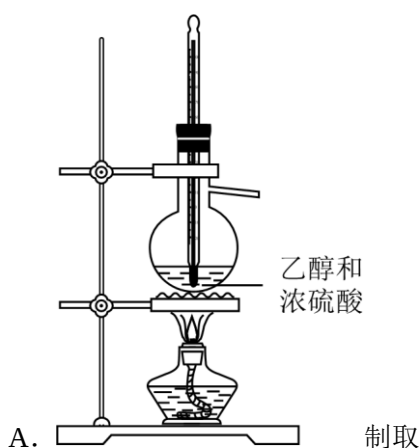
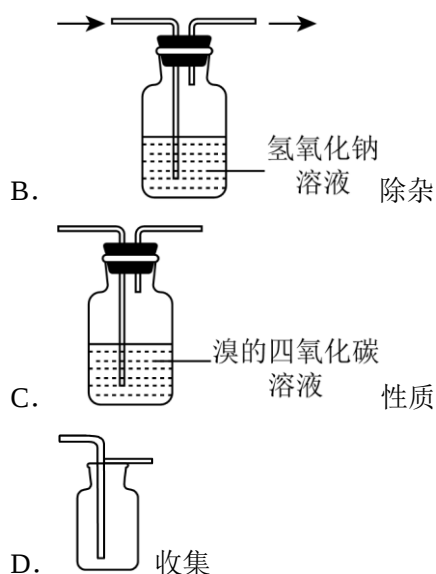


2022-2023 学年江苏省无锡市江阴市高三（上）期末化学试卷

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

- （3 分）化学促进了科技进步和社会发展，下列叙述中不涉及化学变化的是（ ）
 - 《神农本草经》中记载“石胆能化铁为铜”
 - 北京冬奥会场馆使用 CO_2 跨临界直冷制冰
 - 科学家成功将 CO_2 转化为淀粉或葡萄糖
 - 用四氟乙烯制备医用防护服材料微孔聚四氟乙烯
- （3 分）用 NaClO 氧化 NH_3 可制备火箭推进剂的燃料 N_2H_4 。下列说法正确的是（ ）
 - NH_3 是非极性分子
 - NaClO 仅含离子键
 - N_2H_4 中 N 元素的化合价为 -2
 - 中子数为 8 的氮原子可表示为 ${}^8_7\text{N}$
- （3 分）黑火药主要成分是硫磺、硝酸钾和木炭，能发生剧烈的氧化还原反应。下列说法正确的是（ ）
 - 半径大小： $r(\text{S}^{2-}) < r(\text{K}^+)$
 - 电负性大小： $x(\text{N}) < x(\text{O})$
 - 电离能大小： $I_1(\text{O}) < I_1(\text{C})$
 - 气态氢化物稳定性： $\text{H}_2\text{O} < \text{H}_2\text{S}$
- （3 分）用下列装置依次进行乙烯的制取、除杂、性质检验和气体收集，其中不能实现相应实验目的的是（ ）





阅读下列材料，完成 5~7 题：

氯及其化合物应用广泛。氯的单质 Cl_2 可由 MnO_2 与浓盐酸共热得到， Cl_2 能氧化 Br^- ，可从海水中提取 Br_2 ；氯的氧化物 ClO_2 可用于自来水消毒， ClO_2 是一种黄绿色气体，易溶于水，与碱反应会生成 ClO_2^- 与 ClO_3^- ，在稀硫酸和 NaClO_3 的混合溶液中通入 SO_2 气体可制得 ClO_2 ；漂白液和漂白粉的有效成分是次氯酸盐，可作棉、麻的漂白剂。

5. 下列有关物质的性质与用途具有对应关系的是（ ）

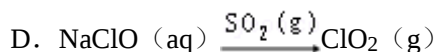
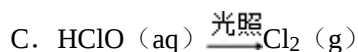
- A. MnO_2 有氧化性，可用于实验室制氯气
- B. ClO_2 易溶于水，可用于自来水消毒
- C. HClO 不稳定，可用于棉、麻漂白
- D. Cl_2 有还原性，可用于从海水中提取溴

6. 下列关于 Cl^- 、 ClO_2 、 ClO_2^- 和 ClO_3^- 的说法不正确的是（ ）

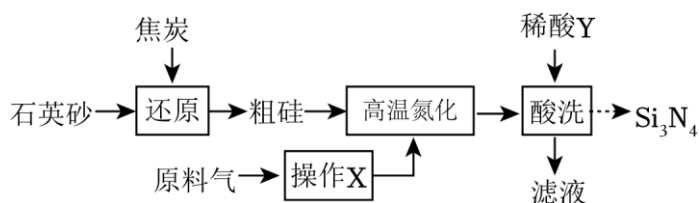
- A. Cl^- 提供孤电子对与 Cu^{2+} 可形成 $[\text{CuCl}_4]^{2-}$
- B. ClO_2 属于共价化合物
- C. ClO_3^- 的空间结构为三角锥
- D. ClO_2^- 的键角比 ClO_3^- 的键角大

7. 在给定条件下，下列物质间转化能实现的是（ ）

- A. $\text{ClO}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{NaOH}(\text{aq})} \text{NaClO}_2(\text{aq})$
- B. $\text{Cl}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{点燃}} \text{FeCl}_2(\text{s})$

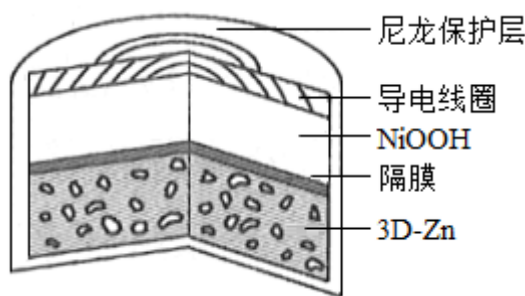


8. (3分) 氮化硅(Si_3N_4)是一种重要的结构陶瓷材料。用石英砂和原料气(含 N_2 和少量 O_2)制备 Si_3N_4 的操作流程如图(粗硅中含少量 Fe、Cu 的单质及化合物):



下列叙述正确的是 ()

- A. “还原”时反应的方程式为 $\text{SiO}_2 + \text{C} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si} + \text{CO}_2$
- B. “高温氮化”合成反应中 N_2 是还原剂
- C. “操作 X”可将原料气通过灼热的铜粉
- D. “稀酸 Y”选用稀硫酸除去产物中的杂质
9. (3分) 为提升电池循环效率和稳定性,科学家近期利用三维多孔海绵状 Zn (3D - Zn) 可以高效沉积 ZnO 的特点,设计了采用强碱性电解质的 3D - Zn - NiOOH 二次电池,结构如题 10 图所示。电池反应为 $\text{Zn} + 2\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} \text{ZnO} + 2\text{Ni}(\text{OH})_2$ 。下列说法错误的是 ()



- A. 放电过程中 OH^- 通过隔膜从负极区移向正极区
- B. 充电时阳极反应为 $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- - \text{e}^- = \text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O}$
- C. 放电时负极反应为 $\text{Zn} + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$
- D. 三维多孔海绵状 Zn 具有较高的表面积,所沉积的 ZnO 分散度高
10. (3分) 室温下进行下列实验,根据实验操作和现象所得出的结论正确的是 ()

选项	实验操作和现象	结论
A	向溶有 SO_2 的 BaCl_2 溶液中通入气体 X, 出现白	气体 X 一定具有强氧化性

	色沉淀	
B	某溶液中加入硝酸酸化的 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液，无现象，再滴加 AgNO_3 溶液，有白色沉淀生成	溶液中一定含有 Cl^-
C	向 Na_2CO_3 溶液中加入盐酸，将产生的气体直接通入硅酸钠溶液中，产生白色胶状沉淀	酸性：盐酸 > 碳酸 > 硅酸
D	向盛有 5 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$ 溶液的试管中滴入几滴等浓度的 NaCl 溶液，产生白色沉淀，继续滴加几滴 NaI 溶液，有黄色沉淀产生	$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$

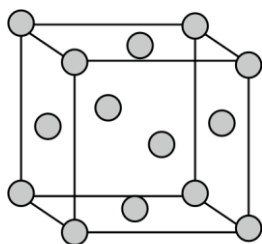
A. A

B. B

C. C

D. D

11. (3 分) 银氨溶液可用于检验葡萄糖，实验如下：

 步骤 1: 向试管中加入 1mL 2% AgNO_3 溶液，边振荡边滴加 2% 氨水，观察到有白色沉淀产生并迅速转化


为灰褐色。 银晶胞示意图

步骤 2: 向试管中继续滴加 2% 氨水，观察到沉淀完全溶解。

 步骤 3: 再向试管中加入 1mL 10% 葡萄糖溶液，振荡，在 $60 \sim 70^\circ\text{C}$ 水浴中加热，观察到试管内壁形成了光亮银镜。

下列说法不正确的是 ()

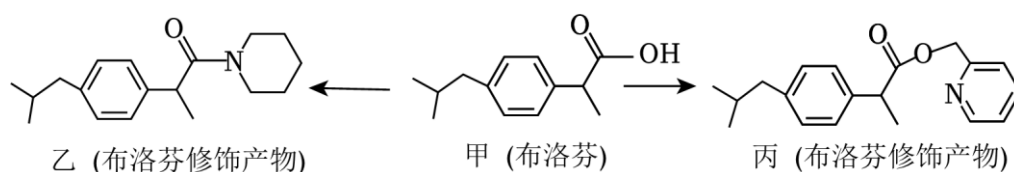
 A. 步骤 1 中观察到的白色沉淀为 AgOH

 B. 步骤 2 所得溶液中大量存在的离子: Ag^+ 、 NH_4^+ 、 NO_3^-

C. 步骤 3 中产生银镜说明葡萄糖具有还原性

 D. 图中所示银的晶胞中 Ag 原子周围等距且紧邻的 Ag 原子有 12 个

12. (3 分) 分子结构修饰在药物设计与合成中有广泛应用，布洛芬具有抗炎、镇痛解热的作用，但直接服用对胃、肠道有刺激性，可以对该分子进行如图所示的分子修饰。

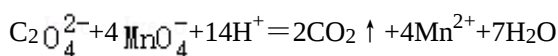


下列有关说法不正确的是（ ）

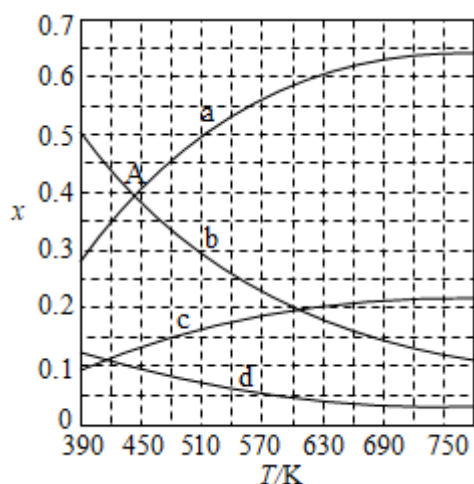
- A. 甲分子最多有 10 个碳原子共平面
- B. 1mol 乙分子中 σ 键的数目为 48mol
- C. 以上三个分子都只有 1 个手性碳原子
- D. 乙和丙均能在 NaOH 溶液中发生水解

