

江苏省 2021 年普通高中学业水平选择性考试

化学

注意事项:

1. 本试卷满分为 100 分，考试时间为 75 分钟。考试结束后，请将本试卷和答题卡一并交回。
2. 答题前，请务必将自己的姓名、准考证号用 0.5 毫米黑色墨水的签字笔填写在试卷及答题卡的规定位置。
3. 请认真核对监考员在答题卡上所粘贴的条形码上的姓名、准考证号与本人是否相符。
4. 作答选择题，必须用 2B 铅笔将答题卡上对应选项的方框涂满、涂黑；如需改动，请用橡皮擦干净后，再选涂其他答案。作答非选择题，必须用 0.5 毫米黑色墨水的签字笔在答题卡上的指定位置作答，在其他位置作答一律无效。
5. 如需作图，必须用 2B 铅笔绘写清楚，线条符号等须加黑加粗。

可能用到的相对原子质量：H-1 C-12 N-14 O-16 S-32 Cl-35.5 Mn-55 Fe-56
Zn-65

一、单项选择题：共 14 题，每题 3 分，共 42 分。每题只有一个选项最符合题意。

1. 黑火药是中国古代四大发明之一，其爆炸反应为 $2\text{KNO}_3 + \text{S} + 3\text{C} = \text{K}_2\text{S} + \text{N}_2\uparrow + 3\text{CO}_2\uparrow$ 。下列说法正确的是
- A. 黑火药中含有两种单质
B. 爆炸时吸收热量
C. 反应中 S 作还原剂
D. 反应为置换反应

【答案】A

【解析】

- 【详解】A. 黑火药中含有 S、C 两种单质，A 正确；
B. 爆炸反应为放热反应，B 错误；
C. 该反应中 S 元素化合价降低，作氧化剂，C 错误；
D. 该反应不符合“单质+化合物=另一种单质+另一种化合物”的形式，不是置换反应，D 错误；
综上所述答案为 A。

2. 反应 $\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{NaClO} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ 可用于制备含氯消毒剂。下列说法正确的是

- A. Cl_2 是极性分子
B. NaOH 的电子式为 $\text{Na}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$
C. NaClO 既含离子键又含共价键
D. Cl^- 与 Na^+ 具有相同的电子层结构

【答案】C

【解析】

【详解】A. 氯气分子结构对称，正负电荷中心重合，为非极性分子，A 错误；

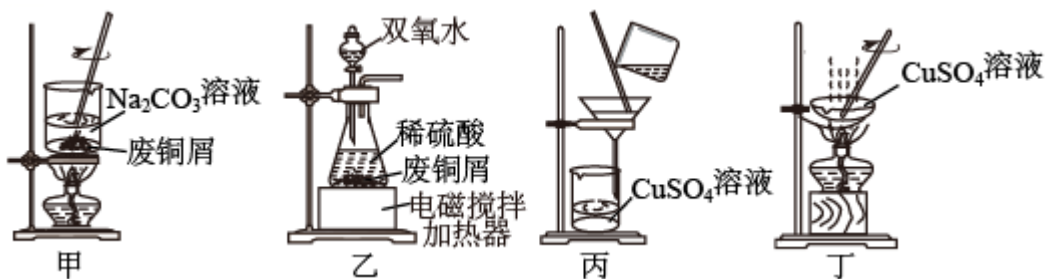
B. NaOH 为离子化合物，电子式为 $\text{Na}^+ [:\ddot{\text{O}}:\text{H}]^-$ ，B 错误；

C. NaClO 含有钠离子和次氯酸根形成的离子键，含有 O 原子和 Cl 原子形成的共价键，C 正确；

D. Cl⁻有 3 层电子，Na⁺有 2 层电子，D 错误；

综上所述答案为 C。

3. 下列由废铜屑制取 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的实验原理与装置不能达到实验目的的是



A. 用装置甲除去废铜屑表面的油污

B. 用装置乙在加热的条件下溶解废铜屑

C. 用装置丙过滤得到 CuSO_4 溶液

D. 用装置丁蒸干溶液获得 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

【答案】D

【解析】

【分析】

【详解】A. 碳酸钠溶液显碱性，在加热的条件下可以除去铜屑表面的油污，A 正确；

B. 在酸性条件下，铜与双氧水发生氧化反应得到硫酸铜，B 正确；

C. 装置丙为过滤装置，过滤可以除去难溶杂质，得到硫酸铜溶液，C 正确；

D. 用装置丁蒸干溶液得到硫酸铜固体，而不是 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ，D 错误；

答案选 D。

4. 下列有关物质的性质与用途不具有对应关系的是

A. 铁粉能与 O_2 反应，可用作食品保存的吸氧剂

B. 纳米 Fe_3O_4 能与酸反应，可用作铁磁性材料

C. FeCl_3 具有氧化性，可用于腐蚀印刷电路板上的 Cu

D. 聚合硫酸铁能水解并形成胶体，可用于净水

【答案】B

【解析】

【详解】A. 因为铁粉能与 O_2 反应，所以可用作食品保存的吸氧剂，A 正确；

B. 纳米 Fe_3O_4 具有磁性，可用作铁磁性材料，B 错误；

C. FeCl_3 与 Cu 反应生成 FeCl_2 和 CuCl_2 , 主要利用其氧化性, C 正确;

D. 聚合硫酸铁能水解并形成胶体, 具有吸附性, 可用于净水, D 正确;

故选 B。

5. 前 4 周期主族元素 X、Y、Z、W 的原子序数依次增大, X 是空气中含量最多的元素, Y 的周期序数与族序数相等, 基态时 Z 原子 3p 原子轨道上有 5 个电子, W 与 Z 处于同个主族。下列说法正确的是

A. 原子半径: $r(\text{X}) < r(\text{Y}) < r(\text{Z}) < r(\text{W})$

B. X 的第一电离能比同周期相邻元素的大

C. Y 的最高价氧化物对应水化物的酸性比 Z 的强

D. Z 的简单气态氢化物的热稳定性比 W 的弱

【答案】B

【解析】

【分析】前 4 周期主族元素 X、Y、Z、W 的原子序数依次增大, X 是空气中含量最多的元素, 则 X 为 N 元素; Y 的周期序数与族序数相等, 则 Y 为 Al; 基态时 Z 原子 3p 原子轨道上有 5 个电子, 则 Z 为 Cl; W 与 Z 处于同一主族, 则 W 为 Br。

【详解】A. 根据同周期从左到右原子半径逐渐减小, 同主族从上到下原子半径逐渐增大, 因此原子半径: $r(\text{X}) < r(\text{Z}) < r(\text{Y}) < r(\text{W})$, 故 A 错误;

B. 根据同周期从左到右第一电离能呈增大趋势, 但 N 的 2p 处于半充满状态, 因此 X(N) 的第一电离能比同周期相邻元素的大, 故 B 正确;

C. Y 的最高价氧化物对应水化物的酸性比 Z 的弱即 $\text{Al}(\text{OH})_3 < \text{HClO}_4$, 故 C 错误;

D. 同主族从上到下, 非金属性逐渐减弱, 简单氢化物的稳定性逐渐减弱, 所以 Z 的简单气态氢化物的热稳定性比 W 的强, 故 D 错误。

综上所述, 答案为 B。

6. N_2 是合成氨工业的重要原料, NH_3 不仅可制造化肥, 还能通过催化氧化生产 HNO_3 ; HNO_3 能溶解 Cu、Ag 等金属, 也能与许多有机化合物发生反应; 在高温或放电条件下, N_2 与 O_2 反应生成 NO, NO 进一步氧化生成 NO_2 。 $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -116.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。大气中过量的 NO_x 和水中过量的 NH_4^+ 、 NO_3^- 均是污染物。通过催化还原的方法, 可将烟气和机动车尾气中的 NO 转化为 N_2 , 也可将水体中的 NO_3^- 转化为 N_2 。下列有关 NH_3 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 的说法正确的是

