

2021~2022 学年第一学期期末教学质量调研

高三化学

注意事项:

- 1.答题前,考生务必在答题纸姓名栏内写上自己的姓名、考试科目、准考证号等,并用 2B 铅笔涂写在答题纸上。
- 2.每小题选出正确答案后,用 2B 铅笔把答题纸,上对应题号的答案标号涂黑。如需改动,用橡皮擦干净后,再选涂其他答案。不能答在试题卷上。
- 3.考试结束,将答题纸交回。

可能用到的相对原子质量: H-1 C-12 O-16 Na-23 S-32 K-39 Cr-52

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. 陶瓷是中华民族的重要文化遗产,以黏土(主要成分为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)为原料制备陶瓷,一般步骤为制泥、成型、干燥、烧制。下列说法正确的是
- A. 向黏土中加水,部分氧化铝转化为氢氧化铝
 - B. 陶瓷是纯净物
 - C. 烧制过程中发生了复杂的化学变化
 - D. 陶瓷属于有机高分子材料

【答案】C

【解析】

- 【详解】A. 氧化铝不与水反应生成氢氧化铝, A 错误;
B. 陶瓷是混合物, B 错误;
C. 烧制过程中发生了复杂的化学变化, C 正确;
D. 陶瓷属于无机材料, D 错误;

答案选 C。

2. 光气(COCl_2)是一种重要的有机中间体。可用反应 $\text{CHCl}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{COCl}_2\uparrow + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$ 制备光气。下列叙述不正确的是

A. CHCl_3 的名称: 三氯甲烷

B. HCl 的电子式 $\text{H}^+ \left[\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \text{Cl} \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \right]^-$

C. H_2O_2 既含有极性键又有非极性键

D. Cl^- 比 O^{2-} 原子核外多一个电子层

【答案】B

【解析】

【详解】A. 卤代烃的命名原则可知， CHCl_3 的名称为三氯甲烷，A 正确；

B. HCl 是共价化合物，故其电子式为： $\text{H}:\ddot{\text{Cl}}:$ ，B 错误；

C. H_2O_2 既含有 O-H 极性键又有 O-O 非极性键，C 正确；

D. Cl^- 核外有 3 个电子层， O^{2-} 原子核外有 2 个电子层，故 Cl^- 比 O^{2-} 核外多一个电子层，D 正确；

故答案为：B。

3. 下列有关物质的性质与用途具有对应关系的是

- A. SO_2 有还原性，可用于漂白纸浆
- B. BaSO_4 不溶于盐酸，可用于肠胃 X 射线造影检查
- C. C_2H_4 具有可燃性，可用作催熟剂
- D. FeCl_3 溶液呈酸性，可用于腐蚀电路板上的 Cu

【答案】B

【解析】

【详解】A. 漂白纸浆，利用 SO_2 的漂白性，与 SO_2 的还原性无关，故 A 错误；

B. 硫酸钡不溶于盐酸，因此可用于肠胃 X 射线造影检查，故 B 正确；

C. 乙烯具有可燃性，与乙烯作催熟剂无关，故 C 错误；

D. FeCl_3 腐蚀电路板，利用 Cu 和 Fe^{3+} 发生 $\text{Cu}+2\text{Fe}^{3+}=\text{2Fe}^{2+}+\text{Cu}^{2+}$ ，与氯化铁溶液显酸性无关，故 D 错误；

答案为 B。

4. 氨气是一种重要的化工原料，以氨为原料可以生产化肥和硝酸，在催化剂条件下，氨催化氧化生成 NO，进而继续被氧化为 NO_2 ，再与水反应生成硝酸，氨气与硝酸反应可得氮肥硝酸铵。

$4\text{NH}_3(\text{g})+5\text{O}_2(\text{g}) \quad 4\text{NO}(\text{g})+6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H=-905.8\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。工业上将含 NO_2 废气通入氢氧化钠溶液中获得 NaNO_3 和 NaNO_2 ，也可向废气中通入 NH_3 在催化剂的条件转化为无毒无害的气体排放。下列说法正确的是

- A. NH_3 转化为 NH_4^+ ，键角变大
- B. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^+$ 中含有离子键、配位键
- C. NO_2^- 空间构型为直线形
- D. 氨气易溶于水的原因是氨气分子间存在氢键

【答案】A

【解析】

【详解】A. 氨气中有孤对电子，氨气转化为铵根离子键角变大，A 正确；

B. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^+$ 中含有配位键和极性共价键, 不含离子键, B 错误;

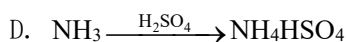
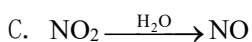
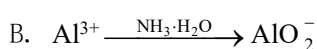
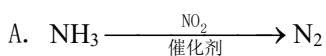
C. NO_2^- 中氮原子价层电子对数为 $2 + \frac{1}{2} \times (5 + 1 - 2 \times 2) = 3$, 含有一对孤对电子, 空间构型为 V 形, C 错误;

D. 氨气易溶于水的原因是氨气分子与水分子之间能形成氢键, D 错误;

答案选 A。

5. 氨气是一种重要的化工原料, 以氨为原料可以生产化肥和硝酸, 在催化剂条件下, 氨催化氧化生成 NO, 进而继续被氧化为 NO_2 , 再与水反应生成硝酸, 氨气与硝酸反应可得氮肥硝酸铵。

$4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -905.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。工业上将含 NO_2 废气通入氢氧化钠溶液中可获得 NaNO_3 和 NaNO_2 , 也可向废气中通入 NH_3 在催化剂的条件转化为无毒无害的气体排放。指定条件下, 下列选项物质间转化不能一步实现的是



【答案】 B

【解析】

【详解】 A. $8\text{NH}_3 + 6\text{NO}_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$, 故 $\text{NH}_3 \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{NO}_2} \text{N}_2$ 能够一步转化, A 不合题意;

B. $\text{Al}^{3+} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀不与过量的 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 反应, 故 $\text{Al}^{3+} \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} \text{AlO}_2^-$ 不能一步转化, B 符合题意;

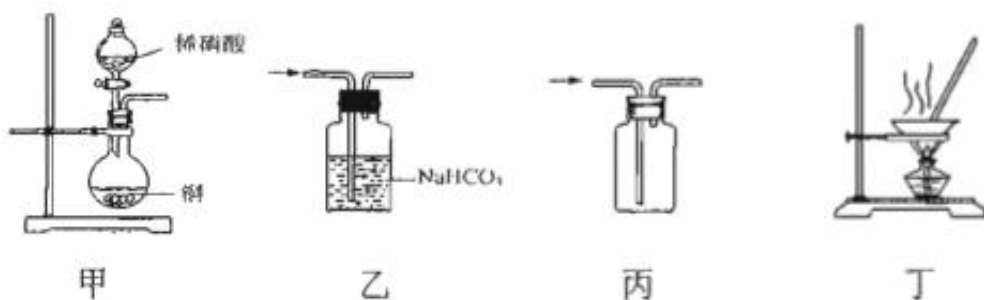
C. $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$, 故 $\text{NO}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{NO}$ 能够一步转化, C 不合题意;

D. $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{NH}_4\text{HSO}_4$, 故 $\text{NH}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{NH}_4\text{HSO}_4$ 能够一步转化, D 不合题意;

故答案为: B。

6. 氨气是一种重要的化工原料, 以氨为原料可以生产化肥和硝酸, 在催化剂条件下, 氨催化氧化生成 NO, 进而继续被氧化为 NO_2 , 再与水反应生成硝酸, 氨气与硝酸反应可得氮肥硝酸铵。

$4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -905.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。工业上将含 NO_2 废气通入氢氧化钠溶液中可获得 NaNO_3 和 NaNO_2 , 也可向废气中通入 NH_3 在催化剂的条件转化为无毒无害的气体排放。下列装置用于实验室制 NO_2 并回收硝酸铜, 能达到实验目的的是