13. (3 分) 草酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) 是一种二元弱酸。实验室配制了 $0.0100\text{mol/LNa}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 标准溶液，现对 25°C 时该溶液的性质进行探究，下列所得结论正确的是（ ）

- A. $0.0100\text{mol/LNa}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液中存在： $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$
- B. 若向该溶液中滴加等体积等浓度稀盐酸，测得溶液 $\text{pH} < 7$ ，此时溶液中存在： $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{Cl}^-) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$
- C. 已知 25°C 时 $K_{\text{sp}}(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 2.5 \times 10^{-9}$ 。向该溶液中加入等体积 0.0200mol/LCaCl_2 溶液，所得上层清液中 $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) < 5 \times 10^{-5}\text{mol/L}$
- D. 向该溶液中加入几滴酸性 KMnO_4 溶液， MnO_4^- 被还原为 Mn^{2+} ，则反应的离子方程式：



14. (3 分) 二氧化碳催化加氢可合成乙烯： $2\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H$ 。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 0.1MPa ，反应达到平衡时，四种组分的物质的量分数 x 随温度 T 的变化如图所示。下列说法正确的是（ ）



- A. 表示 CO_2 、 C_2H_4 变化的曲线分别为 d、c
- B. 合成乙烯反应的 $\Delta H > 0$
- C. A 点对应温度为 440K ，若体系压强改为 0.2MPa ，则 a、b 的交点对应温度小于 440K

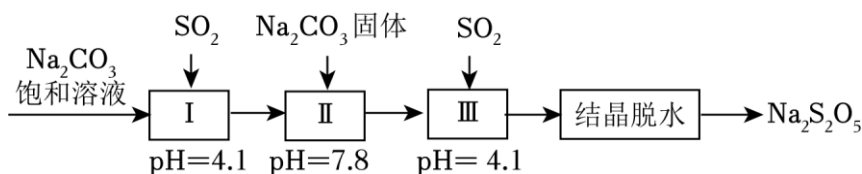
D. 上述反应伴有副反应，一定温度和压强下，选择合适的催化剂可提高反应速率和乙烯的选择性

二、非选择题：共 4 题，共 58 分。

15. (13 分) 工业上以黄铁矿（主要成分为 FeS_2 ）为原料来制备硫酸，产生的含二氧化硫尾气和炉渣（主要成分为 Fe_2O_3 ）经过资源化利用可减轻对环境的污染。

(1) 工业制硫酸。沸腾炉中煅烧黄铁矿发生反应的化学方程式为 _____，当有 6mol SO_2 生成时，转移电子 _____ mol。

(2) 生产焦亚硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 常用作食品的抗氧化剂，由 NaHSO_3 过饱和溶液经结晶脱水制得，生产工艺流程如图：



已知： H_2SO_3 电离常数分别为 $K_{a1}=1.5\times 10^{-2}$ 、 $K_{a2}=1.0\times 10^{-7}$

H_2CO_3 电离常数分别为 $K_{a1}=4.3\times 10^{-7}$ 、 $K_{a2}=5.6\times 10^{-11}$

生成 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 的化学方程式为 $2\text{NaHSO}_3=\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5+\text{H}_2\text{O}$

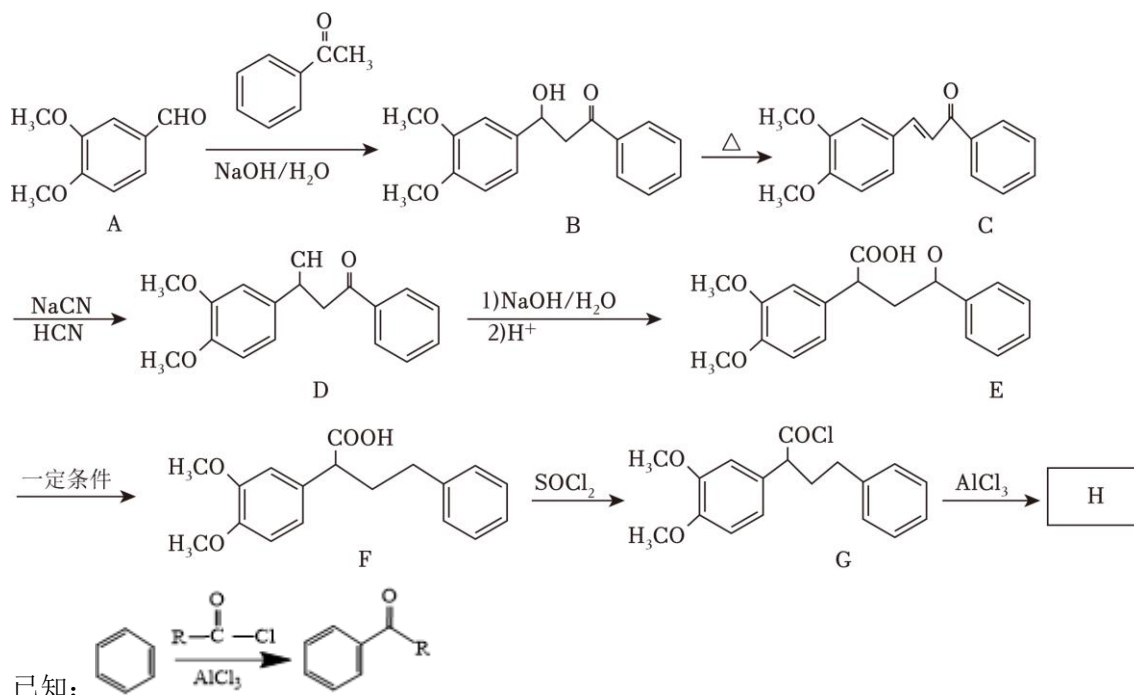
①I 中生成一种盐并放出气体，反应的离子方程式为 _____。

②工艺中加入 Na_2CO_3 固体，并再次充入 SO_2 的目的是 _____。

③因为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 具有还原性，导致产品中不可避免地存在 Na_2SO_4 ，检验其中是否含有 SO_4^{2-} 的方法是 _____。

(3) 由炉渣制备还原铁粉并分析纯度。利用 CO 与炉渣反应得到还原铁粉，得到的产品可用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 滴定分析法测定纯度。实验步骤如下：称取 0.2240g 样品，加入过量稀硫酸充分溶解，用 $3.000\times 10^{-2}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液滴定至终点（滴定过程中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 与 Fe^{2+} 反应生成 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} ），消耗 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液 20.00mL ，计算该样品中还原铁粉的质量分数（写出计算过程） _____。

16. (13 分) 化合物 H 是一种用于合成药物的中间体，其合成路线流程图如图：



回答下列问题：

(1) D 分子中碳原子的杂化轨道类型为 _____。

(2) E→F 的反应类型为 _____。

(3) 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：_____。

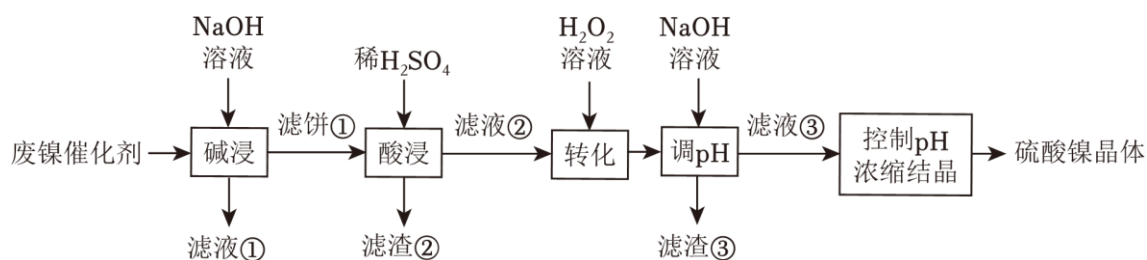
①含有两个苯环，且能与 FeCl_3 溶液发生显色反应

②碱性条件水解，酸化后所得 2 种产物均只有一种含氧官能团，一种产物有两种不同化学环境的氢原子，另一种产物核磁共振氢谱峰面积比为 6: 6: 1: 1。

(4) H 的分子式为 $\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{O}_3$ ，结构中含有三个六元环，其结构简式为 _____。

(5) 以苯、甲醛和丙酮为基础有机原料，制备 的合成路线流程图（无机试剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）_____。

17. (15 分) 某油脂厂废弃的油脂加氢镍催化剂主要含金属 Ni、Al、Fe 及其氧化物，还有少量其他不溶性物质。采用如下工艺流程回收其中的镍制备硫酸镍晶体 ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)：



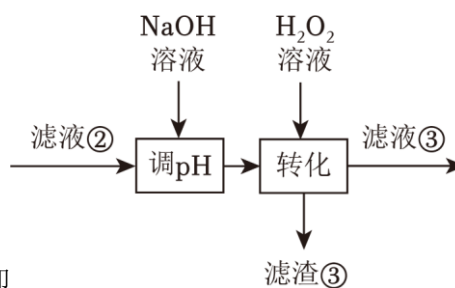
常温下，溶液中金属离子开始沉淀和完全沉淀的 pH 如表所示：

金属离子	Ni^{2+}	Al^{3+}	Fe^{3+}	Fe^{2+}
开始沉淀时（ $c=0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ）的 pH	7.2	3.7	2.2	7.5
沉淀完全时（ $c=1.0\times 10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ）的 pH	8.7	4.7	3.2	9.0