A. NH_3 能形成分子间氢键

B. NO_3^- 的空间构型为三角锥形

- C. NH_3 与 NH_4^+ 中的键角相等
- D. NH_3 与 Ag^+ 形成的 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 中有 6 个配位键

【答案】A

【解析】

【详解】A. NH_3 能形成分子间氢键，氨分子是一个极性分子，氮原子带有部分负电荷，氢原子带有部分正电荷，当氨分子互相靠近时，由于取向力的作用，带有部分正电荷的氢原子与另外一个氨分子中的带有部分负电荷的氮原子发生异性电荷的吸引进一步靠拢，A 正确；

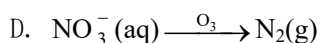
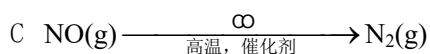
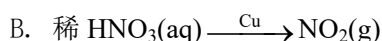
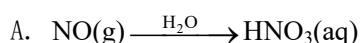
B. 硝酸根离子的空间构型是个标准的正三角形，N 在中间，O 位于三角形顶点，N 和 O 都是 sp^2 杂化，B 错误；

C. NH_3 和 NH_4^+ 都是 sp^3 杂化，但 NH_3 中存在一个孤电子对，是三角锥结构，而 NH_4^+ 为标准的正四面体，所以键角是不一样的， NH_3 中每两个 N—H 键之间夹角为 $107^\circ 18'$ ，正四面体为 $109^\circ 28'$ ，C 错误；

D. N-H 为 σ 键，配位键也为 σ 键，则 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 中含有 8 个 σ 键，2 个配位键，D 错误；

答案选 A。

7. N_2 是合成氨工业的重要原料， NH_3 不仅可制造化肥，还能通过催化氧化生产 HNO_3 ； HNO_3 能溶解 Cu、Ag 等金属，也能与许多有机化合物发生反应；在高温或放电条件下， N_2 与 O_2 反应生成 NO，NO 进一步氧化生成 NO_2 。 $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -116.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。大气中过量的 NO_x 和水中过量的 NH_4^+ 、 NO_3^- 均是污染物。通过催化还原的方法，可将烟气和机动车尾气中的 NO 转化为 N_2 ，也可将水体中的 NO_3^- 转化为 N_2 。在指定条件下，下列选项所示的物质间转化能实现的是



【答案】C

【解析】

【详解】A. NO 不溶于水也不与水反应，A 错误；

B. 稀 HNO_3 与 Cu 反应得到硝酸铜、水和 NO，得不到 NO_2 ，B 错误；

C. NO 有氧化性，CO 有还原性，在高温、催化剂条件下二者可发生氧化还原反应转化为无毒的 N_2 和 CO_2 ，C 正确；

D. O_3 有强氧化性，不能作还原剂将硝酸根离子还原，D 错误；

答案选 C。

8. N_2 是合成氨工业的重要原料， NH_3 不仅可制造化肥，还能通过催化氧化生产 HNO_3 ； HNO_3 能溶解 Cu、Ag 等金属，也能与许多有机化合物发生反应；在高温或放电条件下， N_2 与 O_2 反应生成 NO，NO 进一步氧化生成 NO_2 。 $2NO(g)+O_2(g)=2NO_2(g)$ $\Delta H=-116.4kJ\cdot mol^{-1}$ 。大气中过量的 NO_x 和水中过量的 NH_4^+ 、 NO_3^- 均是污染物。通过催化还原的方法，可将烟气和机动车尾气中的 NO 转化为 N_2 ，也可将水体中的 NO_3^- 转化为 N_2 。对于反应 $2NO(g)+O_2(g)\rightleftharpoons 2NO_2(g)$ ，下列说法正确的是

A. 该反应的 $\Delta H<0$ ， $\Delta S<0$

B. 反应的平衡常数可表示为 $K=\frac{c^2(NO)\cdot c(O_2)}{c^2(NO_2)}$

C. 使用高效催化剂能降低反应的焓变

D. 其他条件相同，增大 $\frac{n(O_2)}{n(NO)}$ ，NO 的转化率下降

【答案】A

【解析】

【详解】A. $2NO(g)+O_2(g)=2NO_2(g)$ $\Delta H=-116.4kJ\cdot mol^{-1}$ ，反应气体物质的量减少， $\Delta S<0$ ，故 A 正确；

B. $2NO(g)+O_2(g)\rightleftharpoons 2NO_2(g)$ 反应的平衡常数可表示为 $K=\frac{c^2(NO_2)}{c^2(NO)\cdot c(O_2)}$ ，故 B 错误；

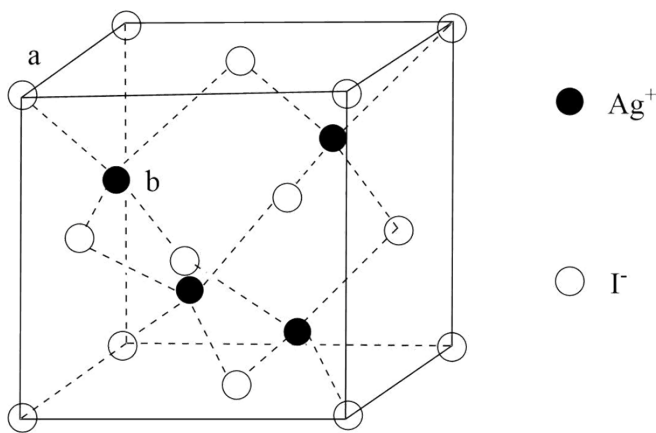
C. 使用高效催化剂，反应的焓变不变，故 C 错误；

D. 其他条件相同，增大 $\frac{n(O_2)}{n(NO)}$ ，NO 的转化率增大，故 D 错误；

选 A。

9. 通过下列实验可从 I_2 的 CCl_4 溶液中回收 I_2 。





下列说法正确的是

- A. NaOH 溶液与 I_2 反应的离子方程式: $I_2 + 2OH^- = I^- + IO_3^- + H_2O$
- B. 通过过滤可将水溶液与 CCl_4 分离
- C. 向加酸后的上层清液中滴加 $AgNO_3$ 溶液生成 AgI 沉淀, 1 个 AgI 晶胞(如图)中含 14 个 I^-
- D. 回收的粗碘可通过升华进行纯化

【答案】D

【解析】

【详解】A. 选项所给离子方程式元素不守恒, 正确离子方程式为: $3I_2 + 6OH^- = 5I^- + IO_3^- + 3H_2O$, A 错误;