- A. 用装置甲制取 NO_2
- B. 用装置乙除 NO_2 中的少量 HNO_3
- C. 用装置丙收集 NO_2
- D. 用装置丁蒸干 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溶液制 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 稀硝酸和铜反应生成的是一氧化氮，不能生成二氧化氮，A 错误；

B. 硝酸会和碳酸氢钠反应生成二氧化碳，引入二氧化碳杂质，B 错误；

C. 二氧化氮密度大于空气，且不和空气反应，可以用向上排空气的方法收集，C 正确；

D. 加热促进 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溶液的水解，且生成的硝酸易挥发，应采用降温结晶法制备 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，D 错误；
故选 C。

7. 氨气是一种重要的化工原料，以氨为原料可以生产化肥和硝酸，在催化剂条件下，氨催化氧化生成 NO ，进而继续被氧化为 NO_2 ，再与水反应生成硝酸，氨气与硝酸反应可得氮肥硝酸铵。

$4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -905.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。工业上将含 NO_2 废气通入氢氧化钠溶液中可获得 NaNO_3 和 NaNO_2 ，也可向废气中通入 NH_3 在催化剂的条件转化为无毒无害的气体排放。对于反应

$4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ，下列说法不正确的是

- A. 该反应在高温、低温条件下都能自发进行
- B. 催化剂的使用能改变反应的活化能但不能降低反应的焓变
- C. 分离出 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ，平衡右移，正反应速率增大
- D. 1 mol N-H 断裂的同时有 1 mol O-H 断裂说明反应到达该条件下的平衡状态

【答案】C

【解析】

【详解】A. 由题干信息可知，该反应是一个熵增的放热反应，故在高温、低温条件下都能自发进行，A 正确；

B. 催化剂的使用能改变反应的活化能从而改变反应速率，改变反应途径，根据盖斯定律可知催化剂不能降

低反应的焓变，B 正确；

C. 分离出 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ，由于生成物浓度减小，逆反应速率突然减慢，平衡右移，导致反应物浓度也减小，则正反应速率减慢，C 错误；

D. 已知反应平衡时 12mol N-H 键断裂的同时 12mol O-H 断裂，即 1mol N-H 断裂的同时有 1mol O-H 断裂说明反应到达该条件下的平衡状态，D 正确；

故答案为：C。

8. 前四周期主族元素 W、X、Y、Z 原子序数依次增大，W 与 Z 同主族、X 与 Y 同主族且 X 的核电荷数是 Y 的核电荷数的一半，W 的单质是空气中含量最多的气体。下列说法正确的是

- A. 第一电离能： $W > X > Y$
- B. 原子半径： $r(X) > r(W)$
- C. 简单气态氢化物的稳定性： $X < Y$
- D. Z 的最高价氧化物对应水化物的酸性比 W 强

【答案】A

【解析】

【分析】W 的单质是空气中含量最多的气体，W 为 N；X 与 Y 同主族且 X 的核电荷数是 Y 的核电荷数的一半，X 为 O、Y 为 S；W 与 Z 同主族、前四周期主族元素 W、X、Y、Z 原子序数依次增大，Z 为 As，因此 W、X、Y、Z 分别为 N、O、S、As。

【详解】A. 第一电离能 $\text{N} > \text{O} > \text{S}$ ，A 正确；

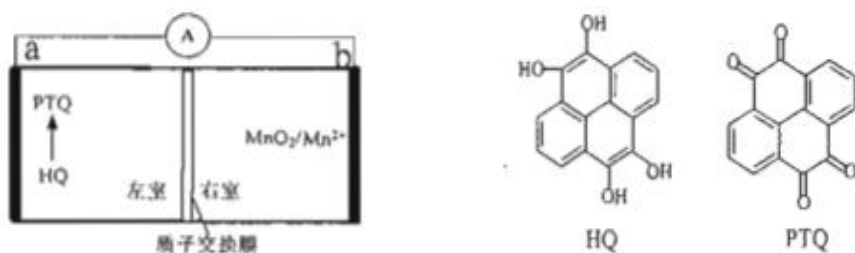
B. 原子半径： $\text{O} < \text{N}$ ，B 错误；

C. 简单气态氢化物的稳定性： $\text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{S}$ ，C 错误；

D. 非金属性越强，其最高价氧化物对应的水化物的酸性越强，非金属性 $\text{N} > \text{As}$ ，因此 As 的最高价氧化物对应水化物的酸性比 N 弱，D 错误；

答案选 A。

9. 最近我国科学家提出一种有机电极(PTQ/HQ)与无机电极($\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$)组成的二次电池，其放电时的工作原理如图所示。下列说法正确的是



- A. 放电时，a 为电池的正极

- B. 充电时，氢离子从左室移向右室
- C. 放电时，b 极反应为： $\text{Mn}^{2+}-2\text{e}^{-}+2\text{H}_2\text{O}=\text{MnO}_2+4\text{H}^{+}$
- D. 充电时，每生成 1molHQ 将转移 4mol 电子

【答案】D

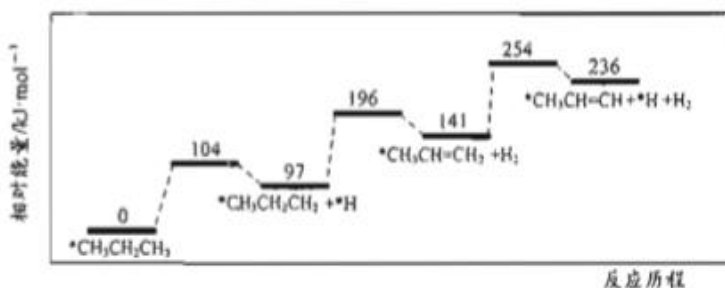
【解析】

【分析】由图可知，放电时，有机电极为负极， $\text{HQ}-4\text{e}^{-}=\text{PTQ}+4\text{H}^{+}$ ，故锰元素价态下降得电子，无机电极为正极，电极反应式为 $\text{MnO}_2+4\text{H}^{+}+2\text{e}^{-}=\text{Mn}^{2+}+2\text{H}_2\text{O}$ ，则充电时，有机电极为阴极，电极反应式为 $\text{PTQ}+4\text{H}^{+}+4\text{e}^{-}=\text{HQ}$ ，无机电极为阳极，电极反应式为 $\text{Mn}^{2+}+2\text{H}_2\text{O}-2\text{e}^{-}=\text{MnO}_2+4\text{H}^{+}$ ，据此分析答题。

- 【详解】A. 由分析可知，放电时，a 室为有机电极，为电池的负极，A 错误；
- B. 由分析可知，充电时，左侧为阴极室，右侧为阳极室，故氢离子从右侧阳极室移向左侧阴极室，B 错误；
- C. 由分析可知，放电时，b 极反应为： $\text{MnO}_2+4\text{H}^{+}+2\text{e}^{-}=\text{Mn}^{2+}+2\text{H}_2\text{O}$ ，C 错误；
- D. 由分析阴极上发生的电极反应式为 $\text{PTQ}+4\text{H}^{+}+4\text{e}^{-}=\text{HQ}$ 可知，充电时，每生成 1molHQ 将转移 4mol 电子，D 正确；

故答案为：D。

10. 丙烷脱氢是制备丙烯的一种常见方法，如图是某催化剂催化该过程的能量变化，*表示吸附在催化剂表面的物种。下列有关说法不正确的是



- A. 1mol 丙烷中的总键能小于 1mol 丙烯及 1mol 氢气的总键能之和
- B. 在该条件下，所得丙烯中还含有其他有机物
- C. 该过程中未发生碳碳键的断裂
- D. 相同条件下在该催化剂表面， $^{*}\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ 比 $^{*}\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ 脱氢更容易

【答案】A

【解析】

【详解】A. 据图可知 1mol 丙烷的总能量低于 1mol 丙烯及 1mol 氢气的总能量之和，为吸热反应，反应的 $\Delta H > 0$ ，即 $\Delta H = \text{反应物键能之和} - \text{生成物键能之和} > 0$ ，A 错误；

