因是_____。

②温度升高甲醇的平衡产率降低的原因是_____。

Ⅲ. 我国科研团队研究发现使用 GaZrO_x 双金属氧化物催化剂实现 CO₂ 加氢制 MT 和 DME 的活性明显优于纯 Ga₂O₃ 和 ZrO₂ 催化剂，其反应机理如图 10 所示：

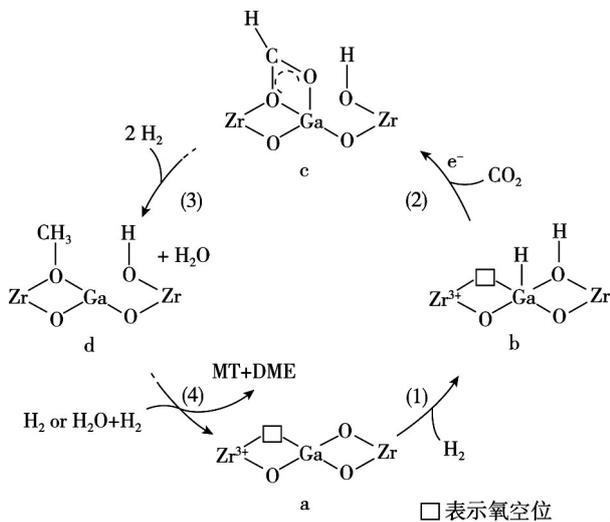


图 10

(5)下列有关叙述正确的是_____。

- a. 步骤 a→b 有化学键的断裂和形成
- b. 氧空位用于捕获 CO₂，氧空位越多，速率越快
- c. 整个催化过程中，Zr 元素的化合价未发生变化
- d. 过渡态 C 中甲酸盐物种通过氢化或水解可得 MT 和 DME

【命题意图】试题以 CO₂ 合成二甲醚和甲醇为载体，考查化学反应原理相关知识，考查的知识点包括盖斯定律的应用、图像的分析、化学平衡常数的计算、图像变化原因的分析、催化反应机理的分析等，引入催化过程中氧空位概念，考查考生获取信息、应用信息解决问题的能力、论证推理的能力，渗透对科学探究与创新意识、变化观念与平衡思想、证据推理与模型认知等学科核心素养的考查。

【答案】I. (1) - 122.54

(2) d > c > b > a

$$(3) \frac{\left(\frac{1}{5} \times 2.0\right)^3 \times \left(\frac{1}{15} \times 2.0\right)}{\left(\frac{1}{5} \times 2.0\right)^6 \times \left(\frac{8}{15} \times 2.0\right)^2}$$

Ⅱ. (4) ①先减小后增大 CO₂ 合成甲醇和逆水煤气反应相互竞争，当温度较低时，合成甲醇反应起主要作用，反应放热温度升高，CO₂ 平衡转化率降低；当温度继续升高，逆水煤气反应起主要作用，反应吸热温度升高 CO₂ 平衡转化率升高

②CO₂ 合成甲醇与 CO 合成甲醇反应均为放热反应，升高温度平衡逆向移动，甲醇平衡产率降低

五、总结

高考试题注重以真实情境为载体，在以 CO₂ 为载体的试题上注重思维的创新，并解决生产生活中的实际问题，考查考生科学推理论证、处理转化数据的学科能力。《深化新时代教育评价改革总体方案》中提出：深化考试招生制度改革。稳步推进中高考改革，构建引导学生德智体美劳全面发展的考试内容体系，改变相对固化的试题形式，增强试题开放性，减少死记硬背和“机械刷题”现象，在复习备考中，可对模拟试题进行延伸拓展，从顶级期刊中寻找素材文献，设置适合高中生的化学试题，拓宽知识面，训练理科思维，培养学科素养，从而轻松应对高考

(作者单位：江西省龙南市龙南中学；江西省于都县第二中学)