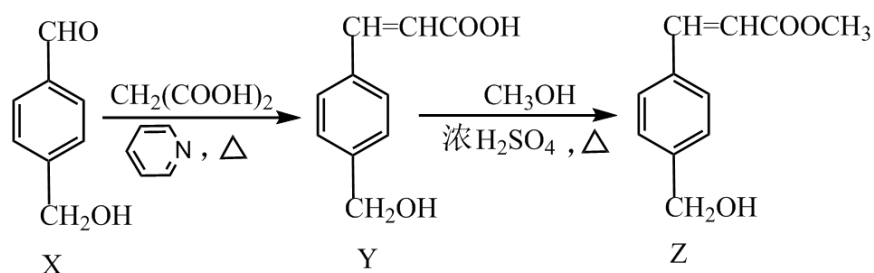
B. 水溶液与 CCl_4 不互溶, 二者应分液分离, B 错误;

C. 根据均摊法, 该晶胞中所含 I^- 的个数为 $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$, C 错误;

D. 碘易升华, 回收的粗碘可通过升华进行纯化, D 正确;

综上所述答案为 D。

10. 化合物 Z 是合成抗多发性骨髓瘤药物帕比司他的重要中间体, 可由下列反应制得。



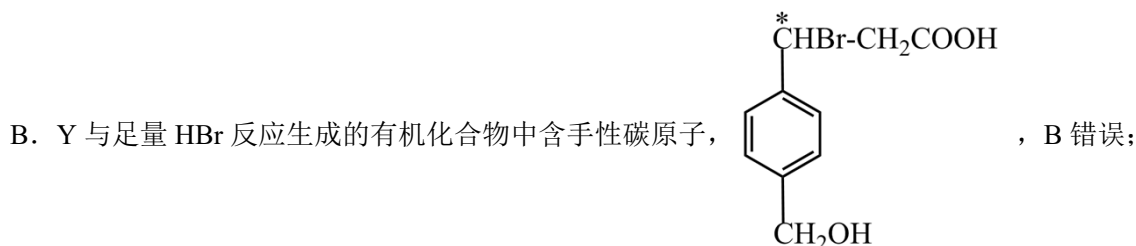
下列有关 X、Y、Z 的说法正确的是

- A. 1mol X 中含有 2mol 碳氧 π 键
- B. Y 与足量 HBr 反应生成的有机化合物中不含手性碳原子
- C. Z 在水中的溶解度比 Y 在水中的溶解度大
- D. X、Y、Z 分别与足量酸性 $KMnO_4$ 溶液反应所得芳香族化合物相同

【答案】D

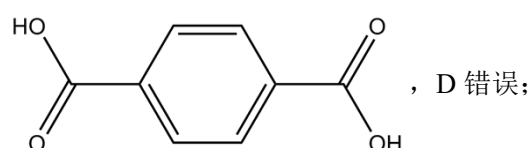
【解析】

【详解】A. 1molX 中含有 1mol 碳氧 π 键，醛基中含有 1 个碳氧 π 键，羧基中不含有碳氧 π 键，A 错误；



C. Z 中含有酯基不易溶于水，Y 含有羧基合羟基易溶于水，Z 在水中的溶解度比 Y 在水中的溶解小，C 错误；

D. X、Y、Z 分别与足量酸性 KMnO_4 溶液反应所得芳香族化合物相同均为：



答案选 D。

11. 室温下，通过下列实验探究 NaHCO_3 、 Na_2CO_3 溶液的性质。

实验 1：用 pH 试纸测量 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 溶液的 pH，测得 pH 约为 8

实验 2：将 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 溶液与 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CaCl}_2$ 溶液等体积混合，产生白色沉淀

实验 3：向 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液中通入 CO_2 ，溶液 pH 从 12 下降到约为 9

实验 4：向 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液中滴加新制饱和氯水，氯水颜色褪去

下列说法正确的是

- A. 由实验 1 可得出： $K_{a2}(\text{H}_2\text{CO}_3) > \frac{K_w}{K_{a1}(\text{H}_2\text{CO}_3)}$
- B. 实验 2 中两溶液混合时有： $c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) < K_{sp}(\text{CaCO}_3)$
- C. 实验 3 中发生反应的离子方程式为 $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = 2\text{HCO}_3^-$
- D. 实验 4 中 $c_{\text{反应前}}(\text{CO}_3^{2-}) < c_{\text{反应后}}(\text{CO}_3^{2-})$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 实验 1：用 pH 试纸测量 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 溶液的 pH，测得 pH 约为 8， $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$ 。

则碳酸氢钠溶液的水解程度大于电离程度。由实验 1 可得出： $c(\text{Na}^+) > c(\text{HCO}_3^-) > c(\text{H}_2\text{CO}_3) > c(\text{CO}_3^{2-})$ ，

$$K_w = H^+ \cdot OH^- , \quad K_{a1} = \frac{H^+ \cdot HCO_3^-}{H_2CO_3} , \quad K_{a2} = \frac{H^+ \cdot CO_3^{2-}}{HCO_3^-} , \quad K_{a2}(H_2CO_3) = \frac{H^+ \cdot CO_3^{2-}}{HCO_3^-} < \frac{K_w}{K_{a1}(H_2CO_3)} =$$

$$\frac{OH^- \cdot H_2CO_3}{HCO_3^-} , \text{ A 错误;}$$

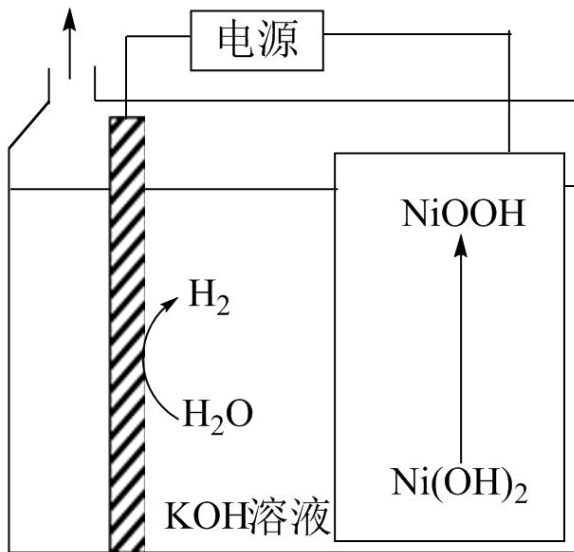
B. 实验 2: 将 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 溶液与 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 溶液等体积混合, 产生白色沉淀碳酸钙, 则由沉淀溶解平衡原理知, 实验 2 中两溶液混合时有: $c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) > K_{sp}(\text{CaCO}_3)$, B 错误;

C. 等物质的量浓度的碳酸钠碱性大于碳酸氢钠。实验 3: $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{CO}_3$ 溶液中通入一定量的 CO_2 , 溶液 pH 从 12 下降到 10, 则实验 3 中发生反应的离子方程式为 $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = 2\text{HCO}_3^-$, C 正确;

D. 由图知 Na_2CO_3 和盐酸反应是放热反应, NaHCO_3 和盐酸反应是吸热反应, $c_{\text{反应前}}(\text{CO}_3^{2-}) > c_{\text{反应后}}(\text{CO}_3^{2-})$, D 错误;

答案选 C。

12. 通过下列方法可分别获得 H_2 和 O_2 : ①通过电解获得 NiOOH 和 H_2 (如图); ②在 90°C 将 NiOOH 与 H_2O 反应生成 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 并获得 O_2 。下列说法正确的是



- A. 电解后 KOH 溶液的物质的量浓度减小
- B. 电解时阳极电极反应式: $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- - e^- = \text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O}$
- C. 电解的总反应方程式: $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$
- D. 电解过程中转移 4mol 电子, 理论上可获得 22.4 L O_2