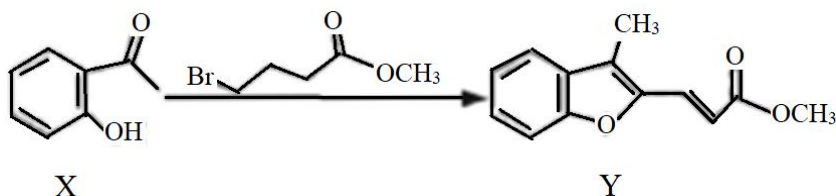
B. 据图可知生成丙烯($\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$)后，丙烯还在继续脱氢，所以所得丙烯中还含有其他有机物，B 正确；

C. 该反应过程中，碳骨架由 C-C-C 变为 C-C=C，该反应过程中未发生碳碳键的断裂，C 正确；

D. 由图可知，在该催化剂表面 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3^*$ 脱氢的活化能小于 $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2^*$ 脱氢，说明在该催化剂表面 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3^*$ 脱氢比 $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2^*$ 脱氢容易，D 正确；

综上所述答案为 A。

11. 药物异搏定合成路线中，其中的一步转化如图：



下列说法不正确的是

- A. 可用 FeCl_3 溶液检验 Y 中是否含有 X
- B. 1mol Y 中含有 1mol 碳氧 π 键
- C. X 分子中所有原子一定不在同一平面内
- D. 1mol Y 和足量 H_2 加成后的分子中有 5 个手性碳原子

【答案】D

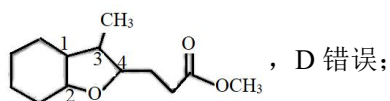
【解析】

【详解】A. 由题干信息可知，X 中含有酚羟基，Y 中不含，故可用 FeCl_3 溶液检验 Y 中是否含有 X，A 正确；

B. 由题干信息可知，1 个 Y 分子中含有 1 个碳氧双键，故 1mol Y 中含有 1mol 碳氧 π 键，B 正确；

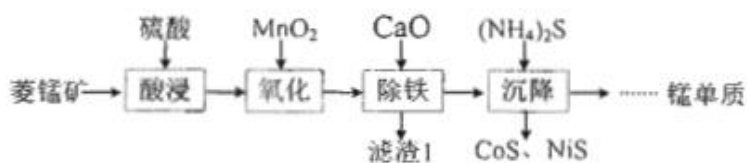
C. 由题干信息可知，X 分子中含有饱和碳，故 X 分子中所有原子一定不在同一平面内，C 正确；

D. 由题干 Y 的结构简式可知 1mol Y 和足量 H_2 加成后的分子中有 4 个手性碳原子，如图所示：



故答案为 D。

12. 现用菱锰矿(主要成分 MnCO_3 ，含有 FeCO_3 、 CoCO_3 、 NiCO_3 等碳酸盐杂质)为原料生产金属锰的工艺流程如图。下列说法正确的是



A. “酸浸”时 MnCO_3 发生反应为： $2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} = 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

B. MnO_2 氧化了 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+}

C. “沉降”后溶液中主要存在的离子： NH_4^+ 、 Mn^{2+} 、 OH^- 、 SO_4^{2-}

D. 分离 Mn^{2+} 与 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 是利用了它们硫化物 K_{sp} 的差异性

【答案】D

【解析】

【分析】菱锰矿中加入硫酸酸浸，得到离子为 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} ，根据“沉降”步骤 Co、Ni 元素都显 +2 价，因此 MnO_2 只是氧化 Fe^{2+} ，加入 CaO，调节 pH，使 Fe^{3+} 以 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 形式沉淀，“沉降”加入 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ，得到 CoS 和 NiS 沉淀，据此分析；

【详解】A. MnCO_3 难溶于水，“酸浸”时 $\text{MnCO}_3 + 2\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ，故 A 错误；

B. 根据流程图中， MnO_2 只氧化 Fe^{2+} ， Co^{2+} 、 Ni^{2+} 的化合价不变，故 B 错误；

C. OH^- 与 Mn^{2+} 、 NH_4^+ 不能大量共存，故 C 错误；

D. 加入 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 得到 CoS、NiS 沉淀， Mn^{2+} 在滤液中，利用它们硫化物 K_{sp} 的差异性进行分离，故 D 正确；
答案为 D。

13. 室温下： $K_{\text{a}1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 10^{-1.26}$ 、 $K_{\text{a}2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 10^{-4.27}$ 、 $K_{\text{sp}}(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 10^{-8.64}$ 。实验室进行多组实验测定某些酸、碱、盐性质，相关实验记录如表：

实验	实验操作和现象
1	测定 $0.10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHC}_2\text{O}_4$ 溶液的 $\text{pH}=\text{a}$
2	配制 pH 相等的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4Cl 、 NH_4HSO_4 三种溶液
3	向 $0.10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液中滴加等浓度盐酸后，混合溶液的 $\text{pH}=7$
4	向 $0.10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHC}_2\text{O}_4$ 溶液加入一定体积的等浓度 CaCl_2 溶液产生白色沉淀，测得上层清液 $\text{pH}=4$ ， $c(\text{Ca}^{2+}) = 10^{-4}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

下列所得结论正确的是

A. $\text{a} > 7$

B. 实验 2 中溶液浓度的大小关系为： $c(\text{NH}_4\text{Cl}) < c[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4] < c(\text{NH}_4\text{HSO}_4)$

C. 实验 3 混合溶液中有： $c(\text{Na}^+) = c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{Cl}^-)$

D. 实验 4 所得上层清液中的 $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) = 10^{-4.37}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

【答案】D

【解析】

【详解】A. NaHC_2O_4 溶液中存在 HC_2O_4^- 的电离和水解，其电离平衡常数为 $K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)=10^{-4.27}$ ，水解平衡

常数 $K_h = \frac{K_w}{K_{a1}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \frac{10^{-14}}{10^{-1.26}} = 10^{-12.74} < K_{a2}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ ，所以电离程度更大，溶液显酸性， $a < 7$ ，A 错误；

B. NH_4HSO_4 可以电离产生氢离子使溶液显酸性，且硫酸氢根完全电离，而 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4Cl 均是因铵根的水解而显酸性，水解是微弱的，所以 pH 相等时 NH_4HSO_4 的浓度最小， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 可以电离出两个铵根，所以其浓度小于 NH_4Cl ，则浓度的大小关系为： $c(\text{NH}_4\text{Cl}) > c[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4] > c(\text{NH}_4\text{HSO}_4)$ ，B 错误；

C. 混合溶液中存在电荷守恒： $c(\text{H}^+) + c(\text{Na}^+) = 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-)$ ，混合溶液的 pH=7，即 $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$ ，所以 $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{Cl}^-)$ ，C 错误；

D. 上层清液中 $c(\text{Ca}^{2+}) = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则 $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = \frac{10^{-8.64}}{10^{-4}} \text{ mol/L} = 10^{-4.64} \text{ mol/L}$ ，pH=4，即 $c(\text{H}^+) = 10^{-4} \text{ mol/L}$ ，

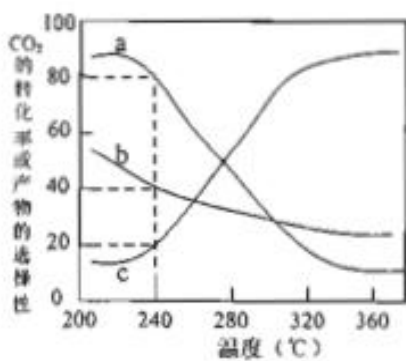
则 $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) = \frac{c(\text{H}^+)c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{K_{a2}} = \frac{10^{-4} \times 10^{-4.64}}{10^{-4.27}} \text{ mol/L} = 10^{-4.37} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，D 正确；