回答下列问题：

（1）“碱浸”中 NaOH 的两个作用分别是 _____。

（2）为回收金属，向“滤液①”通入足量 CO_2 ，写出反应生成沉淀的离子方程式 _____。“滤液②”中含有的金属离子是 _____。

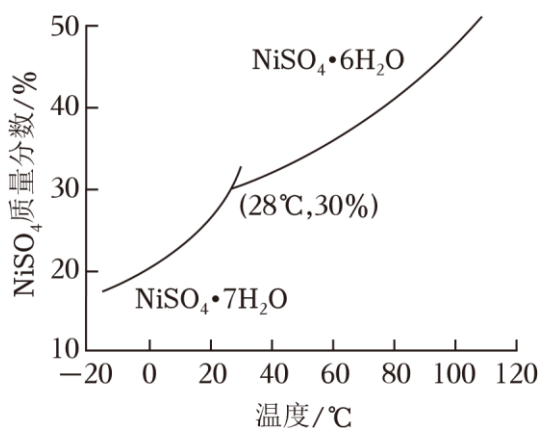


（3）若工艺流程改为先“调 pH”后“转化”，即 _____，“滤液③”中可能含有的杂质离子为 _____。

（4）如果“转化”后的溶液中 Ni^{2+} 浓度为 $1.0\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，则“调 pH”应控制的 pH 范围是 _____。

（5）硫酸镍在强碱溶液中用 NaClO 氧化，可沉淀出能用作镍镉电池正极材料的 NiOOH 。写出该反应的离子方程式 _____。

（6） NiSO_4 质量分数随温度变化情况如图所示，已知当 pH 控制在 3.0 时，结晶得到 $\text{NiSO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体



外观最符合要求。

请补充由滤液③得到 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体的实验方案：_____，得到 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体。

（实验中须使用的试剂： $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 、乙醇）

18.（17 分） CO_2 、 NO_x 和 SO_2 等物质的转化和资源化利用是社会热点问题。

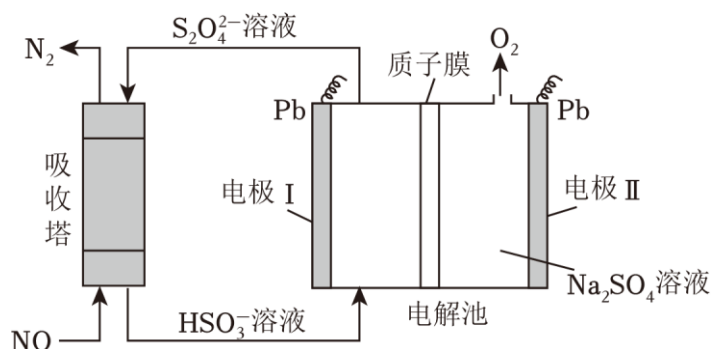
I. CO_2 与 CH_4 经催化重整，制得合成气。发生反应： $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons{\text{催化剂}} 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ ，

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	CO 中的化学键
键能/ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	413	745	436	1075

（1）则该反应的 $\Delta H =$ _____。

II. 间接电化学法可对大气污染物 NO 进行无害化处理，其工作原理如图所示，质子膜允许 H^+ 和 H_2O 通过。

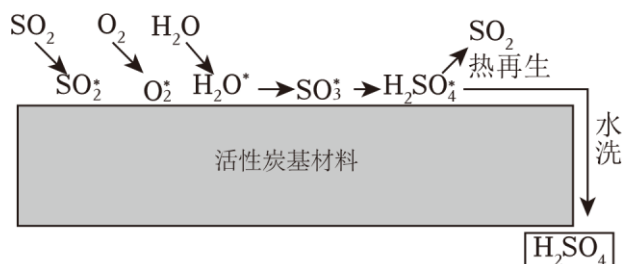


（2）电极 I 应接电源的 _____（填“正极”或“负极”）。

（3）每处理标准状况下 22.4LNO ，可同时得到 _____ gO_2 。

III. 使用固体催化剂可提高脱硫效率。气体在固体催化剂表面反应的机理是气体反应物分子吸附在催化剂表面，占据催化剂表面活性位点，生成一些活性高的微粒，从而降低反应活化能，提高反应速率，反应后气体产物分子及时脱附空出活性位点。

（4）活性炭催化脱除 SO_2 的机理如图所示（*代表吸附态）。



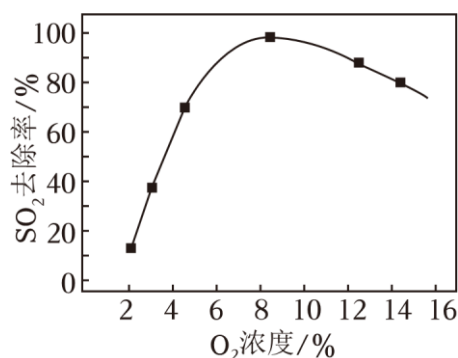
①写出“热再生”生成 SO_2 的化学方程式 _____。

②研究表明，温度在脱硫过程中是一个非常重要的因素，温度过高，脱硫效果会变差，原因可能是_____。

（5） V_2O_5 /炭基材料是在活性炭上载有 V_2O_5 活性成分，构成更高活性的活性炭催化剂，更有利于 SO_2 转化为 SO_3 ，最终实现脱硫。

①通过红外光谱发现，脱硫开始后催化剂表面出现了 $VOSO_4$ 的吸收峰，再通入 O_2 后 $VOSO_4$ 吸收峰消失，该脱硫反应过程可描述为_____。

②控制一定气体流速和温度，考察烟气中 O_2 的存在对 V_2O_5 /炭基材料催化剂脱硫活性的影响，结果如图所示，当 O_2 浓度过高时，去除率下降，其原因可能是_____。



（6）科学家通过 NH_3 活化改性提升了活性炭的脱硫性能，认为活性炭表面的含氮官能团具有催化性能，含氮官能团越丰富越有利于提升脱硫性能，原因可能是_____。

2022-2023 学年江苏省无锡市江阴市高三（上）期末化学试卷

参考答案与试题解析

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.（3 分）化学促进了科技进步和社会发展，下列叙述中不涉及化学变化的是（ ）

- A.《神农本草经》中记载“石胆能化铁为铜”
- B. 北京冬奥会场馆使用 CO₂ 跨临界直冷制冰
- C. 科学家成功将 CO₂ 转化为淀粉或葡萄糖
- D. 用四氟乙烯制备医用防护服材料微孔聚四氟乙烯

【答案】B

【分析】物质变化过程中无新物质生成的变化为物理变化，过程中生成新物质的变化为化学变化。

【解答】解：A.《神农本草经》中记载“石胆能化铁为铜”发生的反应为铁与硫酸铜溶液发生置换反应生成硫酸亚铁和铜，涉及化学变化，故 A 错误；

B. 北京冬奥会场馆使用二氧化碳跨临界直接制冰过程中没有新物质生成，不涉及化学变化，故 B 正确；

C. 二氧化碳转化为淀粉或葡萄糖时有新物质生成，涉及化学变化，故 C 错误；

D. 用四氟乙烯制备医用防护服材料微孔聚四氟乙烯发生的反应为一定条件下四氟乙烯发生加聚反应生成聚四氟乙烯，涉及化学变化，故 D 错误；

故选：B。

2.（3 分）用 NaClO 氧化 NH₃ 可制备火箭推进剂的燃料 N₂H₄。下列说法正确的是（ ）

- A. NH₃ 是非极性分子
- B. NaClO 仅含离子键
- C. N₂H₄ 中 N 元素的化合价为 -2
- D. 中子数为 8 的氮原子可表示为 ${}^8_7\text{N}$

【答案】C

【分析】A. 正负电荷的中心不重合为极性分子；

B. NaClO 含 Cl - O 共价键及离子键；

C. 设肼中氮元素的化合价为 x，根据在化合物中正负化合价代数和为零进行判断；

D. 中子数+质子数=质量数。

【解答】解：A. NH₃ 中含有极性键，空间结构为三角锥形，正负电荷的中心不重合，属于极性分子，

故 A 错误；

B. NaClO 含 Cl - O 共价键及离子键，故 B 错误；

C. 设肼中氮元素的化合价为 x，根据在化合物中正负化合价代数和为零可得： $2x + (+1) \times 4 = 0$ ，解得 $x = -2$ ，故 C 正确；

D. 中子数为 8 的氮原子，质量数为 15，可表示为 ${}^{15}_{7}\text{N}$ ，故 D 错误；

故选：C。

3. (3 分) 黑火药主要成分是硫磺、硝酸钾和木炭，能发生剧烈的氧化还原反应。下列说法正确的是 ()

A. 半径大小： $r(\text{S}^{2-}) < r(\text{K}^+)$

B. 电负性大小： $x(\text{N}) < x(\text{O})$

C. 电离能大小： $I_1(\text{O}) < I_1(\text{C})$

D. 气态氢化物稳定性： $\text{H}_2\text{O} < \text{H}_2\text{S}$

【答案】B

【分析】A. 电子层结构相同的离子，核电荷数越大离子半径越小；

B. 一般非金属性越大，则电负性越大；

C. 同一周期主族元素，第一电离能随着原子序数的增大而呈增大趋势，但第 II A 族、第 V A 族第一电离能大于其相邻元素；

D. 非金属性越强，则气态氢化物越稳定。

【解答】解：A. S^{2-} 、 K^+ 具有相同的核外电子排布， S^{2-} 的核电荷小，则半径更大，故半径大小： $r(\text{S}^{2-}) > r(\text{K}^+)$ ，故 A 错误；

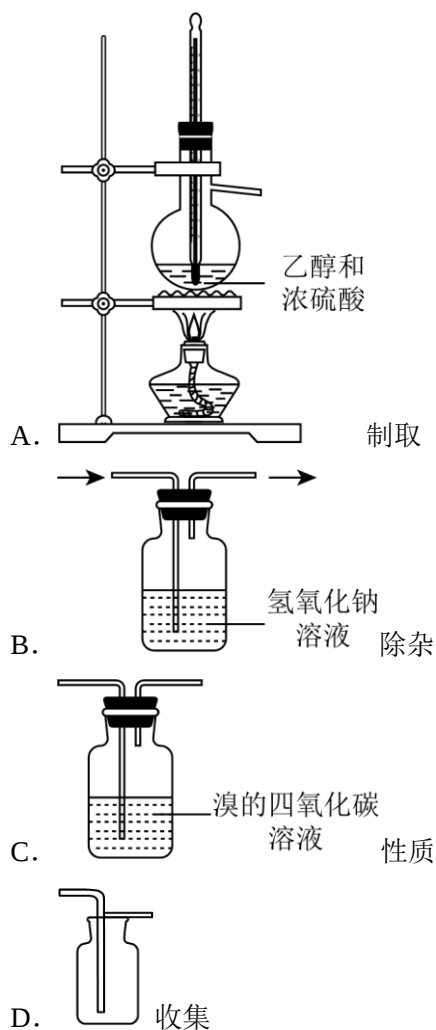
B. N、O 为同一周期元素，从左往右元素电负性依次增强，即电负性大小： $x(\text{N}) < x(\text{O})$ ，故 B 正确；