【答案】B

【解析】

【详解】A. 阴极水电离的氢离子得电子生成氢气，阳极 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 失电子生成 NiOOH ，电解过程总反应为 $2\text{Ni}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{NiOOH} + \text{H}_2 \uparrow$ ，电解后 KOH 溶液的物质的量浓度不变，故 A 错误；

B. 电解时阳极 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 失电子生成 NiOOH ，电极反应式为 $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- - e^- = \text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O}$ ，故 B 正确；

C. 阴极水电离的氢离子得电子生成氢气，阳极 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 失电子生成 NiOOH ，电解过程总反应为

$2\text{Ni}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{NiOOH} + \text{H}_2 \uparrow$ ，故 C 错误；

D. 电解过程中转移 4mol 电子，生成 4mol NiOOH ，根据 $4\text{NiOOH} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} 4\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{O}_2$ ，生成 1mol 氧气，非标准状况下的体积不一定是 22.4L ，故 D 错误；

选 B。

13. 室温下，用 $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液浸泡 CaSO_4 粉末，一段时间后过滤，向滤渣中加稀醋酸，产生气泡。

已知 $K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4) = 5 \times 10^{-5}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3) = 3 \times 10^{-9}$ 。下列说法正确的是

A. $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液中存在： $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{CO}_3)$

B. 反应 $\text{CaSO}_4 + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$ 正向进行，需满足 $\frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} > \frac{5}{3} \times 10^4$

C. 过滤后所得清液中一定存在： $c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)}{c(\text{CO}_3^{2-})}$ 且 $c(\text{Ca}^{2+}) \leq \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)}{c(\text{SO}_4^{2-})}$

D. 滤渣中加入醋酸发生反应的离子方程式： $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

【答案】C

【解析】

【详解】A. $0.5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液中存在质子守恒： $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ ，A 错误；

B. 该反应的平衡常数 $K = \frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} = \frac{c(\text{SO}_4^{2-})c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{CO}_3^{2-})c(\text{Ca}^{2+})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)} = \frac{5 \times 10^{-5}}{3 \times 10^{-9}} = \frac{5}{3} \times 10^4$ ，当浓度商 $\frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} < K$

时，反应正向进行，B 错误；

C. 上层清液为碳酸钙的保护溶液，所以清液中满足 $c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)}{c(\text{CO}_3^{2-})}$ ，由于硫酸钙沉淀转化为碳酸钙

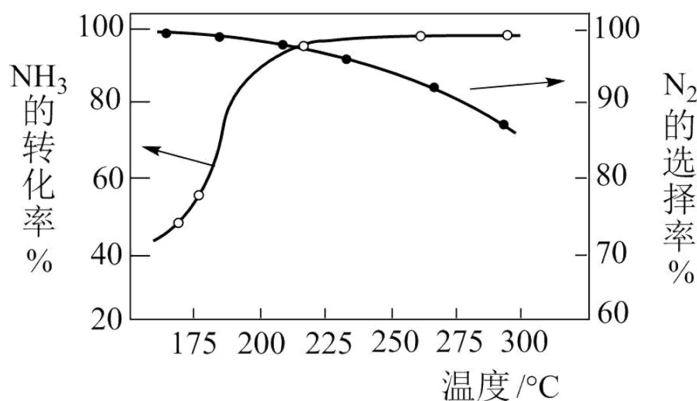
沉淀，所以清液为硫酸钙的不饱和溶液，则 $c(\text{Ca}^{2+}) \leq \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)}{c(\text{SO}_4^{2-})}$ ，C 正确；

D. 醋酸为弱酸，不能拆成离子形式，D 错误；

综上所述答案为 C。

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

【答案】D

【解析】

【详解】A. 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，根据勒夏特列原理，升高温度，平衡向逆反应方向进行，氨气的平衡转化率降低，故 A 错误；

B. 根据图像，在 175~300 °C 范围，随温度的升高， N_2 的选择率降低，即产生氮气的量减少，故 B 错误；

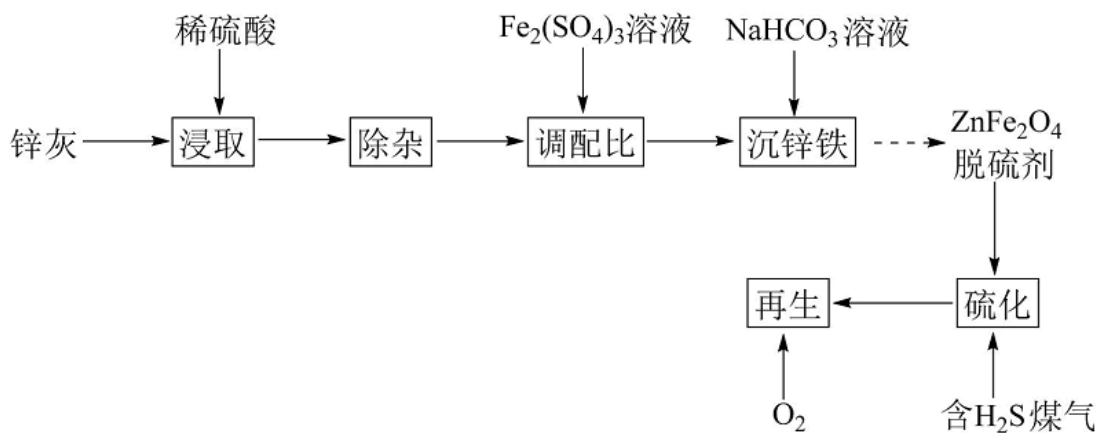
C. 根据图像，温度高于 250 °C N_2 的选择率降低，且氨气的转化率变化并不大，浪费能源，根据图像，温度应略小于 225 °C，此时氨气的转化率、氮气的选择率较大，故 C 错误；

D. 氮气对环境无污染，氮的氧化物污染环境，因此高效除去尾气中的 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，故 D 正确；

答案为 D。

二、非选择题：共 4 题，共 58 分。

15. 以锌灰(含 ZnO 及少量 PbO 、 CuO 、 Fe_2O_3 、 SiO_2)和 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 为原料制备的 ZnFe_2O_4 脱硫剂，可用于脱除煤气中的 H_2S 。脱硫剂的制备、硫化、再生过程可表示为



(1) “除杂”包括加足量锌粉、过滤加 H_2O_2 氧化等步骤。除 Pb^{2+} 和 Cu^{2+} 外，与锌粉反应的离子还有___(填化学式)。

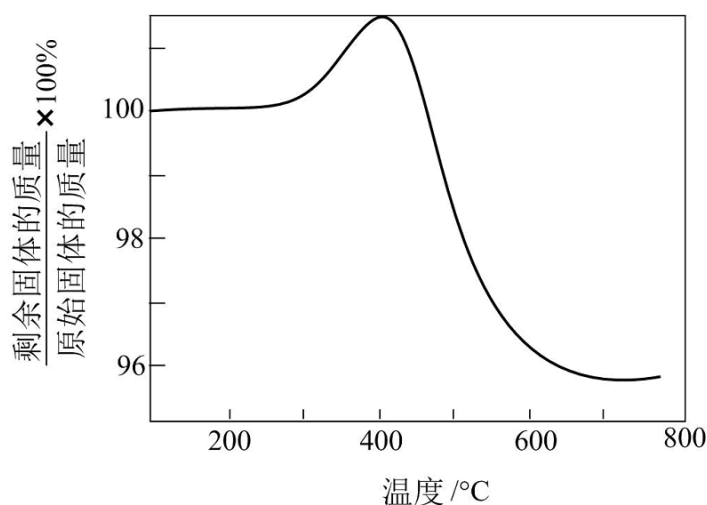
(2) “调配比”前，需测定 ZnSO_4 溶液的浓度。准确量取 2.50mL 除去 Fe^{3+} 的 ZnSO_4 溶液于 100mL 容量瓶中，加水稀释至刻度；准确量取 20.00mL 稀释后的溶液于锥形瓶中，滴加氨水调节溶液 $\text{pH}=10$ ，用 $0.0150\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ EDTA($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$)溶液滴定至终点(滴定反应为 $\text{Zn}^{2+}+\text{Y}^{4-}=\text{ZnY}^{2-}$)，平行滴定 3 次，平均消耗 EDTA 溶液 25.00mL。计算 ZnSO_4 溶液的物质的量浓度___(写出计算过程)。