答案为 D。

14. 在某催化剂作用下 CO_2 和 H_2 合成甲酸仅涉及以下反应：



在 2L 刚性容器中， $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2(\text{g})$ 各投 1mol 发生反应，平衡时 CO_2 的转化率及 HCOOH 和 CO 的选择性(产物的选择性：生成的 HCOOH 或 CO 与转化的 CO_2 的比值)随温度变化如图所示。下列说法正确的是



A. $\Delta H_2 < 0$

B. 曲线 b 表示平衡时 HCOOH 的选择性

C. 240°C 时，反应 I 的平衡常数 $K = \frac{16}{9}$

D. 在 200°C~360°C 之间，温度对反应 I 的影响要小于反应 II

【答案】C

【解析】

【分析】由题干图示信息可知，根据反应 I $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{HCOOH}(\text{g}) \Delta H_1 < 0$ 可知，升高温度，平衡逆向移动，则 HCOOH 的选择性随温度的升高而减小， CO_2 的转化率随温度升高而减小，根据 240°C 时，曲线 a、c 对应的数值之和为 100%，说明这两条曲线分别代表 HCOOH 和 CO 的选择性，曲线 b 代表 CO_2 的转化率随温度的变化关系，说明 CO 的选择性随温度升高而增大，即升高温度反应 II 正向移动，故 $\Delta H_2 > 0$ ，据此分析解题。

【详解】A. 由分析可知， $\Delta H_2 > 0$ ，A 错误；

B. 由分析可知，曲线 b 表示平衡时 CO_2 的转化率，B 错误；

C. 由图示信息可知，240°C 时， CO_2 的转化率为 40%，HCOOH 的选择性为 80%，CO 的选择性为 20%，三

	$\text{CO}_2(\text{g})$	$+\text{H}_2(\text{g})$	$\text{HCOOH}(\text{g})$
起始量(mol/L)	0.5	0.5	0
转化量(mol/L)	$0.5 \times 40\% \times 80\%$	0.16	0.16
平衡量(mol/L)	0.34	0.34	0.16

	$\text{CO}_2(\text{g})$	$+\text{H}_2(\text{g})$	$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
起始量(mol/L)	0.34	0.34	0 0
转化量(mol/L)	$0.5 \times 40\% \times 20\%$	0.04	0.04 0.04
平衡量(mol/L)	0.30	0.30	0.04 0.04

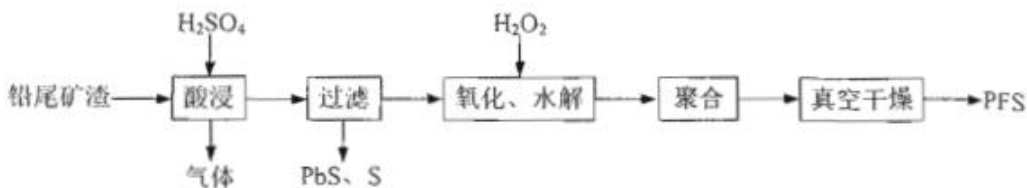
，则反应 I 的平衡常数 $K = \frac{c(\text{HCOOH})}{c(\text{CO}_2)c(\text{H}_2)} = \frac{0.16}{0.3 \times 0.3} = \frac{16}{9}$ ，C 正确；

D. 由分析可知，升高温度反应 I 平衡逆向移动，HCOOH 的选择性减小， CO_2 的转化率减小，而反应 II 平衡正向移动，CO 的选择性增大， CO_2 的转化率也增大，但图示信息为 CO_2 的转化率随温度升高而减小，说明在 200°C~360°C 之间，温度对反应 I 的影响要大于反应 II，D 错误；

故答案为：C。

二、非选择题：共 4 题，共 58 分。

15. 聚合硫酸铁(PFS)是一种优质的絮凝剂，水溶液呈棕黄色，其化学组成可表示为 $[\text{Fe}_x(\text{OH})_y(\text{SO}_4)_z]_m$ 。以铅尾矿渣(含 FeS_2 、 PbS)为原料制备聚合硫酸铁。

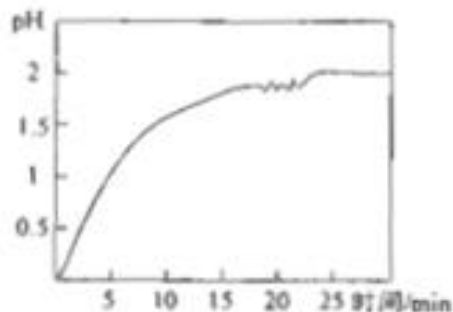


已知：①含 $\text{Fe}(\text{NO})^{2+}$ 溶液为黑色。钨酸钠可与 Ti^{3+} 生成蓝色物质“钨蓝”。

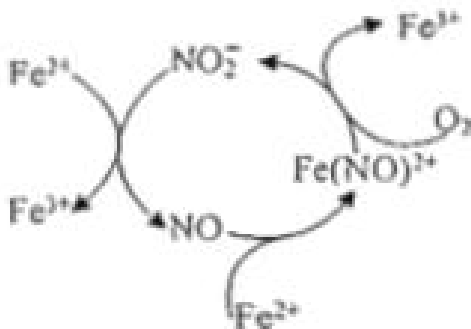
②“水解”的过程可表示为： $\text{Fe}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_x(\text{OH})_y(\text{SO}_4)_z + \text{H}^+$

(1) 写出“酸浸”过程中 FeS_2 发生反应的离子方程式_____。

(2) ①在“氧化、水解”过程中，溶液的 pH 与反应时间的关系如图所示，pH 在 20min 左右出现波动的原因是_____。



②“氧化、水解”时 H_2O_2 也可用 NaNO_2 代替，反应的机理如图所示，逐滴滴入 NaNO_2 后的反应现象为_____。



(3) 设计以下实验测定以上制备 $[\text{Fe}_x(\text{OH})_y(\text{SO}_4)_z]_m$ 中 x: y: z 的值:

步骤 1. 称取一定质量的 PFS 样品，加入 40mL 0.10mol/L HCl 和蒸馏水配成 100.00mL 溶液，分成两等份。

步骤 2. 取其中一份于锥形瓶中，加入钨酸钠指示剂，用 0.10mol/L 的 TiCl_3 溶液滴定至终点，消耗 TiCl_3 溶液 30.00mL ($\text{Fe}^{3+} + \text{Ti}^{3+} = \text{Fe}^{2+} + \text{Ti}^{4+}$)。

步骤 3. 取另一份溶液于锥形瓶中，加入足量 KF 溶液掩蔽 Fe^{3+} ，滴加几滴酚酞溶液，用 0.1mol/L 的 NaOH 溶液滴定至终点，消耗 NaOH 溶液 10.00mL。

①步骤 2 中滴定终点的现象是_____。

②试计算 $[\text{Fe}_x(\text{OH})_y(\text{SO}_4)_z]_m$ 中 x: y: z 的值_____ (写出计算过程)。

【答案】 (1) $\text{FeS}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \uparrow + \text{S}$

(2) ①. H_2O_2 氧化 Fe^{2+} 消耗 H^+ 使溶液 pH 升高，生成的 Fe^{3+} 水解产生 H^+ 使溶液的 pH 下降，两者速率的变化引起 pH 的波动 ②. 溶液由浅绿色(无色)变为黑色，后黑色褪去，如此反复，最终溶液呈棕黄色

(3) ①. 滴入最后半滴 TiCl_3 溶液，溶液由无色变为蓝色，且 30s 无变化 ②. 3: 1: 4

【解析】

【分析】“过滤”步骤得到 PbS，铅尾矿渣中 PbS 不与 H₂SO₄ 反应，“过滤”还得到 S 单质，FeS₂ 中 S 显 -1 价，Fe 元素显 +2 价，“酸浸”时得到气体，因此离子反应方程式为 $\text{FeS}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S}\uparrow + \text{S}$ ，加入 H₂O₂，将 Fe²⁺ 氧化成 Fe³⁺，据此分析；