C. CO 为同一周期元素，从左往右元素的第一电离能呈增大趋势，II A 与 IIIA、V A 与 VIA 反常，即电离能大小： $I_1(\text{O}) > I_1(\text{C})$ ，故 C 错误；

D. 已知 O 的非金属性强于 S，故气态氢化物稳定性： $\text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{S}$ ，故 D 错误；

故选：B。

4. (3 分) 用下列装置依次进行乙烯的制取、除杂、性质检验和气体收集，其中不能实现相应实验目的的是 ()



【答案】D

【分析】A. 乙醇在浓硫酸作用下，加热至 170°C 时发生消去反应生成乙烯；

B. NaOH 溶液可除去可能混有的二氧化硫等；

C. 乙烯易溴发生加成反应；

D. 乙烯的密度与空气的密度接近。

【解答】解：A. 乙醇在浓硫酸作用下，加热至 170°C 时发生消去反应生成乙烯，图中装置可制备乙烯，故 A 正确；

B. NaOH 溶液可除去可能混有的二氧化硫等，导管长进短出、洗气可除杂，故 B 正确；

C. 乙烯易溴发生加成反应，可验证乙烯的性质，故 C 正确；

D. 乙烯的密度与空气的密度接近，不能选图中向上排空气法收集，应选排水法收集，故 D 错误；
故选：D。

阅读下列材料，完成 5~7 题：

氯及其化合物应用广泛。氯的单质 Cl_2 可由 MnO_2 与浓盐酸共热得到， Cl_2 能氧化 Br^- ，可从海水中提取

Br_2 ；氯的氧化物 ClO_2 可用于自来水消毒， ClO_2 是一种黄绿色气体，易溶于水，与碱反应会生成 ClO_2^- 与 ClO_3^- ，在稀硫酸和 NaClO_3 的混合溶液中通入 SO_2 气体可制得 ClO_2 ；漂白液和漂白粉的有效成分是次氯酸盐，可作棉、麻的漂白剂。

5. 下列有关物质的性质与用途具有对应关系的是（ ）

- A. MnO_2 有氧化性，可用于实验室制氯气
- B. ClO_2 易溶于水，可用于自来水消毒
- C. HClO 不稳定，可用于棉、麻漂白
- D. Cl_2 有还原性，可用于从海水中提取溴

【答案】A

【分析】A. 二氧化锰具有氧化性，能够氧化浓盐酸生成氯气；

B. 二氧化氯具有强的氧化性，能够使蛋白质变性；

C. 依据次氯酸的漂白性解答；

D. 依据氯气的氧化性解答。

【解答】解：A. 二氧化锰具有氧化性，能够氧化浓盐酸生成氯气，实验室常用二氧化锰氧化浓盐酸制取氯气，故 A 正确；

B. 二氧化氯具有强的氧化性，能够使蛋白质变性，具有杀菌消毒作用，可用于自来水消毒，与其易溶于水的性质无关，故 B 错误；

C. 次氯酸具有漂白性，可用于棉、麻漂白，与其不稳定性无关，故 C 错误；

D. 氯气具有氧化性，能氧化溴离子生成溴单质，可用于从海水中提取溴，与其还原性无关，故 D 错误；
故选：A。

6. 下列关于 Cl^- 、 ClO_2 、 ClO_2^- 和 ClO_3^- 的说法不正确的是（ ）

- A. Cl^- 提供孤电子对与 Cu^{2+} 可形成 CuCl_4^{2-}
- B. ClO_2 属于共价化合物
- C. ClO_3^- 的空间结构为三角锥
- D. ClO_2^- 的键角比 ClO_3^- 的键角大

【答案】D

【分析】A. 含有空轨道和含有孤电子对的原子之间易形成配位键；

B. 只含共价键的化合物为共价化合物；

C. ClO_3^- 中 Cl 原子价层电子对个数 $= 3 + \frac{7+1-3 \times 2}{2} = 4$, Cl 原子采用 sp^3 杂化, 且含有一个孤电子对;

D. ClO_2^- 中 Cl 原子价层电子对数 $= 2 + \frac{7+1-3 \times 2}{2} = 4$ 且含有 2 个孤电子对, 为 V 形结构。

【解答】解: A. 含有空轨道和含有孤电子对的原子之间易形成配位键, Cu^{2+} 含有空轨道、 Cl^- 含有孤电子对, Cl^- 提供孤电子对与 Cu^{2+} 可形成 CuCl_4^{2-} , 故 A 正确;

B. ClO_2 只含共价键, 属于共价化合物, 故 B 正确;

C. ClO_3^- 中 Cl 原子价层电子对个数 $= 3 + \frac{7+1-3 \times 2}{2} = 4$, Cl 原子采用 sp^3 杂化, 且含有一个孤电子对;

孤电子对与成键电子对之间的排斥力大于成键电子对之间的排斥力, 是三角锥形结构, 故 C 正确;

D. ClO_2^- 中 Cl 原子价层电子对数 $= 2 + \frac{7+1-3 \times 2}{2} = 4$ 且含有 2 个孤电子对, 为 V 形结构, ClO_3^- 中

Cl 原子价层电子对个数 $= 3 + \frac{7+1-3 \times 2}{2} = 4$, Cl 原子采用 sp^3 杂化, 且含有一个孤电子对, 为三角锥结

构, 所以 $\text{ClO}_2^- < \text{ClO}_3^-$, 故 D 错误;

故选: D。

7. 在给定条件下, 下列物质间转化能实现的是 ()

A. $\text{ClO}_2 (\text{g}) \xrightarrow{\text{NaOH} (\text{aq})} \text{NaClO}_2 (\text{aq})$

B. $\text{Cl}_2 (\text{g}) \xrightarrow{\text{点燃}} \text{FeCl}_2 (\text{s})$

C. $\text{HClO} (\text{aq}) \xrightarrow{\text{光照}} \text{Cl}_2 (\text{g})$

D. $\text{NaClO} (\text{aq}) \xrightarrow{\text{SO}_2 (\text{g})} \text{ClO}_2 (\text{g})$

【答案】A

【分析】A. 二氧化氯与氢氧化钠溶液反应生成亚氯酸钠和氯酸钠;

B. 氯气与铁反应生成氯化铁;

C. 次氯酸分解生成氯化氢和氧气;

D. 二氧化硫能够还原次氯酸钠生成氯离子。

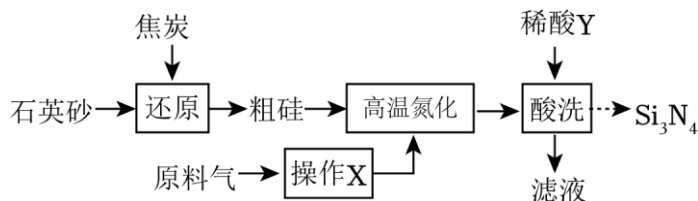
【解答】解: A. 二氧化氯与氢氧化钠溶液反应生成亚氯酸钠和氯酸钠, 所以 $\text{ClO}_2 (\text{g}) \xrightarrow{\text{NaOH} (\text{aq})} \text{NaClO}_2 (\text{aq})$ 可以一步实现, 故 A 正确;

B. 氯气与铁反应生成氯化铁, $\text{Cl}_2 (\text{g}) \xrightarrow{\text{点燃}} \text{FeCl}_2 (\text{s})$ 不能一步实现, 故 B 错误;

C. 次氯酸分解生成氯化氢和氧气, $\text{HClO} (\text{aq}) \xrightarrow{\text{光照}} \text{Cl}_2 (\text{g})$ 不能一步实现, 故 C 错误;

D. 二氧化硫能够还原次氯酸钠生成氯离子， $\text{NaClO}(\text{aq}) \xrightarrow{\text{SO}_2(\text{g})} \text{ClO}_2(\text{g})$ 不能一步实现，故 D 错误；
 故选：A。

8. (3 分) 氮化硅 (Si_3N_4) 是一种重要的结构陶瓷材料。用石英砂和原料气 (含 N_2 和少量 O_2) 制备 Si_3N_4 的操作流程如图 (粗硅中含少量 Fe、Cu 的单质及化合物)：



下列叙述正确的是 ()

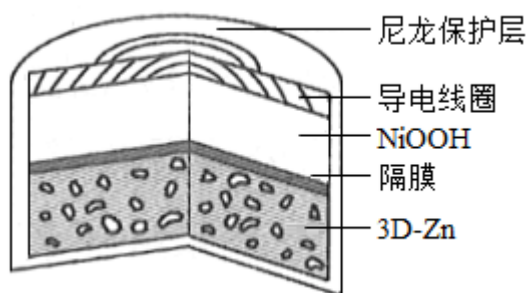
- A. “还原”时反应的方程式为 $\text{SiO}_2 + \text{C} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si} + \text{CO}_2$
 B. “高温氮化”合成反应中 N_2 是还原剂
 C. “操作 X”可将原料气通过灼热的铜粉
 D. “稀酸 Y”选用稀硫酸除去产物中的杂质

【答案】C

【分析】用石英砂 (粗硅中含少量 Fe、Cu 的单质及化合物) 和原料气 (含 N_2 和少量 O_2) 制备 Si_3N_4 的操作流程，石英砂为 SiO_2 ， SiO_2 与焦炭在高温下发生反应 $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si} + 2\text{CO} \uparrow$ ，粗硅与氮气反应生成 Si_3N_4 ，再用稀酸 Y 进行酸洗，除去铁、铜，得到纯净的产物，据此分析。

【解答】解：A. 焦炭与石英砂发生反应 $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si} + 2\text{CO} \uparrow$ ，焦炭被氧化成 CO，故 A 错误；
 B. “高温氮化”反应中发生 $3\text{Si} + 2\text{N}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si}_3\text{N}_4$ ，N 的化合价降低，被还原，故 N_2 是氧化剂，故 B 错误；
 C. “高温氮化”是 Si 与氮气反应，原料气中含有 N_2 和少量的 O_2 ，氧气能与 Si 反应生成 SiO_2 ，需要除去氧气，操作 X 可以除去氧气得到纯净氮气，故 C 正确；
 D. 粗硅中含有少量 Fe 和 Cu，即 Si_3N_4 中含有少量 Fe 和 Cu，Fe 与稀硫酸反应，得到可溶于水的 FeSO_4 ，但 Cu 与稀硫酸不反应，故应该用稀硝酸除去 Si_3N_4 中 Fe 和 Cu，故 D 错误；
 故选：C。