(3) 400°C 时，将一定比例 H_2 、 CO 、 CO_2 和 H_2S 的混合气体以一定流速通过装有 ZnFe_2O_4 脱硫剂的硫化反应器。

①硫化过程中 ZnFe_2O_4 与 H_2 、 H_2S 反应生成 ZnS 和 FeS ，其化学方程式为___。

②硫化一段时间后，出口处检测到 COS 。研究表明 ZnS 参与了 H_2S 与 CO_2 生成 COS 的反应，反应前后 ZnS 的质量不变，该反应过程可描述为___。

(4) 将硫化后的固体在 $\text{N}_2:\text{O}_2=95:5$ (体积比)的混合气体中加热再生，固体质量随温度变化的曲线如图所示。在 $280\sim 400^\circ\text{C}$ 范围内，固体质量增加的主要原因是___。



【答案】(1) Fe^{3+} 、 H^+

(2) $0.7500\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

(3) ①. $\text{ZnFe}_2\text{O}_4+3\text{H}_2\text{S}+\text{H}_2\stackrel{400^\circ\text{C}}{=} \text{ZnS}+2\text{FeS}+4\text{H}_2\text{O}$ ②. $\text{ZnS}+\text{CO}_2=\text{ZnO}+\text{COS}$;

$\text{ZnO}+\text{H}_2\text{S}=\text{ZnS}+\text{H}_2\text{O}$

(4) ZnS 和 FeS 部分被氧化为硫酸盐

【解析】

【分析】 锌灰含 ZnO 及少量 PbO、CuO、 Fe_2O_3 、 SiO_2 ，加入稀硫酸浸取， SiO_2 和硫酸不反应，过滤出 SiO_2 ，所得溶液中含有硫酸锌、硫酸铅、硫酸铜、硫酸铁、硫酸，加足量锌粉，硫酸铜、硫酸铁、硫酸都能与锌反应，加 H_2O_2 氧化，再加入硫酸铁调节锌、铁的配比，加入碳酸氢钠沉锌铁，制得脱硫剂 ZnFe_2O_4 。

【小问 1 详解】

“除杂”加足量锌粉，硫酸铜、硫酸铁、硫酸都能与锌反应，除 Pb^{2+} 和 Cu^{2+} 外，与锌粉反应的离子还有 Fe^{3+} 、 H^+ 。

【小问 2 详解】

根据 $\text{Zn}^{2+}+\text{Y}^{4-}=\text{ZnY}^{2-}$ ，可知 20.00mL 稀释后的溶液中含 ZnSO_4 的物质的量为

$0.025\text{L}\times 0.015\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}=3.75\times 10^{-4}\text{mol}$ ； ZnSO_4 溶液的物质的量浓度为 $\frac{3.75\times 10^{-4}\text{mol}}{2.5\times 10^{-3}\times \frac{20}{100}}=0.75\text{mol/L}$ ；

【小问 3 详解】

①硫化过程中 ZnFe_2O_4 与 H_2 、 H_2S 反应生成 ZnS 和 FeS，铁元素化合价由+3 降低为+2、氢气中 H 元素化合

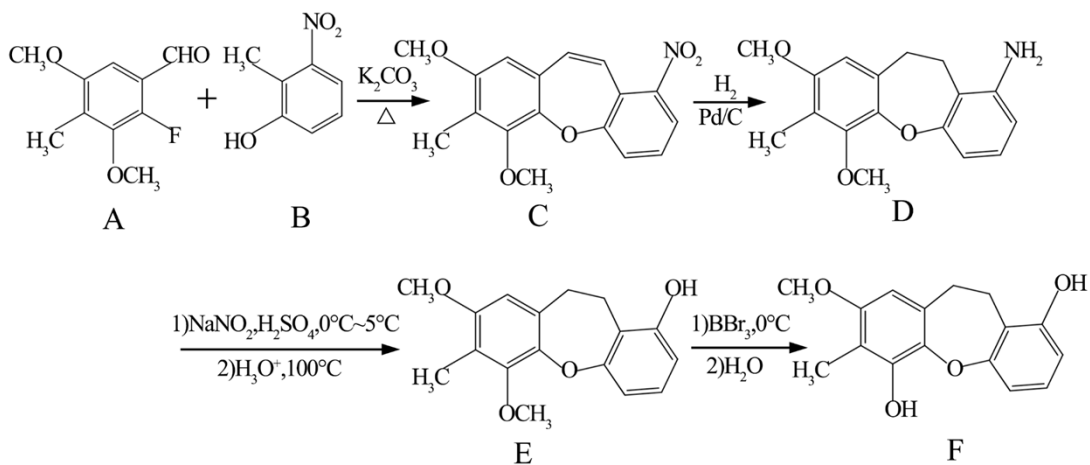
价由 0 升高为+1，根据得失电子守恒，其化学方程式为 $\text{ZnFe}_2\text{O}_4+3\text{H}_2\text{S}+\text{H}_2\stackrel{400^\circ\text{C}}{=} \text{ZnS}+2\text{FeS}+4\text{H}_2\text{O}$ ；

②硫化一段时间后，出口处检测到 COS。研究表明 ZnS 参与了 H_2S 与 CO_2 生成 COS 的反应，反应前后 ZnS 的质量不变，ZnS 为催化剂，该反应过程可描述为 $\text{ZnS}+\text{CO}_2=\text{ZnO}+\text{COS}$ ； $\text{ZnO}+\text{H}_2\text{S}=\text{ZnS}+\text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 4 详解】

在 280~400°C 范围内，ZnS 和 FeS 吸收氧气，ZnS 和 FeS 部分被氧化为硫酸盐，固体质量增加。

16. F 是一种天然产物，具有抗肿瘤等活性，其人工合成路线如图:



(1) A 分子中采取 sp^2 杂化的碳原子数目是___。

(2) B 的一种同分异构体同时满足下列条件，写出该同分异构体的结构简式:___。

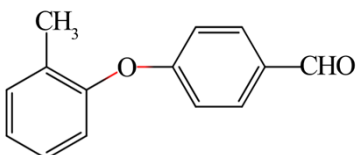
①分子中不同化学环境的氢原子个数比是 2:2:2:1。

②苯环上有 4 个取代基，且有两种含氧官能团。

(3) $A+B \rightarrow C$ 的反应需经历 $A+B \rightarrow X \rightarrow C$ 的过程，中间体 X 的分子式为 $C_{17}H_{17}NO_6$ 。X \rightarrow C 的反应类型为___。