【小问 1 详解】

根据上述分析，FeS₂ 中 -1 价硫元素在硫酸中发生歧化反应，生成 H₂S 和 S，其离子方程式为 $\text{FeS}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S}\uparrow + \text{S}$ ，故答案为 $\text{FeS}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S}\uparrow + \text{S}$ ；

【小问 2 详解】

① Fe²⁺ 与 H₂O₂ 反应： $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ ，使溶液 pH 升高，根据信息②，Fe³⁺ 水解产生 H⁺，溶液的 pH 下降，两者速率的变化引起 pH 的波动，故答案为 H₂O₂ 氧化 Fe²⁺ 消耗 H⁺ 使溶液 pH 升高，生成的 Fe³⁺ 水解产生 H⁺ 使溶液的 pH 下降，两者速率的变化引起 pH 的波动；

② 反应机理过程：Fe²⁺ 与 NO₂⁻ 反应生成 Fe³⁺ 和 NO，NO 与 Fe²⁺ 反应生成 Fe(NO)²⁺，Fe(NO)²⁺ 与氧气反应生成 NO₂⁻ 和 Fe³⁺，Fe²⁺ 显绿色，Fe(NO)²⁺ 显黑色，Fe³⁺ 显棕黄色，因此逐滴滴入 NaNO₂ 后的反应现象为溶液由浅绿色(无色)变为黑色，后黑色褪去，如此反复，最终溶液呈棕黄色；故答案为溶液由浅绿色(无色)变为黑色，后黑色褪去，如此反复，最终溶液呈棕黄色；

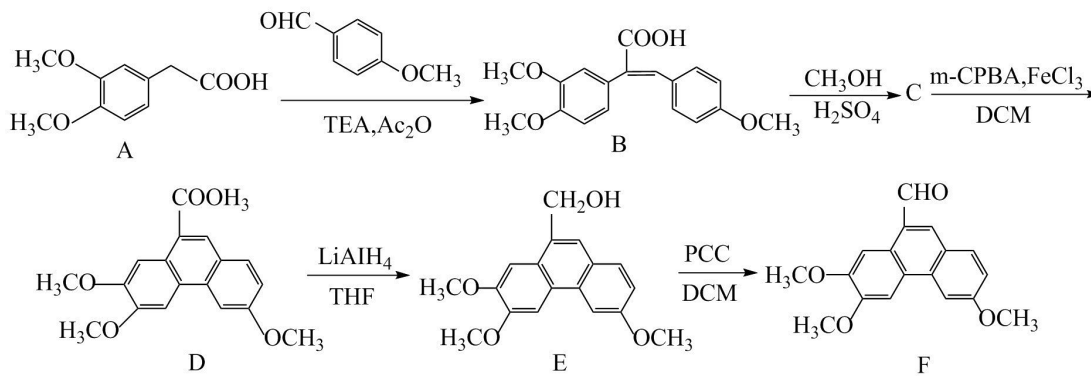
【小问 3 详解】

① 根据题意可知，步骤 2 钨酸钠作指示剂，TiCl₃ 进行滴定，滴定终点的现象是：滴入最后半滴 TiCl₃ 溶液，溶液由无色变为蓝色，且 30s 无变化；故答案为滴入最后半滴 TiCl₃ 溶液，溶液由无色变为蓝色，且 30s 无变化；

② 步骤 2：发生 $\text{Fe}^{3+} + \text{Ti}^{3+} = \text{Fe}^{2+} + \text{Ti}^{4+}$ ，推出样品中 Fe³⁺ 物质的量为 $2 \times 30\text{mL} \times 10^{-3}\text{L} \cdot \text{mL}^{-1} \times 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 6 \times 10^{-3}\text{mol}$ ，样品中 OH⁻ 物质的量为 $(40\text{mL} \times 10^{-3}\text{L} \cdot \text{mL}^{-1} \times 0.10\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} - 2 \times 10\text{mL} \times 10^{-3}\text{L} \cdot \text{mL}^{-1} \times 0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) = 2 \times 10^{-3}\text{mol}$ ，

根据电荷守恒，推出样品中 $n(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{3 \times 6 \times 10^{-3}\text{mol} - 2 \times 10^{-3}\text{mol}}{2} = 8 \times 10^{-3}\text{mol}$ ，则 x : y : z = $6 \times 10^{-3} : 2 \times 10^{-3} : 8 \times 10^{-3} = 3 : 1 : 4$ ；故答案为 3 : 1 : 4。

16. 化合物 F 可以用于治疗哮喘、支气管炎、风湿等疾病。其一种合成路线如图：



(1) 一个 A 分子中采用 sp^3 杂化方式的碳原子数目_____。

(2) $A \rightarrow B$ 经历两步反应，第二步是消去，第一步反应类型为_____。

(3) C 分子式为 $C_{19}H_{20}O_5$ ，则 C 的结构简式为_____。

(4) H 是 F 的同系物，相对分子质量比 F 小 28，请写出同时符合下列条件的 H 的一种同分异构体的结构简式：_____。

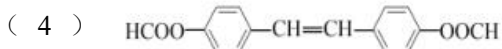
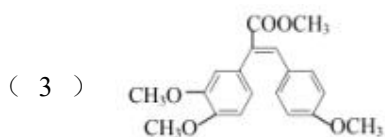
①分子中含有两个苯环；

②既能发生银镜反应又能发生水解，且水解得到的产物能与 $FeCl_3$ 溶液发生显色反应；

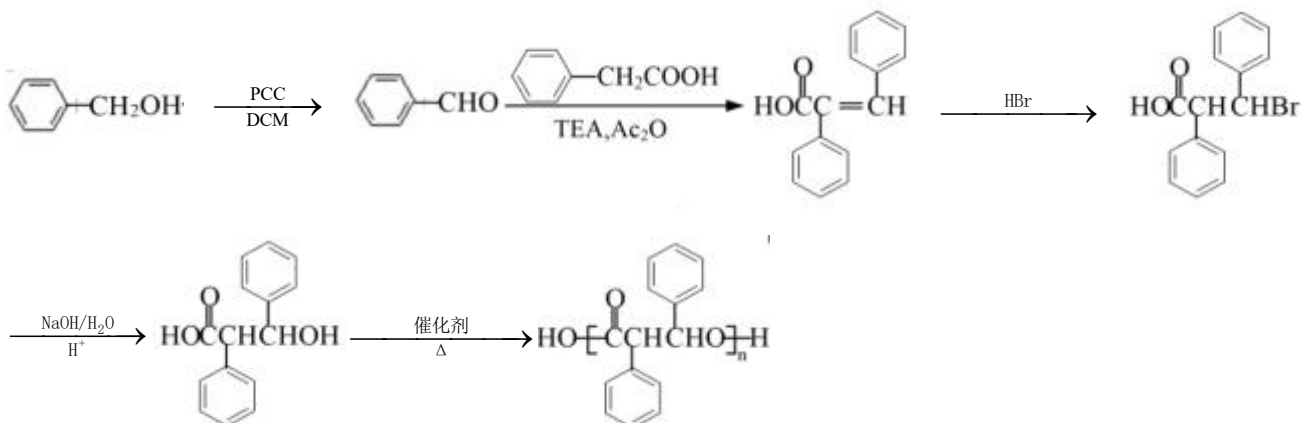
③其核磁共振氢谱有 4 组吸收峰，峰的面积比为 1: 1: 2: 2。

(5) 设计以 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$ 为原料制备 $\text{HO}[\text{C}(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CHCHO}]_n\text{H}$ 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)。

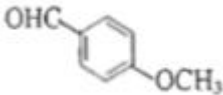
【答案】(1) 3 (2) 加成反应

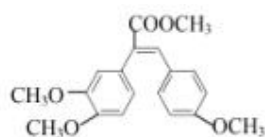


(5)



【解析】

【分析】化合物 A 分子中亚甲基-CH₂-断裂 C-H 键与  的醛基-CHO 先发生加成反应形成醇-OH，然后再发生消去反应产生 B，B 与 CH₃OH 在浓硫酸催化下加热发生酯化反应产生 C：