9. (3 分) 为提升电池循环效率和稳定性，科学家近期利用三维多孔海绵状 Zn (3D - Zn) 可以高效沉积 ZnO 的特点，设计了采用强碱性电解质的 3D - Zn - NiOOH 二次电池，结构如题 10 图所示。电池反应为 $\text{Zn} + 2\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} \text{ZnO} + 2\text{Ni}(\text{OH})_2$ 。下列说法错误的是 ()



- A. 放电过程中 OH^- 通过隔膜从负极区移向正极区
- B. 充电时阳极反应为 $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^- - \text{e}^- = \text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O}$
- C. 放电时负极反应为 $\text{Zn} + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$
- D. 三维多孔海绵状 Zn 具有较高的表面积，所沉积的 ZnO 分散度高

【答案】A

【分析】根据电池反应中元素化合价变化知，Zn 为负极，NiOOH 为正极，电解质溶液呈碱性，负极反应式为 $\text{Zn}(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{aq}) - 2\text{e}^- = \text{ZnO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 、正极反应式为 $\text{NiOOH}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{e}^- = \text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ ，充电时阳极反应式为 $\text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{OH}^-(\text{aq}) - \text{e}^- = \text{NiOOH}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 、阴极反应式为

$\text{ZnO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- = \text{Zn}(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ ，放电时电解质中阴离子向负极移动，据此分析解答。

【解答】解：A. 放电时，负极上失电子，电子通过导线到达正极，根据异性相吸原理知，溶液中 OH^- 通过隔膜从正极区移向负极区，故 A 错误；

B. 充电时阳极上失电子发生氧化反应，电极反应式为 $\text{Ni}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{OH}^-(\text{aq}) - \text{e}^- = \text{NiOOH}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，故 B 正确；

C. 放电时 Zn 作负极，失电子发生氧化反应，电极反应式为 $\text{Zn}(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{aq}) - 2\text{e}^- = \text{ZnO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，故 C 正确；

D. 表面积越大，反应物接触面积越大，则沉积的 ZnO 越分散，所以沉积的 ZnO 分散度高，故 D 正确；

故选：A。

10. (3 分) 室温下进行下列实验，根据实验操作和现象所得出的结论正确的是 ()

选项	实验操作和现象	结论
A	向溶有 SO_2 的 BaCl_2 溶液中通入气体 X，出现白色沉淀	气体 X 一定具有强氧化性
B	某溶液中加入硝酸酸化的 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液，无现象，再滴加 AgNO_3 溶液，有白色沉淀生成	溶液中一定含有 Cl^-

C	向 Na_2CO_3 溶液中加入盐酸，将产生的气体直接通入硅酸钠溶液中，产生白色胶状沉淀	酸性：盐酸 > 碳酸 > 硅酸
D	向盛有 5 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$ 溶液的试管中滴入几滴等浓度的 NaCl 溶液，产生白色沉淀，继续滴加几滴 NaI 溶液，有黄色沉淀产生	$K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$

A. A B. B C. C D. D

【答案】B

【分析】A. 白色沉淀可能为亚硫酸钡或硫酸钡；

B. 白色沉淀为 AgCl ；

C. 盐酸易挥发，盐酸与硅酸钠反应；

D. 硝酸银过量，均为沉淀生成。

【解答】解：A. 白色沉淀可能为亚硫酸钡或硫酸钡，X 可能为氨气或氯气等，故 A 错误；

B. 白色沉淀为 AgCl ，溶液中一定含有 Cl^- ，故 B 正确；

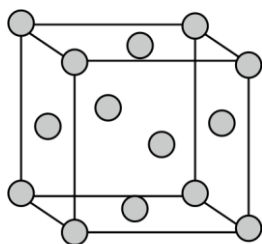
C. 盐酸易挥发，盐酸与硅酸钠反应，不能比较碳酸、硅酸的酸性，故 C 错误；

D. 硝酸银过量，均为沉淀生成，不能比较 K_{sp} 大小，故 D 错误；

故选：B。

11. (3 分) 银氨溶液可用于检验葡萄糖，实验如下：

步骤 1：向试管中加入 1mL 2% AgNO_3 溶液，边振荡边滴加 2% 氨水，观察到有白色沉淀产生并迅速转化



为灰褐色。 银晶胞示意图

步骤 2：向试管中继续滴加 2% 氨水，观察到沉淀完全溶解。

步骤 3：再向试管中加入 1mL 10% 葡萄糖溶液，振荡，在 $60 \sim 70^\circ\text{C}$ 水浴中加热，观察到试管内壁形成了光亮银镜。

下列说法不正确的是 ()

A. 步骤 1 中观察到的白色沉淀为 AgOH

B. 步骤 2 所得溶液中大量存在的离子： Ag^+ 、 NH_4^+ 、 NO_3^-

- C. 步骤 3 中产生银镜说明葡萄糖具有还原性
D. 图中所示银的晶胞中 Ag 原子周围等距且紧邻的 Ag 原子有 12 个

【答案】B

【分析】A. AgNO_3 溶液中滴加 2% 的氨水，反应生成了 AgOH 白色沉淀；

B. 由题意可知，步骤 2 发生的反应为氧化银与氨水反应生成氢氧化四氨合银和水，得到的溶液中含有四氨合银离子、铵根离子和硝酸根离子；

C. 葡萄糖与 $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{OH}$ 反应生成 Ag，葡萄糖发生氧化反应；

D. 用均摊法计算。

【解答】解：A. 少量氨水与硝酸银溶液反应生成氢氧化银白色沉淀，步骤 1 中观察到的白色沉淀为氢氧化银，故 A 正确；

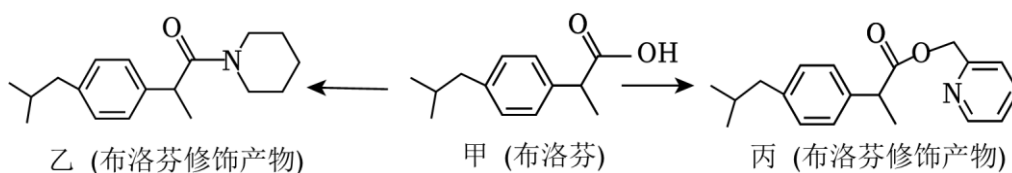
B. 步骤 2 发生的反应为氧化银与氨水反应生成氢氧化二氨合银和水，得到的溶液中含有二氨合银离子、铵根离子和硝酸根离子，不含银离子，故 B 错误；

C. 步骤 3 发生的反应为氢氧化四氨合银和葡萄糖发生氧化反应生成葡萄糖酸铵、银和水，葡萄糖发生氧化反应，反应中葡萄糖表现还原性，故 C 正确；

D. 由晶胞结构可知，位于顶点的银原子与位于面心的银原子的距离最近，则晶胞中银原子周围等距且紧邻的银原子有 12 个，故 D 正确；

故选：B。

12. (3 分) 分子结构修饰在药物设计与合成中有广泛应用，布洛芬具有抗炎、镇痛解热的作用，但直接服用对胃、肠道有刺激性，可以对该分子进行如图所示的分子修饰。



下列有关说法不正确的是 ()

- A. 甲分子最多有 10 个碳原子共平面
B. 1mol 乙分子中 σ 键的数目为 48mol
C. 以上三个分子都只有 1 个手性碳原子
D. 乙和丙均能在 NaOH 溶液中发生水解

【答案】A

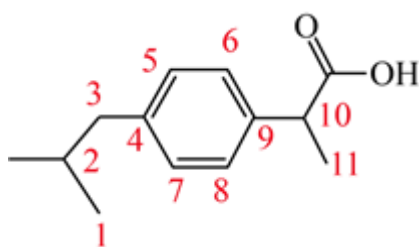
【分析】A. 甲分子含有 1 个苯环，与苯环上连接的碳原子一定共平面，其余单键相连碳原子可通过旋转得出最多 1 个碳原子在其平面上；

B. 乙分子的化学式为 $C_{18}H_{27}ON$, σ 键的数目为 $n(H) + n(C-C) + n(C-O) + n(C-N)$;

C. 手性碳原子是指, 同一个碳原子上链接 4 个不同的原子或原子团;

D. 乙中含有肽键, 丙中含有酯基, 均能在 $NaOH$ 溶液和稀 H_2SO_4 溶液中发生水解反应。

【解答】解: A. 甲分子含有 1 个苯环, 与苯环上连接的碳原子一定共平面, 其余单键相连碳原子可通过旋转得出最多 1 个碳原子在其平面上, 所以甲分子中最多有 11 个碳原子共平面 (即



), 故 A 错误;

B. 乙分子的化学式为 $C_{18}H_{27}ON$, σ 键的数目为 $n(H) + n(C-C) + n(C-O) + n(C-N) = 48$, 所以 1 mol 乙分子中 σ 键的数目为 48 mol, 故 B 正确;

C. 苯环上没有手性碳原子, 甲基、亚甲基上没有手性碳原子, 双键上没有手性碳原子, 故以上三个分子的结构分析, 都只有 1 个手性碳原子, 即与苯环直接相连且连有一个甲基的碳原子, 故 C 正确;

D. 乙中含有肽键, 丙中含有酯基, 均能在 $NaOH$ 溶液和稀 H_2SO_4 溶液中发生水解反应, 故 D 正确;
故选: A。

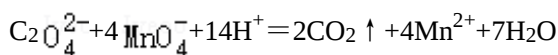
13. (3 分) 草酸 ($H_2C_2O_4$) 是一种二元弱酸。实验室配制了 $0.0100 mol/L Na_2C_2O_4$ 标准溶液, 现对 $25^\circ C$ 时该溶液的性质进行探究, 下列所得结论正确的是 ()

A. $0.010 0 mol/L Na_2C_2O_4$ 溶液中存在: $c(OH^-) = c(H^+) + c(H_2C_2O_4) + c(HC_2O_4^-)$

B. 若向该溶液中滴加等体积等浓度稀盐酸, 测得溶液 $pH < 7$, 此时溶液中存在: $c(C_2O_4^{2-}) > c(Cl^-) > c(H_2C_2O_4)$

C. 已知 $25^\circ C$ 时 $K_{sp}(CaC_2O_4) = 2.5 \times 10^{-9}$ 。向该溶液中加入等体积 $0.0200 mol/L CaCl_2$ 溶液, 所得上层清液中 $c(C_2O_4^{2-}) < 5 \times 10^{-5} mol/L$