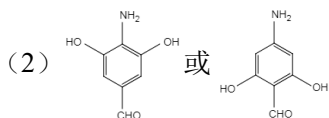
(4) E \rightarrow F 中有一种分子式为 $C_{15}H_{14}O_4$ 的副产物生成，该副产物的结构简式为___。

(5) 写出以 、 和 F-- CH_2OH 为原料制备

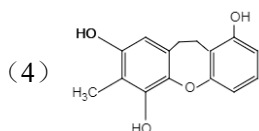
 的合成路线流程图___(无机试剂和有机溶剂任用，合成路线流程图示例见本

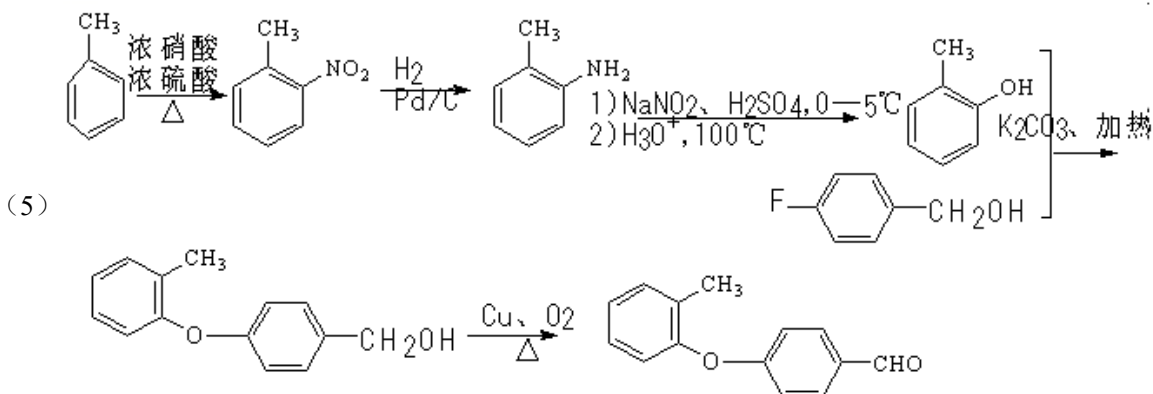
题题干)。

【答案】(1) 7



(3) 消去反应





【解析】

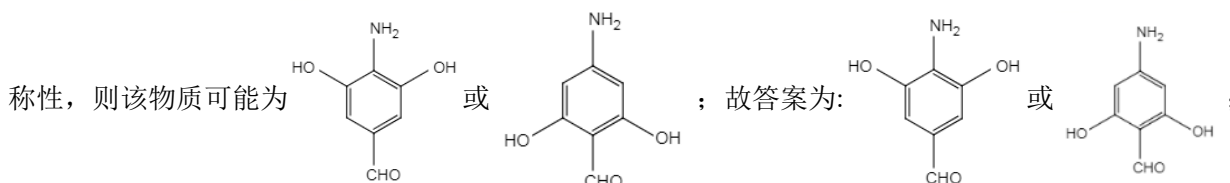
【分析】 A 和 B 在 K_2CO_3 作用、加热条件反应得到 C、HF 和 H_2O ，C 和 H_2 发生还原反应得到 D，D 发生取代反应生成 E，E 发生取代反应得到 F。

【小问 1 详解】

从成键方式看，形成双键的中心原子通常采用 sp^2 杂化，醛基和苯环中的碳原子为 sp^2 杂化，饱和 C 为 sp^3 杂化，故共有 7 个碳原子采取 sp^2 杂化；故答案为:7；

【小问 2 详解】

B 的一种同分异构体，环上有 4 个取代基，且有两种含氧官能团，根据其不饱和度可知，这两种含氧官能团为羟基和含羰基的官能团；分子中不同化学环境的氢原子个数比是 2:2:2:1，说明分子结构具有一定的对称性，则该物质可能为

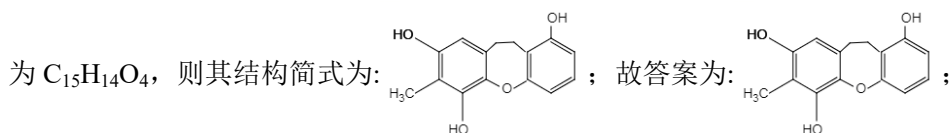


【小问 3 详解】

由题给 C 结构式可知，C 的分子式为 $C_{17}H_{15}NO_5$ ；中间体 X 的分子式为 $C_{17}H_{17}NO_6$ ；结合 C 的结构简式可知 $X \rightarrow C$ 生成碳碳双键，反应类型为消去反应；故答案为:消去反应；

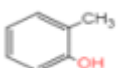

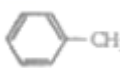
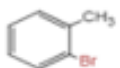
【小问 4 详解】

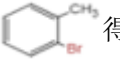
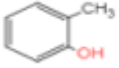
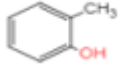
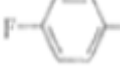

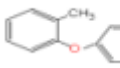
由 E 与 F 结构简式可知， $E \rightarrow F$ 为甲氧基被 -OH 取代，则可能另一个甲氧基也被 -OH 取代，副产物的分子式为 $C_{15}H_{14}O_4$ ，则其结构简式为:



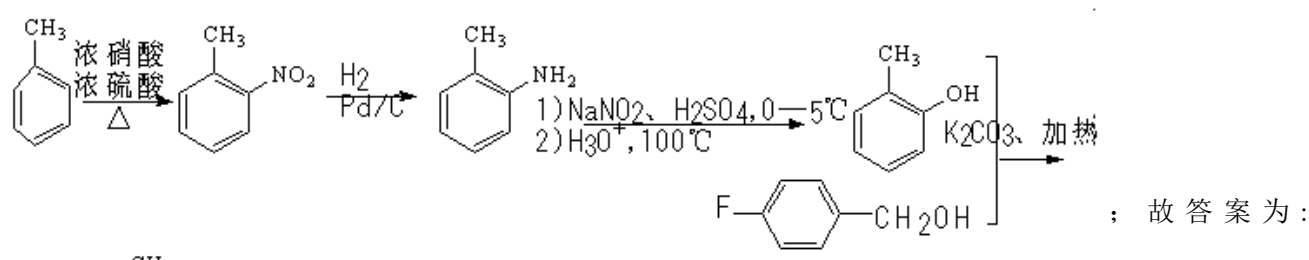
【小问 5 详解】

以 $C_6H_5-CH_3$ 和 $F-C_6H_4-CH_2OH$ 为原料制备 $C_6H_4(O-CH_2-C_6H_4-CHO)$ ，两个碳环以 -O- 连接在一起，则一定会发生