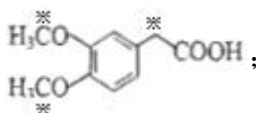


；C 在 m-COB、FeCl₃、DCM 作用下发生氧化成环反应得到 D，D 与 LiAlH₄、THF

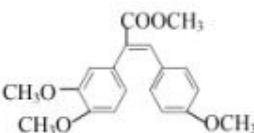
发生还原反应形成醇羟基，得到 E，E 与 PCC 在 DCM 作用下发生氧化反应形成醛基而得到物质 F。

【小问 1 详解】

根据 A 的分子结构可知：A 分子中含有 3 个饱和 C 原子，这 3 个 C 原子杂化类型是 sp³ 杂化，这三个饱和

C 原子用※号标注为 

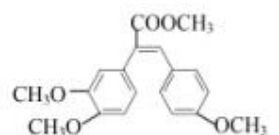
【小问 2 详解】

根据 A 的结构及生成物 C 的结构可知：A 与  先发生醛基的加成反应产生醇羟基，然

后再发生消去反应形成不饱和的碳碳双键变为 B，故第一步反应类型是加成反应，第二步反应类型是消去反应；

【小问 3 详解】

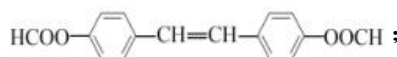
B 分子中含有-COOH，与 CH₃OH 在浓硫酸催化下加热发生酯化反应产生分子式是 C₁₉H₂₀O₅ 的 C，C 结构简

式是： 

【小问 4 详解】

H 是 F 的同系物，相对分子质量比 F 小 28，说明 H 比 F 少 2 个 CH₂ 原子团，且同时符合下列条件：①分子中含有两个苯环；

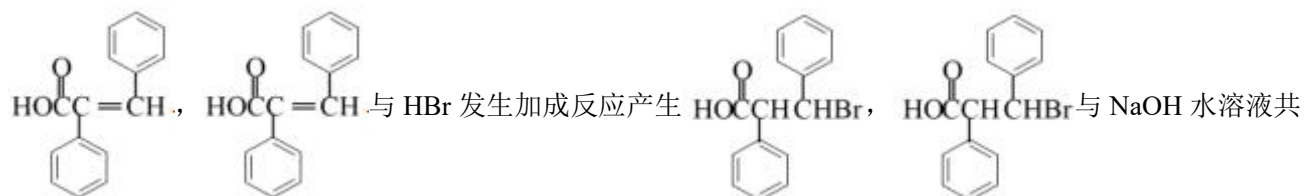
②既能发生银镜反应又能发生水解，且水解得到的产物能与 FeCl₃ 溶液发生显色反应，说明 H 分子中含有甲酸与苯酚的酚羟基形成的酯基；③其核磁共振氢谱有 4 组吸收峰，峰的面积比为 1：1：2：2，则该物质分子中含有 4 种不同位置的 H 原子，者几种不同 H 原子个数比是 1：1：2：2，因此物质 H 的结构简式可以

为 

【小问 5 详解】

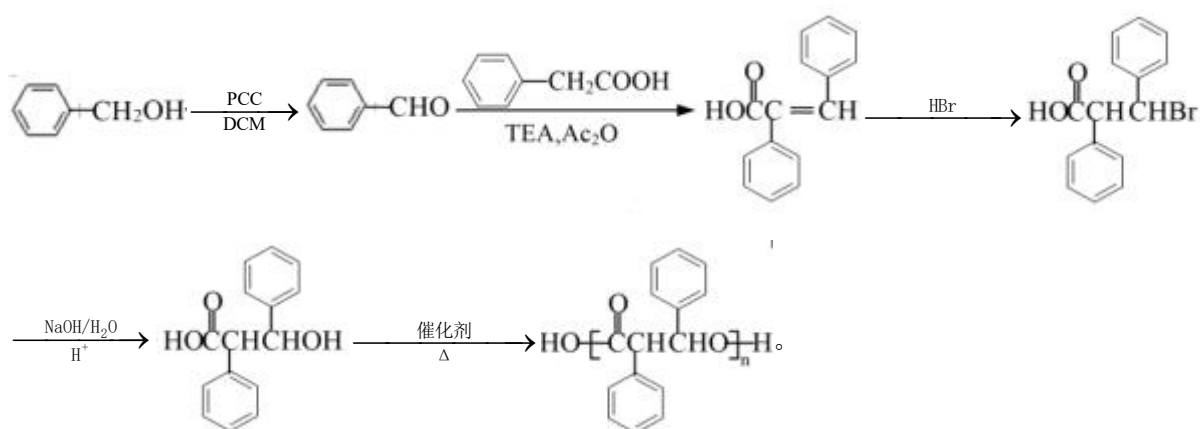
以 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$ 为原料制备 $\text{HO}[\text{C}(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CHCHO}]_n\text{H}$ ，首先是 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$ 在 PCC 及 DCM

作用下发生氧化反应产生 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$ ， $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$ 与 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$ 在 TEA、 Ac_2O 条件下反应产生



热发生取代反应，然后酸化得到 HOCCHCHOH ，该物质分子中含有 $-\text{COOH}$ 、 $-\text{OH}$ ，在一定条件下发生缩聚

反应得到高聚物 $\text{HO}[\text{C}(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CHCHO}]_n\text{H}$ ，故合成原理为：



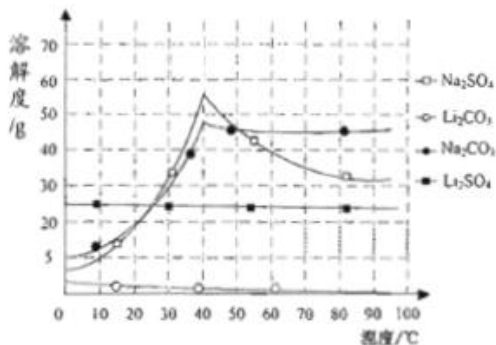
17. Li_2CO_3 可用于制备锂电池的正极材料 LiCoO_2 ，以某锂云母矿石(主要成分为 Li_2O ，还有 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 MgF_2 等杂质)制备 Li_2CO_3 。

已知：① $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]=4.0 \times 10^{-38}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Mn}(\text{OH})_2]=2 \times 10^{-13}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]=1.2 \times 10^{-11}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3]=1.0 \times 10^{-33}$ 。

② Co_3O_4 、 CoO 均难溶于水。 Co_3O_4 难溶于酸， CoO 能溶于酸中。

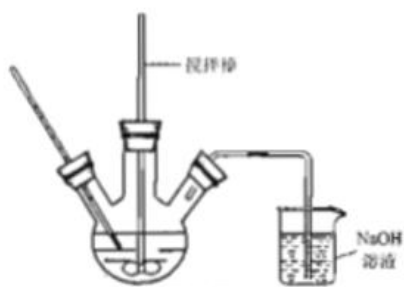
③ 当溶液中的离子浓度小于 10^{-5}mol/L 时，已完全沉淀。

④ 部分物质的溶解度曲线见图。



利用锂云母矿石制备 Li_2CO_3 步骤如下:

(1) 酸浸。向锂云母矿石中加入 30% 硫酸, 加热至 90°C , 装置如图所示。烧杯中试剂的作用是_____。

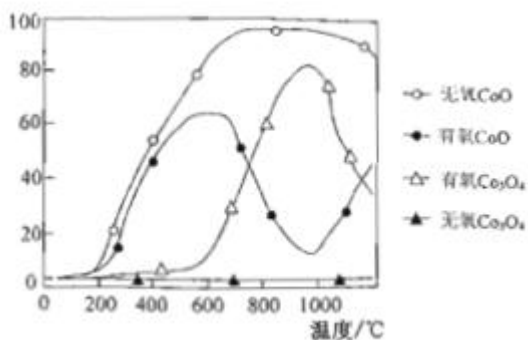


(2) 调 pH。向酸浸后的溶液中加入 NaOH 溶液, 调节 pH 约为 6, 过滤。再向滤液中继续滴加氢氧化钠溶液调 $\text{pH} > 13$, 过滤, 此时的滤渣主要成分为_____。分两次调节 pH 的主要原因是_____。