D. 向该溶液中加入几滴酸性 $KMnO_4$ 溶液, MnO_4^- 被还原为 Mn^{2+} , 则反应的离子方程式:



【答案】C

【分析】A. $0.010 0 mol/L Na_2C_2O_4$ 溶液中水电离出的氢离子等于水电离出的氢氧根离子;

B. 若向该溶液中滴加等体积等浓度稀盐酸, 测得溶液 $pH < 7$, 此时溶液是草酸氢钠和氯化钠的等浓度

混合溶液，可知草酸氢根离子的电离大于水解；

C. 向该溶液中加入等体积 $0.0200\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CaCl}_2$ 溶液后溶液中钙离子的浓度为 $\frac{0.0200V-0.0100V}{2V}\text{mol/L}$
 $=5.00\times 10^{-3}\text{mol/L}$ ，由 25°C 时 $K_{\text{sp}}(\text{CaC}_2\text{O}_4)=2.5\times 10^{-9}$ 可得溶液中草酸根离子的浓度为
 $\frac{2.5\times 10^{-9}}{5.00\times 10^{-3}}\text{mol/L}$ ；

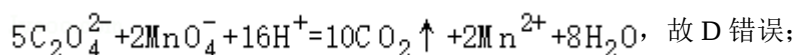
D. 向该溶液中加入几滴酸性 KMnO_4 溶液， MnO_4^- 被还原为 Mn^{2+} 。

【解答】解：A. 溶液中水电离出的氢离子等于水电离出的氢氧根离子，则 $0.0100\text{mol/LNa}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液中满足： $c(\text{OH}^-)=c(\text{H}^+)+2c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)+c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$ ，故 A 错误；

B. 若向该溶液中滴加等体积等浓度稀盐酸，测得溶液 $\text{pH}<7$ ，溶质为草酸氢钠和氯化钠的等浓度混合液，则草酸氢根离子的电离大于水解，溶液中存在： $c(\text{Cl}^-)>c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})>c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ ，故 B 错误；

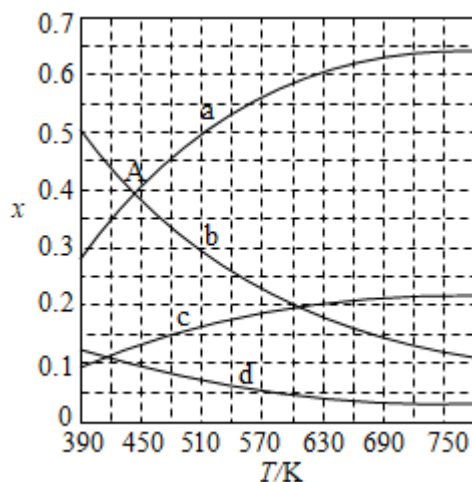
C. 向该溶液中加入等体积 $0.0200\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CaCl}_2$ 溶液后溶液中钙离子的浓度为 $\frac{0.0200V-0.0100V}{2V}\text{mol/L}$
 $=5.00\times 10^{-3}\text{mol/L}$ ，由 $K_{\text{sp}}(\text{CaC}_2\text{O}_4)=2.5\times 10^{-9}$ 可得，溶液中草酸根离子的浓度为
 $\frac{2.5\times 10^{-9}}{5.00\times 10^{-3}}\text{mol/L}=5.00\times 10^{-7}\text{mol/L}<5.00\times 10^{-5}\text{mol/L}$ ，故 C 正确；

D. 草酸钠与酸性 KMnO_4 溶液反应生成 Mn^{2+} 和二氧化碳，离子方程式为：



故选：C。

14. (3 分) 二氧化碳催化加氢可合成乙烯： $2\text{CO}_2(\text{g})+6\text{H}_2(\text{g})\rightleftharpoons\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})+4\text{H}_2\text{O}(\text{g})\quad\Delta H$ 。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 0.1MPa ，反应达到平衡时，四种组分的物质的量分数 x 随温度 T 的变化如图所示。下列说法正确的是 ()



- A. 表示 CO_2 、 C_2H_4 变化的曲线分别为 d、c
- B. 合成乙烯反应的 $\Delta H > 0$
- C. A 点对应温度为 440K，若体系压强改为 0.2MPa，则 a、b 的交点对应温度小于 440K
- D. 上述反应伴有副反应，一定温度和压强下，选择合适的催化剂可提高反应速率和乙烯的选择性

【答案】D

【分析】A. 初始投料之比等于化学计量数之比，由图中曲线的起点坐标可知，c 和 a 所表示的物质的物质的量分数之比为 1: 3、d 和 b 表示的物质的物质的量分数之比为 1: 4，则结合化学计量数之比可以判断，表示乙烯的是 d，表示二氧化碳的是 c；

B. 由图可知，升高温度，乙烯的物质的量分数减小，则化学平衡向逆反应方向移动，则该反应为放热反应， $\Delta H < 0$ ；

C. 若温度不变，压强增大为 0.2 MPa，平衡右移， $n(\text{H}_2\text{O})$ 增大， $n(\text{H}_2)$ 减小，x 增大， H_2O 含量增大， H_2 含量减小，两者不再是原交点，为了恢复至原交点，让平衡左移来抵消压强增大的改变使交点仍在 A 上，所以新平衡时 A 点对应温度大于 440 K；

D. 上述反应伴有副反应，一定温度和压强下，选择合适的催化剂可提高反应速率和乙烯的选择性，使乙烯的选择性提高。

【解答】解：A. 初始投料之比等于化学计量数之比，由图中曲线的起点坐标可知，c 和 a 所表示的物质的物质的量分数之比为 1: 3、d 和 b 表示的物质的物质的量分数之比为 1: 4，则结合化学计量数之比可以判断，表示乙烯的是 d，表示二氧化碳的是 c，故 A 错误；

B. 由图可知，升高温度，乙烯的物质的量分数减小，则化学平衡向逆反应方向移动，则该反应为放热反应， $\Delta H < 0$ ，故 B 错误；

C. 若温度不变，压强增大为 0.2 MPa，平衡右移， $n(\text{H}_2\text{O})$ 增大， $n(\text{H}_2)$ 减小，x 增大， H_2O 含量增大， H_2 含量减小，两者不再是原交点，为了恢复至原交点，让平衡左移来抵消压强增大的改变使交点

仍在 A 上，所以新平衡时 A 点对应温度大于 440 K，故 C 错误；

D. 上述反应伴有副反应，一定温度和压强下，选择合适的催化剂可提高反应速率和乙烯的选择性，使乙烯的选择性提高，故 D 正确；

故选：D。

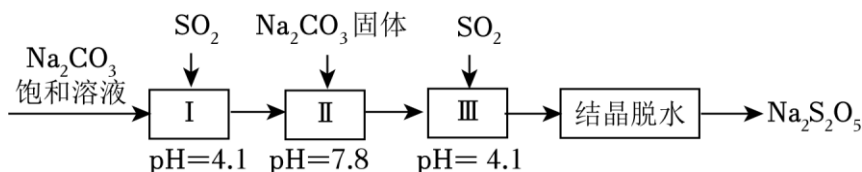
二、非选择题：共 4 题，共 58 分。

15. (13 分) 工业上以黄铁矿（主要成分为 FeS_2 ）为原料来制备硫酸，产生的含二氧化硫尾气和炉渣（主要成分为 Fe_2O_3 ）经过资源化利用可减轻对环境的污染。

(1) 工业制硫酸。沸腾炉中煅烧黄铁矿发生反应的化学方程式为 $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ ，

当有 6mol SO_2 生成时，转移电子 33 mol。

(2) 生产焦亚硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 常用作食品的抗氧化剂，由 NaHSO_3 过饱和溶液经结晶脱水制得，生产工艺流程如图：



已知： H_2SO_3 电离常数分别为 $K_{a1}=1.5 \times 10^{-2}$ 、 $K_{a2}=1.0 \times 10^{-7}$

H_2CO_3 电离常数分别为 $K_{a1}=4.3 \times 10^{-7}$ 、 $K_{a2}=5.6 \times 10^{-11}$

生成 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 的化学方程式为 $2\text{NaHSO}_3 = \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}$

① I 中生成一种盐并放出气体，反应的离子方程式为 $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{HSO}_3^-$ 。

② 工艺中加入 Na_2CO_3 固体，并再次充入 SO_2 的目的是 得到 NaHSO_3 过饱和溶液。

③ 因为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 具有还原性，导致产品中不可避免地存在 Na_2SO_4 ，检验其中是否含有 SO_4^{2-} 的方法是 先加入足量盐酸，再加入氯化钡溶液，若生成白色沉淀，则说明含有 SO_4^{2-} ，反之则不含 SO_4^{2-} 。

(3) 由炉渣制备还原铁粉并分析纯度。利用 CO 与炉渣反应得到还原铁粉，得到的产品可用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 滴定分析法测定纯度。实验步骤如下：称取 0.2240g 样品，加入过量稀硫酸充分溶解，用 $3.000 \times 10^{-2} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液滴定至终点（滴定过程中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 与 Fe^{2+} 反应生成 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} ），消耗 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液 20.00mL ，计算该样品中还原铁粉的质量分数（写出计算过程） 滴定过程中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 与 Fe^{2+} 反应生成 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} ，离子方程式为： $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{Fe}^{2+} + 14\text{H}^+ = 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{Fe}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ ，滴定中消耗 $n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = c \cdot V = 3.000 \times 10^{-2} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 20.00 \times 10^{-3} \text{L} = 6 \times 10^{-4} \text{mol}$ ，则 $n(\text{Fe}^{2+}) = 6n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 3.6 \times 10^{-3} \text{mol}$ ，根据铁元素守恒可知样品中铁粉的质量为 $m = n \cdot M = 3.6 \times 10^{-3} \text{mol} \times 56 \text{g/mol} = 0.2016 \text{g}$ ，质量分数为

$$\frac{0.2016\text{g}}{0.2240\text{g}} \times 100\% = 90.00\%$$

【答案】(1) $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$; 33;

(2) ① $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{HSO}_3^-$; ②得到 NaHSO_3 过饱和溶液; ③先加入足量盐酸, 再加入氯化钡溶液, 若生成白色沉淀, 则说明含有 SO_4^{2-} , 反之则不含 SO_4^{2-} ;