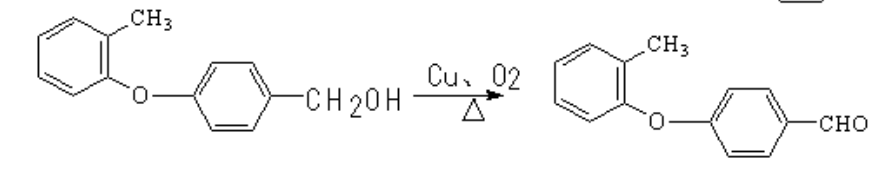
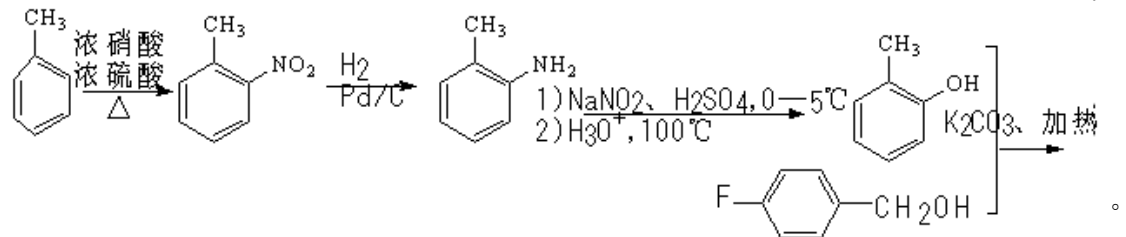
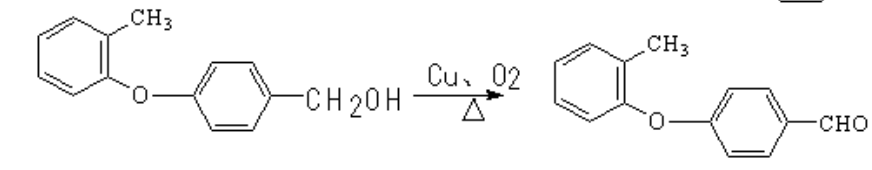
类似 $A+B \rightarrow C$ 的反应，则需要  和 ，故需要  先得到 ，

 得到 ， 和  得到 ， 催化

氧化得到 ，可设计合成路线为：



；故答案为：



17. 以软锰矿粉(含 MnO_2 及少量 Fe、Al、Si、Ca、Mg 等的氧化物)为原料制备电池级 MnO_2 。

(1) 浸取。将一定量软锰矿粉与 Na_2SO_3 、 H_2SO_4 溶液中的一种配成悬浊液，加入到三颈瓶中(图 1)， 70°C 下通过滴液漏斗缓慢滴加另一种溶液，充分反应，过滤。滴液漏斗中的溶液是___； MnO_2 转化为 Mn^{2+} 的离子方程式为___。

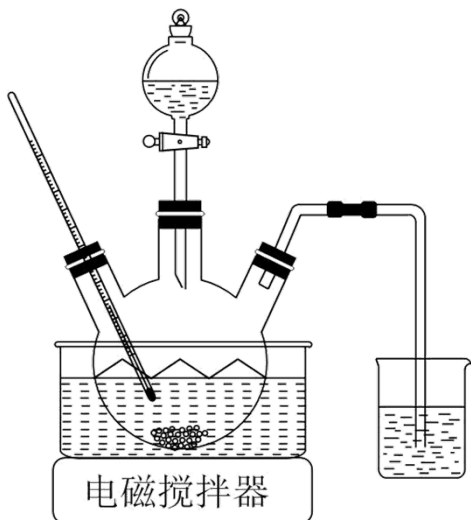


图1

(2) 除杂。向已经除去 Fe、Al、Si 的 MnSO_4 溶液(pH 约为 5)中加入 NH_4F 溶液，溶液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 形成氟化物沉淀。若沉淀后上层清液中 $c(\text{F}^-)=0.05\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，则 $\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Mg}^{2+})} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。 [$K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2)=5\times 10^{-11}$ ，

$K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2)=5\times 10^{-9}$]

(3) 制备 MnCO_3 。在搅拌下向 $100\text{mL}1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{MnSO}_4$ 溶液中缓慢滴加 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{HCO}_3$ 溶液，过滤、洗涤、干燥，得到 MnCO_3 固体。需加入 NH_4HCO_3 溶液的体积约为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

(4) 制备 MnO_2 。 MnCO_3 经热解、酸浸等步骤可制备 MnO_2 。 MnCO_3 在空气气流中热解得到三种价态锰的氧化物，锰元素所占比例($\frac{\text{某价态锰的氧化物中锰元素质量}}{\text{锰元素总质量}} \times 100\%$)随热解温度变化的曲线如图 2 所示。

已知： MnO 与酸反应生成 Mn^{2+} ； Mn_2O_3 氧化性强于 Cl_2 ，加热条件下 Mn_2O_3 在酸性溶液中转化为 MnO_2 和 Mn^{2+} 。

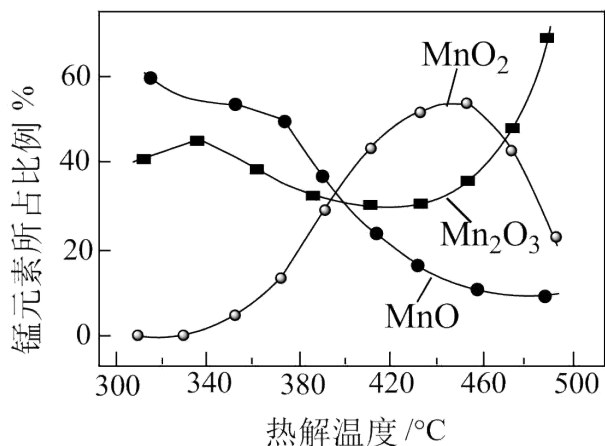


图2

为获得较高产率的 MnO_2 ，请补充实验方案：取一定量 MnCO_3 置于热解装置中，通空气气流， $\underline{\hspace{2cm}}$ ，固体干

燥，得到 MnO_2 。(可选用的试剂： $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液、 $2\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HCl}$ 溶液、 BaCl_2 溶液、 AgNO_3 溶液)。

【答案】(1) ①. H_2SO_4 溶液 ②. $\text{MnO}_2 + \text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

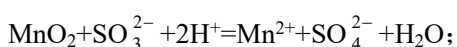
(2) 100 (3) 200mL

(4) 加热到 450°C 充分反应一段时间，将固体冷却后研成粉末，边搅拌边加入一定量 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 稀 H_2SO_4 ，加热，充分反应后过滤，洗涤，直到取最后一次洗涤滤液加盐酸酸化的 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{BaCl}_2$ 溶液不变浑浊

【解析】

【小问 1 详解】

若三颈瓶中先加入硫酸溶液，向其中滴加 Na_2SO_3 溶液则易生成 SO_2 导致 Na_2SO_3 的利用率减小，故滴液漏斗中的溶液是 H_2SO_4 溶液； MnO_2 被亚硫酸根还原为 Mn^{2+} 的离子方程式为：



【小问 2 详解】

$$\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Mg}^{2+})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2)}{K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2)} = \frac{1 \times 10^{-9}}{1 \times 10^{-11}} = 100;$$

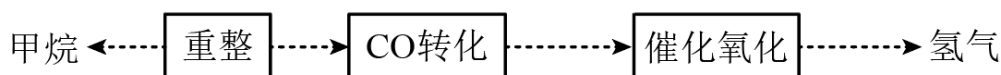
【小问 3 详解】

该反应的化学方程式 $2\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{MnSO}_4 = \text{MnCO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$ ，由方程式可知 NH_4HCO_3 与 MnSO_4 的物质的量之比为 2: 1，需加入 NH_4HCO_3 溶液的体积约为 200mL；

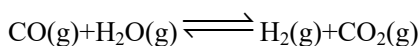
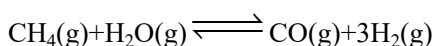
【小问 4 详解】