(3) 沉锂。将已经除杂的溶液蒸发浓缩, 向浓缩后的滤液中加入稍过量饱和 Na_2CO_3 溶液, 加热煮沸, 趁热过滤, 将滤渣洗涤烘干, 得 Li_2CO_3 固体。浓缩液中离子浓度过大将在产品中引入_____杂质(填化学式)。

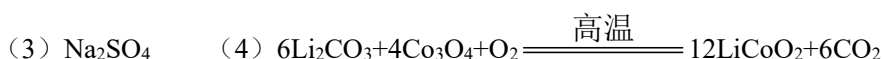
(4) Li_2CO_3 和 Co_3O_4 混合后, 在空气中高温加热可以制备锂电池的正极材料 LiCoO_2 , 写出反应方程式:_____。

(5) Co_3O_4 可由 CoCO_3 热分解制备。 CoCO_3 在有氧和无氧环境下的所得 Co_3O_4 和 CoO 的百分含量与温度关系如图所示。请补充完整由 CoCO_3 制备较纯净的 Co_3O_4 实验方案, 取一定质量的 CoCO_3 于热解装置中, _____, 干燥。(须使用的试剂和仪器有: $1\text{mol/LH}_2\text{SO}_4$, 蒸馏水, BaCl_2 溶液)



【答案】 (1) 吸收 HF, 防止污染空气

(2) ①. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ②. 防止铝元素转化为 AlO_2^- , 无法去除



(5) 在空气中加热固体(加热时鼓入氧气), 温度在 $900\sim 1000^\circ\text{C}$ 保持一段时间, 取出固体, 冷却。向固体中边搅拌、边加入 $1\text{mol/LH}_2\text{SO}_4$ 至固体不再减少, 过滤, 用蒸馏水洗涤滤渣至最后一次洗涤液加 BaCl_2 溶液无明显现象

【解析】

【分析】 本工艺流程题为利用锂云母矿石制备 Li_2CO_3 的操作, “酸浸” 时向锂云母矿石中加入 30% 硫酸, 加热至 90°C , 发生的反应有: $\text{Li}_2\text{O}+\text{H}_2\text{SO}_4=\text{Li}_2\text{SO}_4+\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3+3\text{H}_2\text{SO}_4=\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3+3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+3\text{H}_2\text{SO}_4=\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3+3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MnO}+\text{H}_2\text{SO}_4=\text{MnSO}_4+\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MgF}_2+\text{H}_2\text{SO}_4=\text{MgSO}_4+2\text{HF}$, 先调节 pH 为 6 让 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 完全沉淀, 过滤出 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$, 将滤液的 pH 继续调节 pH 值为 12, 析出 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ 沉淀, 过滤得到较纯净的 Li_2SO_4 溶液, 加入饱和 Na_2CO_3 溶液, 则发生反应 $\text{Li}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{CO}_3=\text{Li}_2\text{CO}_3\downarrow+\text{Na}_2\text{SO}_4$, 过滤洗涤干燥得到纯净的 Li_2CO_3 , 据此分析解题。

【小问 1 详解】

由分析可知, “酸浸” 是向锂云母矿石中加入 30% 硫酸, 加热至 90°C , 发生的反应: $\text{MgF}_2+\text{H}_2\text{SO}_4=\text{MgSO}_4+2\text{HF}$, HF 是一种能挥发, 且有毒的酸性物质, 烧杯中试剂的作用是吸收 HF, 防止污染空气, 故答案为: 吸收 HF, 防止污染空气;

【小问 2 详解】

由题干信息可知: $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]=4.0\times 10^{-38}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Mn}(\text{OH})_2]=2\times 10^{-13}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]=1.2\times 10^{-11}$ 、

$K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3]=1.0\times 10^{-33}$, 则当 pH 为 6 时, $c(\text{Fe}^{3+})=\frac{4.0\times 10^{-38}}{(10^{-8})^3}=4.0\times 10^{-14}\text{mol/L}$,

$c(\text{Al}^{3+})=\frac{1.0\times 10^{-33}}{(10^{-8})^3}=1.0\times 10^{-9}\text{mol/L}$, $c(\text{Mn}^{2+})=\frac{2.0\times 10^{-13}}{(10^{-8})^2}=2.0\times 10^{-3}\text{mol/L}$, $c(\text{Mg}^{2+})=\frac{1.2\times 10^{-11}}{(10^{-8})^2}=1.2\times 10^{-5}\text{mol/L}$,

说明此时 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 已经完全沉淀, 而 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 还未开始沉淀, 继续调节 $\text{pH}>13$, 则此时 $c(\text{Mn}^{2+})<$

$\frac{2.0\times 10^{-13}}{(10^{-1})^2}=2.0\times 10^{-11}\text{mol/L}$, $c(\text{Mg}^{2+})<\frac{1.2\times 10^{-11}}{(10^{-1})^2}=1.2\times 10^{-9}\text{mol/L}$, 即 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 沉淀完全, 此时沉淀为

$\text{Mn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 由于 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 能溶于强碱溶液中, 转化为 AlO_2^- 引入新的杂质, 很难除去, 故答案为:

$\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mn}(\text{OH})_2$; 防止铝元素转化为 AlO_2^- , 无法去除;

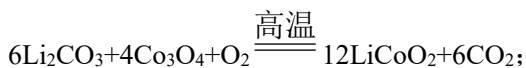
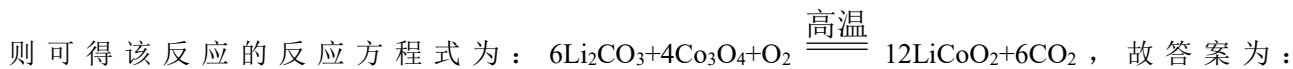
【小问 3 详解】

由分析可知, “沉锂” 步骤中发生的反应为: $\text{Li}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{CO}_3=\text{Li}_2\text{CO}_3\downarrow+\text{Na}_2\text{SO}_4$, 由题干溶解度随温度变化的关系图可知, 温度高于 40°C 时, Na_2SO_4 的溶解度随温度升高而减小, 且温度高于 50°C 时, Na_2SO_4 的溶

解度小于 Na_2CO_3 的溶解度，故浓缩液中离子浓度过大将在产品中引入 Na_2SO_4 杂质，故答案为： Na_2SO_4 ；

【小问 4 详解】

Li_2CO_3 和 Co_3O_4 混合后，在空气中高温加热可以制备锂电池的正极材料 LiCoO_2 ，根据氧化还原反应配平原则可得该反应的方程式为：



【小问 5 详解】

从题干信息中 CoCO_3 在有氧和无氧环境下的所得 Co_3O_4 和 CoO 的百分含量与温度关系图示信息可知，有氧比无氧环境下 Co_3O_4 的百分含量要高得多，故选择在有氧环境中进行，结合题干信息② Co_3O_4 、 CoO 均难溶于水。 Co_3O_4 难溶于酸， CoO 能溶于酸中，则尽量使 CoO 百分含量越低越好，故选择温度为 $900^\circ\text{C}\sim 1000^\circ\text{C}$ 下进行，最后用 H_2SO_4 除去 CoO ，过滤洗涤，并检验洗涤干净后干燥得到较纯净的 Co_3O_4 ，故由 CoCO_3 制备较纯净的 Co_3O_4 实验方案：取一定质量的 CoCO_3 于热解装置中，在空气中加热固体(加热时鼓入氧气)，温度在 $900\sim 1000^\circ\text{C}$ 保持一段时间，取出固体，冷却。向固体中边搅拌、边加入 $1\text{mol/LH}_2\text{SO}_4$ 至固体不再减少，过滤，用蒸馏水洗涤滤渣至最后一次洗涤液加 BaCl_2 溶液无明显现象，干燥，故答案为：在空气中加热固体(加热时鼓入氧气)，温度在 $900\sim 1000^\circ\text{C}$ 保持一段时间，取出固体，冷却。向固体中边搅拌、边加入 $1\text{mol/LH}_2\text{SO}_4$ 至固体不再减少，过滤，用蒸馏水洗涤滤渣至最后一次洗涤液加 BaCl_2 溶液无明显现象。