(3) 滴定过程中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 与 Fe^{2+} 反应生成 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} , 离子方程式为: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{Fe}^{2+} + 14\text{H}^+ = 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{Fe}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$, 滴定中消耗 $n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = c \cdot V = 3.000 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 20.00 \times 10^{-3} \text{ L} = 6 \times 10^{-4} \text{ mol}$, 则 $n(\text{Fe}^{2+}) = 6n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 3.6 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 根据铁元素守恒可知样品中铁粉的质量为 $m = n \cdot M = 3.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 56 \text{ g/mol} = 0.2016 \text{ g}$, 质量分数为 $\frac{0.2016\text{g}}{0.2240\text{g}} \times 100\% = 90.00\%$ 。

【分析】由流程可知在饱和碳酸钠溶液中通入二氧化硫, 控制 $\text{pH} = 4.1$, 可生成亚硫酸氢钠, 然后加入碳酸钠固体, 调节 $\text{pH} = 7 - 8$, 可生成亚硫酸钠, 继续通入二氧化硫调节 $\text{pH} = 4.1$, 可生成过饱和的 NaHSO_3 , 同时生成二氧化碳气体, 结晶脱水生成 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 固体。

【解答】解: (1) 沸腾炉中煅烧黄铁矿 FeS_2 与氧气反应生成 Fe_2O_3 和 SO_2 , 发生反应的化学方程式为 $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$, 该反应中铁元素和硫元素化合价均升高, 只有氧元素化合价降低, 每生成 8 mol SO_2 时转移 44 mol 电子, 当有 6 mol SO_2 生成时, 转移电子 33 mol , 故答案为: $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$; 33;

(2) ①根据弱酸的电离平衡常数越大其电离程度越大, 弱酸的酸性越强, 由 H_2SO_3 、 H_2CO_3 的电离常数可知酸性: $\text{H}_2\text{SO}_3 > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HSO}_3^- > \text{HCO}_3^-$, I 中饱和碳酸钠溶液中通入二氧化硫, 控制 $\text{pH} = 4.1$, 可生成亚硫酸氢钠和二氧化碳, 反应的离子方程式为 $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{HSO}_3^-$,

故答案为: $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{HSO}_3^-$;

②向溶液中通入 SO_2 使溶液 pH 变为 4.1 , 得 NaHSO_3 溶液, 为结晶脱水制得 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 准备, 所以加入 Na_2SO_3 生成 NaHSO_3 , 考虑到后续操作步骤是结晶脱水制取 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, 发生这一步需要过饱和的 NaHSO_3 溶液, 由此判断, 再充入 SO_2 的目的是增大 NaHSO_3 浓度, 形成 NaHSO_3 过饱和溶液, 故答案为: 得到 NaHSO_3 过饱和溶液;

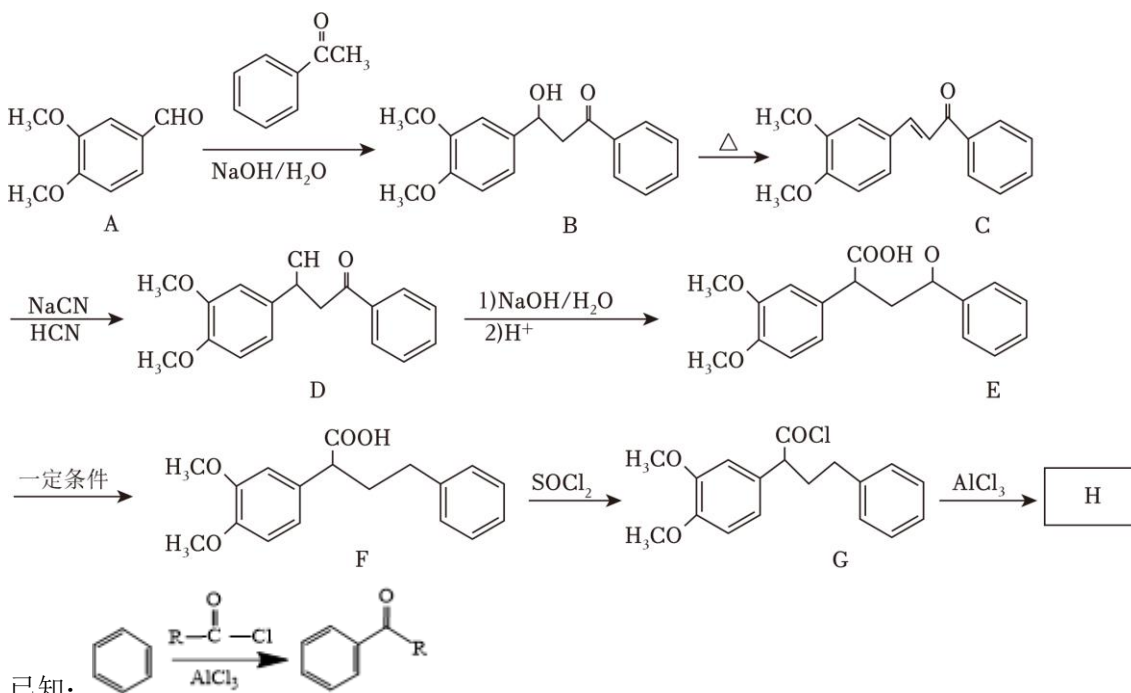
③检验 SO_4^{2-} 的方法是: 先加入足量盐酸, 再加入氯化钡溶液, 若生成白色沉淀, 则说明含有 SO_4^{2-} , 反之则不含 SO_4^{2-} ,

故答案为: 先加入足量盐酸, 再加入氯化钡溶液, 若生成白色沉淀, 则说明含有 SO_4^{2-} , 反之则不含 SO_4^{2-} ;

(3) 滴定过程中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 与 Fe^{2+} 反应生成 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} , 离子方程式为: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{Fe}^{2+} + 14\text{H}^+ = 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{Fe}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$, 滴定中消耗 $n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = c \cdot V = 3.000 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 20.00 \times 10^{-3} \text{ L} = 6 \times 10^{-4} \text{ mol}$, 则 $n(\text{Fe}^{2+}) = 6n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 3.6 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 根据铁元素守恒可知样品中铁粉的质量为 $m = n \cdot M = 3.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 56 \text{ g/mol} = 0.2016 \text{ g}$, 质量分数为 $\frac{0.2016 \text{ g}}{0.2240 \text{ g}} \times 100\% = 90.00\%$,

故答案为: 滴定过程中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 与 Fe^{2+} 反应生成 Cr^{3+} 和 Fe^{3+} , 离子方程式为: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{Fe}^{2+} + 14\text{H}^+ = 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{Fe}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$, 滴定中消耗 $n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = c \cdot V = 3.000 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 20.00 \times 10^{-3} \text{ L} = 6 \times 10^{-4} \text{ mol}$, 则 $n(\text{Fe}^{2+}) = 6n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 3.6 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 根据铁元素守恒可知样品中铁粉的质量为 $m = n \cdot M = 3.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 56 \text{ g/mol} = 0.2016 \text{ g}$, 质量分数为 $\frac{0.2016 \text{ g}}{0.2240 \text{ g}} \times 100\% = 90.00\%$ 。

16. (13 分) 化合物 H 是一种用于合成药物的中间体, 其合成路线流程图如图:



回答下列问题:

(1) D 分子中碳原子的杂化轨道类型为 sp^3 、 sp^2 、 sp 。

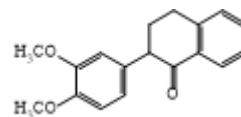
(2) $\text{E} \rightarrow \text{F}$ 的反应类型为 还原反应。

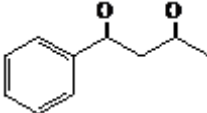
(3) B 的一种同分异构体同时满足下列条件, 写出该同分异构体的结构简式:

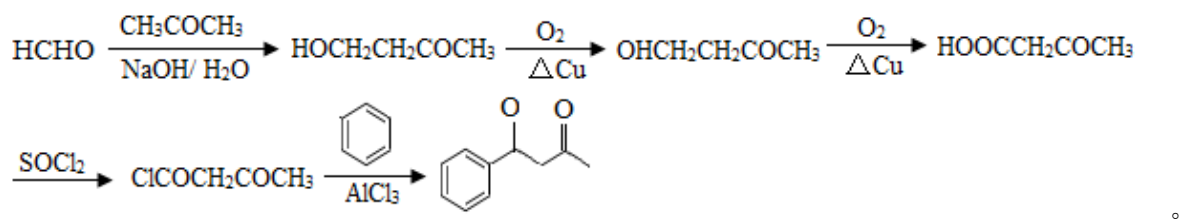
①含有两个苯环, 且能与 FeCl_3 溶液发生显色反应

②碱性条件水解，酸化后所得 2 种产物均只有一种含氧官能团，一种产物有两种不同化学环境的氢原子，另一种产物核磁共振氢谱峰面积比为 6: 6: 1: 1。

(4) H 的分子式为 $C_{18}H_{18}O_3$ ，结构中含有三个六元环，其结构简式为

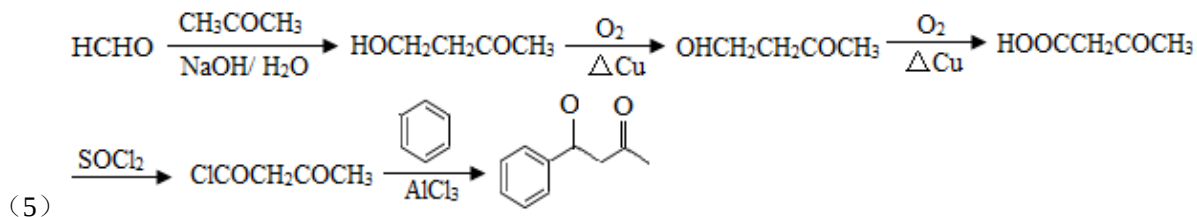
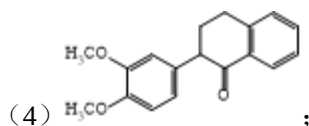
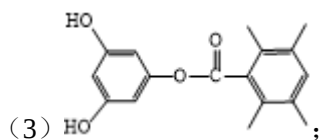