根据图像在 450°C 左右 MnO_2 占比最高，所以加热到 450°C 最佳， MnO 与酸反应生成 Mn^{2+} ，故用酸除 MnO ， Mn_2O_3 氧化性强于 Cl_2 ，用盐酸会发生氧化还原生产氯气。因此，该实验方案可补充为：加热到 450°C 充分反应一段时间后，将固体冷却后研成粉末，向其中边搅拌边加入一定量 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 稀 H_2SO_4 ，加热，充分反应后过滤，洗涤，直到取最后一次洗涤滤液加盐酸酸化的 $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{BaCl}_2$ 溶液不变浑浊。

18. 甲烷是重要的资源，通过下列过程可实现由甲烷到氢气的转化。

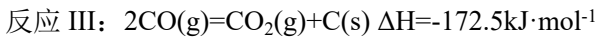
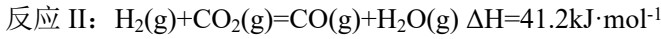
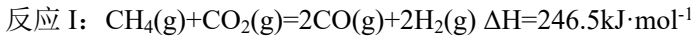


(1) 500°C 时， CH_4 与 H_2O 重整主要发生下列反应：

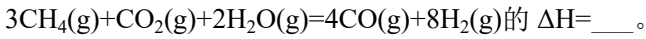


已知 $\text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) = \text{CaCO}_3(\text{s}) \Delta H = -178.8\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。向重整反应体系中加入适量多孔 CaO ，其优点是_____。

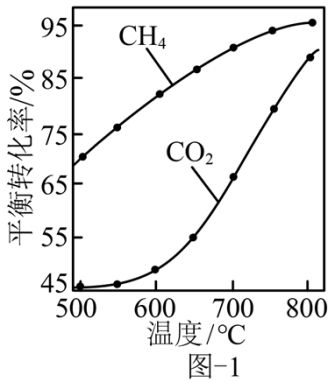
(2) CH_4 与 CO_2 重整的主要反应的热化学方程式为



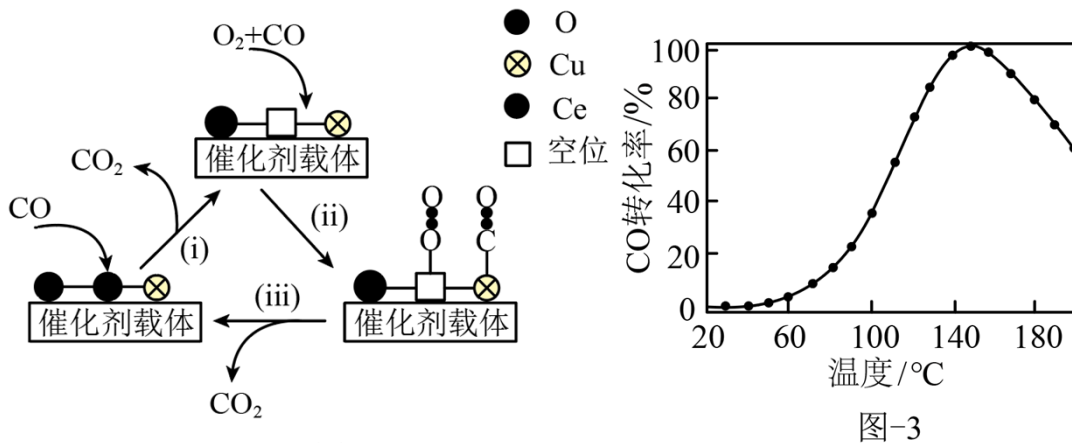
①在 CH_4 与 CO_2 重整体系中通入适量 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, 可减少 $\text{C}(\text{s})$ 的生成, 反应



② $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 下, 将 $n_{\text{起始}}(\text{CO}_2) : n_{\text{起始}}(\text{CH}_4) = 1 : 1$ 的混合气体置于密闭容器中, 不同温度下重整体系中 CH_4 和 CO_2 的平衡转化率如图 1 所示。800℃ 下 CO_2 平衡转化率远大于 600℃ 下 CO_2 平衡转化率, 其原因是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。



(3) 利用铜—铈氧化物($x\text{CuO} \cdot y\text{CeO}_2$, Ce 是活泼金属)催化氧化可除去 H_2 中少量 CO , 催化氧化过程中 Cu、Ce 的化合价均发生变化, 可能机理如图 2 所示。将 $n(\text{CO}) : n(\text{O}_2) : n(\text{H}_2) : n(\text{N}_2) = 1 : 1 : 49 : 49$ 的混合气体以一定流速通过装有 $x\text{CuO} \cdot y\text{CeO}_2$ 催化剂的反应器, CO 的转化率随温度变化的曲线如图 3 所示。



①Ce 基态原子核外电子排布式为 $[\text{Xe}]4f^15d^16s^2$, 图 2 所示机理的步骤(i)中, 元素 Cu、Ce 化合价发生的变化为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

②当催化氧化温度超过 150℃ 时, 催化剂的催化活性下降, 其可能原因是 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】 (1) 吸收 CO_2 , 提高 H_2 的产率, 提供热量

(2) ①. $657.1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ②. 反应 I 和反应 II 的 $\Delta H > 0$, 高温下反应的平衡常数大(反应正向进行程度大), CO_2 的消耗量大, 反应 III 的 $\Delta H < 0$, 高温下反应的平衡常数小(反应正向进行程度小), CO_2 的生成量

小

(3) ①. 铜的化合价由+2 变为+1 价, 铈的化合价由+4 价变为+3 价 ②. 高温下, Cu(+2 价)或 Cu(+1 价)被 H_2 还原为金属 Cu

【解析】

【小问 1 详解】

已知 $CaO(s)+CO_2(g)=CaCO_3(s)$ $\Delta H=-178.8kJ\cdot mol^{-1}$, 因此向重整反应体系中加入适量多孔 CaO 的优点是吸收 CO_2 , 使平衡正向移动, 提高 H_2 的产率, 同时提供热量。

【小问 2 详解】

①反应 I: $CH_4(g)+CO_2(g)=2CO(g)+2H_2(g)$ $\Delta H=246.5kJ\cdot mol^{-1}$

反应 II: $H_2(g)+CO_2(g)=CO(g)+H_2O(g)$ $\Delta H=41.2kJ\cdot mol^{-1}$

依据盖斯定律可知 $I\times 3-II\times 2$ 即得到反应 $3CH_4(g)+CO_2(g)+2H_2O(g)=4CO(g)+8H_2(g)$ 的 $\Delta H=657.1kJ\cdot mol^{-1}$ 。

②由于反应 I 和反应 II 的 $\Delta H>0$, 高温下反应的平衡常数大(反应正向进行程度大), CO_2 的消耗量大, 反应 III 的 $\Delta H<0$, 高温下反应的平衡常数小(反应正向进行程度小), CO_2 的生成量小, 所以 $800^\circ C$ 下 CO_2 平衡转化率远大于 $600^\circ C$ 下 CO_2 平衡转化率。

【小问 3 详解】

①图 2 所示机理的步骤(i)中 CO 结合氧元素转化为二氧化碳, 根据 Cu、Ce 两种元素的核外电子排布式可判断元素 Cu、Ce 化合价发生的变化为铜的化合价由+2 变为+1 价, 铈的化合价由+4 价变为+3 价。

②由于高温下, Cu(+2 价)或 Cu(+1 价)被 H_2 还原为金属 Cu, 所以当催化氧化温度超过 $150^\circ C$ 时, 催化剂的催化活性下降。