18. 利用纳米铁粉及生物技术除去废水中的氮是当今环保领域重要的研究课题。

(1) 已知：i 纳米铁粉还原含氧(O_2)硝态(NO_3^-)废水的反应过程如图所示：



ii 紫外光光度计可用于测定溶液中 NO_3^- 浓度

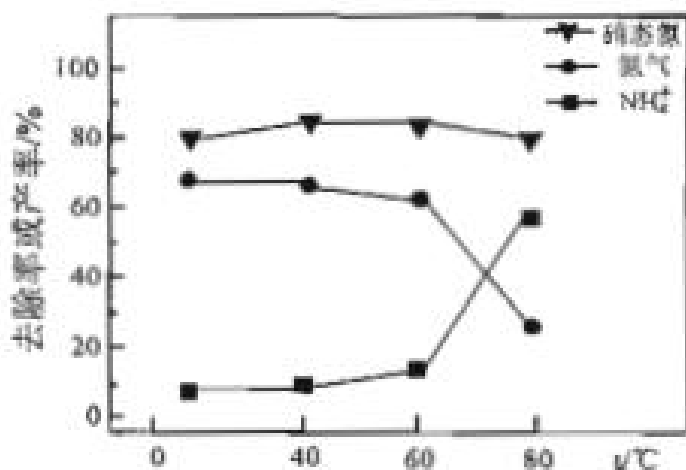
①液相还原法制备纳米铁粉：采用硼氢化物如 KBH_4 、 NaBH_4 等与铁离子(Fe^{2+} 、 Fe^{3+})混合反应。 NaBH_4 (B 为+3 价， $\text{pH}=8.6$)溶液还原 Fe^{2+} ，除生成等物质的量的纳米铁粉和一种气体外，还生成 $\text{B}(\text{OH})_3$ 。写出该反应的离子方程式_____。

②验证硝态废水中的氧气有助于提高硝态氮(NO_3^-)去除速率的实验方法是_____。

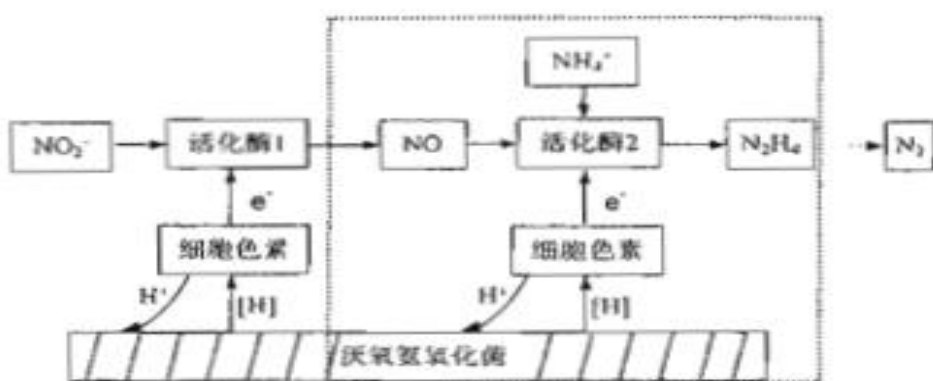
③在纳米铁粉中添加适量的活性炭，能提高单位时间硝态氮去除率的原因是_____。

(2) Fe^{2+} 能提高厌氧氨氧化菌生物活性，加快生物转化硝态氮生成氮气的速率。某科研小组利用厌氧氨氧化菌与纳米铁粉相结合的方法去除废水中的硝态氮。保持其他条件相同，在不同的温度下进行脱硝，测定

废水中硝态氮的去除率与含氮产物的产率如图所示。与 60℃ 相比，80℃ 时产物产率变化的原因是_____。



(3) 厌氧氨氧化菌将 NO_2^- 转化为 N_2 的可能机理如图所示，其中虚线框中物质转化过程可描述为_____。



【答案】(1) ①. $2\text{Fe}^{2+} + \text{BH}_4^- + 3\text{OH}^- = 2\text{Fe}\downarrow + 2\text{B}(\text{OH})_3 + 2\text{H}_2\uparrow$ ②. 取含氧硝态废水平均分成两份，一份

加热至沸腾除去氧气后冷却至室温(向其中一份溶液中通入足量氮气除去其中溶解氧)，然后向两份溶液中加入等量的纳米铁粉，反应相同时间后用紫外光光度计检测两份溶液中剩余的 NO_3^- 浓度 ③. 纳米铁粉和活性炭形成原电池，亚铁离子生成速率加快，快去除废水中硝态氮的速率；活性炭吸附了硝态氮

(2) 在 80℃ 时厌氧氨氧化菌失去生理活性，纳米铁粉将硝态氮直接还原为 NH_4^+ 为主要反应

(3) 厌氧氨氧化菌提供的活性[H]，在细胞色素中转化为 H^+ ，同时将电子转移至活化酶 2 中与 NO 、 NH_4^+ (在活化酶 2 中) 反应生成 N_2H_4 。(或厌氧氨氧化菌将活性[H]转移至细胞色素中，[H]在细胞色素转化为 H^+ 同时将电子转移至活化酶 2 中，与 NO 、 NH_4^+ 在活化酶 2 中反应生成 N_2H_4)

【解析】

【小问 1 详解】

① NaBH_4 (B 为 +3 价， $\text{pH}=8.6$) 溶液还原 Fe^{2+} ，生成等物质的量的铁粉和一种气体、 $\text{B}(\text{OH})_3$ ，根据元素守恒可

知气体为氢气，该反应的离子方程式为 $2\text{Fe}^{2+} + \text{BH}_4^- + 3\text{OH}^- = 2\text{Fe}\downarrow + 2\text{B}(\text{OH})_3 + 2\text{H}_2\uparrow$ 。

②已知，紫外光光度计可用于测定溶液中 NO_3^- 浓度；验证硝态废水中的氧气有助于提高硝态氮(NO_3^-)去除速率，则需要做对照实验，实验控制变量为氧气；故实验方法是：取含氧硝态废水平均分成两份，一份加热至沸腾除去氧气后冷却至室温(向其中一份溶液中通入足量氮气除去其中溶解氧)，然后向两份溶液中加入等量的纳米铁粉，反应相同时间后用紫外光光度计检测两份溶液中剩余的 NO_3^- 浓度。

③活性炭具有吸附性，且可以做原电池的惰性电极；在纳米铁粉中添加适量的活性炭，能提高单位时间硝态氮去除率的原因是纳米铁粉和活性炭形成原电池，亚铁离子生成速率加快，快去除废水中硝态氮的速率；活性炭吸附了硝态氮。

【小问 2 详解】

由图可知，与 60°C 相比 80°C 时铵根离子去除率变大、氮气产率下降；原因是温度升高，在 80°C 时厌氧氨氧化菌失去生理活性，纳米铁粉将硝态氮直接还原为 NH_4^+ 为主要反应。

【小问 3 详解】

由图可知，虚线框中物质转化过程可描述为厌氧氨氧化菌提供的活性[H]，在细胞色素中转化为 H^+ ，同时释放出电子并将电子转移至活化酶 2 中与 NO 、 NH_4^+ (在活化酶 2 中)反应生成 N_2H_4 。(或厌氧氨氧化菌将活性[H]转移至细胞色素中，[H]在细胞色素转化为 H^+ 同时将电子转移至活化酶 2 中，与 NO 、 NH_4^+ 在活化酶 2 中反应生成 N_2H_4)。