(5) 以苯、甲醛和丙酮为基础有机原料，制备  的合成路线流程图（无机试剂任用，合成路线流程图示例见本题题干）

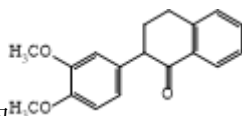


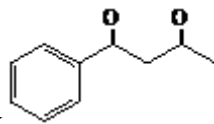
【答案】(1) sp^3 、 sp^2 、 sp ；

(2) 还原反应；



【分析】A 中醛基发生加成反应生成 B 中醇羟基，B 中醇羟基发生消去反应生成 C 中碳碳双键，C 中碳碳双键和 HCN 发生加成反应生成 D，D 中 -CN 发生水解反应然后酸化得到 E 中 -COOH，D 中羰基发生还原反应生成 F，F 中羧基发生取代反应生成 G 中 -COCl，G 发生信息中的反应生成 H，H 的分子式为 $C_{18}H_{18}O_3$ ，结构中含有三个六元环，H 为



(5) 以苯、甲醛和丙酮为基础有机原料制备 ，甲醛和丙酮发生加成反应生成

$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{COCH}_3$, $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{COCH}_3$ 发生氧化反应生成 $\text{OHCCH}_2\text{COCH}_3$, $\text{OHCCH}_2\text{COCH}_3$ 发生氧化反应生成 $\text{HOOCCH}_2\text{COCH}_3$, $\text{HOOCCH}_2\text{COCH}_3$ 和 SOCl_2 发生取代反应生成 $\text{ClOCCH}_2\text{COCH}_3$, $\text{ClOCCH}_2\text{COCH}_3$ 和苯发生取代反应生成目标产物。

【解答】解：（1）D 分子中饱和碳原子价层电子对个数是 4，采用 sp^3 杂化，苯环和连接双键的碳原子价层电子对个数是 3，采用 sp^2 杂化， $-\text{CN}$ 中碳原子价层电子对个数是 2，采用 sp 杂化，所以该分子中碳原子的杂化轨道类型为 sp^3 、 sp^2 、 sp ，

故答案为： sp^3 、 sp^2 、 sp ；

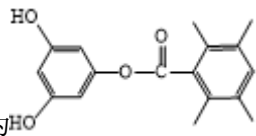
（2）E 中羰基发生还原反应生成 F，所以 $\text{E} \rightarrow \text{F}$ 的反应类型为还原反应，

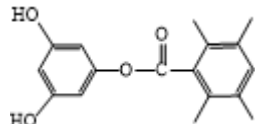
故答案为：还原反应；

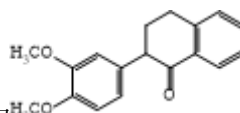
（3）B 的一种同分异构体同时满足下列条件：

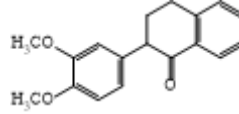
①含有两个苯环，且能与 FeCl_3 溶液发生显色反应，说明含有酚羟基；

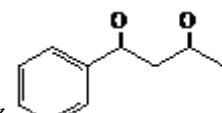
②碱性条件水解，酸化后所得 2 种产物均只有一种含氧官能团，一种有机物中含有羧基，另一种有机物中含有 3 个 $-\text{OH}$ ，一种产物有两种不同化学环境的氢原子，另一种产物核磁共振氢谱峰面积比为 6：

6: 1: 1，说明该有机物中结构对称，符合条件的结构简式为 ，

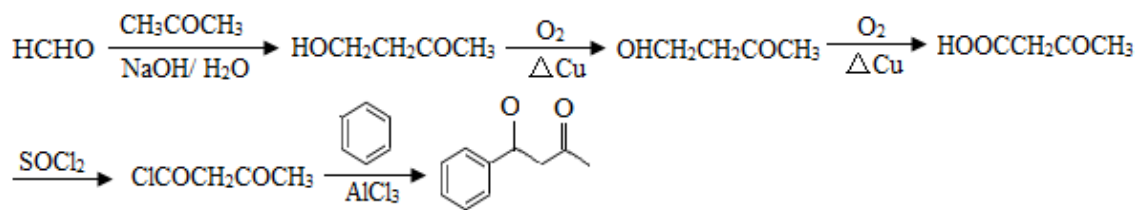
故答案为：；

（4）H 的结构简式为 ，

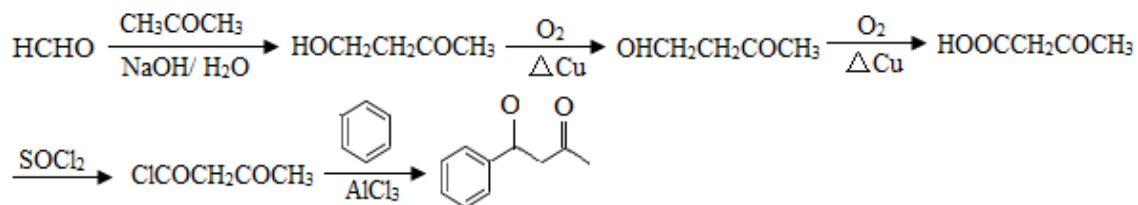
故答案为：；

（5）以苯、甲醛和丙酮为基础有机原料制备 ，甲醛和丙酮发生加成反应生成

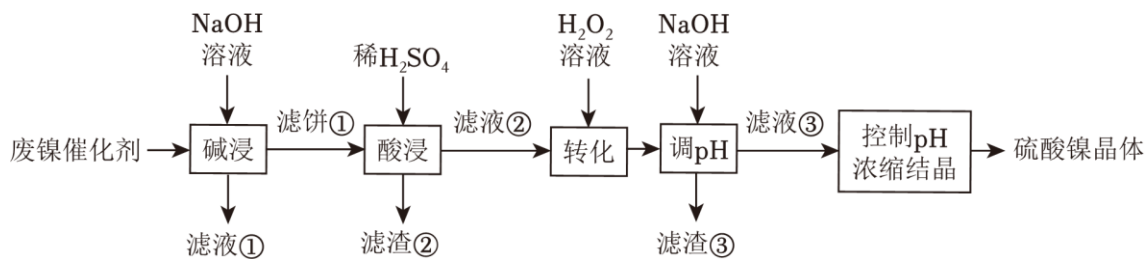
$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{COCH}_3$, $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{COCH}_3$ 发生氧化反应生成 $\text{OHCCH}_2\text{COCH}_3$, $\text{OHCCH}_2\text{COCH}_3$ 发生氧化反应生成 $\text{HOOCCH}_2\text{COCH}_3$, $\text{HOOCCH}_2\text{COCH}_3$ 和 SOCl_2 发生取代反应生成 $\text{ClOCCH}_2\text{COCH}_3$, $\text{ClOCCH}_2\text{COCH}_3$ 和苯发生取代反应生成目标产物，合成路线为



故 答 案 为 :



17. (15 分) 某油脂厂废弃的油脂加氢镍催化剂主要含金属 Ni、Al、Fe 及其氧化物，还有少量其他不溶性物质。采用如下工艺流程回收其中的镍制备硫酸镍晶体 ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)：



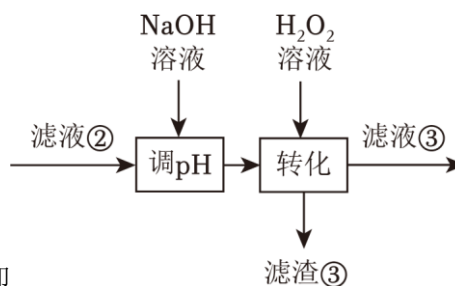
常温下，溶液中金属离子开始沉淀和完全沉淀的 pH 如表所示：

金属离子	Ni^{2+}	Al^{3+}	Fe^{3+}	Fe^{2+}
开始沉淀时 ($c=0.01\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 的 pH	7.2	3.7	2.2	7.5
沉淀完全时 ($c=1.0\times 10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 的 pH	8.7	4.7	3.2	9.0

回答下列问题：

(1) “碱浸”中 NaOH 的两个作用分别是 除去油脂、溶解铝及其氧化物。

(2) 为回收金属，向“滤液①”通入足量 CO_2 ，写出反应生成沉淀的离子方程式 $\text{AlO}_2^- + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{HCO}_3^-$ 。“滤液②”中含有的金属离子是 Ni^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 。

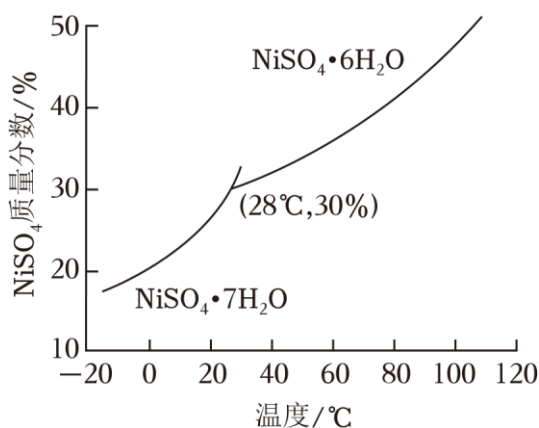


(3) 若工艺流程改为先“调 pH”后“转化”，即可能含有的杂质离子为 Fe^{3+} 。

(4) 如果“转化”后的溶液中 Ni^{2+} 浓度为 $1.0\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，则“调 pH”应控制的 pH 范围是 $3.2 \leq \text{pH} < 6.2$ 。

(5) 硫酸镍在强碱溶液中用 NaClO 氧化，可沉淀出能用作镍镉电池正极材料的 NiOOH 。写出该反应的离子方程式 $2\text{Ni}^{2+} + \text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{NiOOH} \downarrow + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ 。

(6) NiSO_4 质量分数随温度变化情况如图所示，已知当 pH 控制在 3.0 时，结晶得到 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体



外观最符合要求。

请补充由滤液③得到 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体的实验方案：向滤液中加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ ，控制 pH 为 3.0，蒸发浓缩，降温至 28°C 结晶，趁热过滤，用乙醇洗涤，低温干燥，得到 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体。（实验中须使用的试剂： $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 、乙醇）

【答案】 (1) 除去油脂、溶解铝及其氧化物；

(2) $\text{AlO}_2^- + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{HCO}_3^-$ ； Ni^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} ；

(3) Fe^{3+} ；

(4) $3.2 \leq \text{pH} < 6.2$ ；

(5) $2\text{Ni}^{2+} + \text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{NiOOH} \downarrow + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ ；

(6) 向滤液中加入 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ ，控制 pH 为 3.0，蒸发浓缩，降温至 28°C 结晶，趁热过滤，用乙醇洗涤，低温干燥。

【分析】 由工艺流程图可知，向废镍催化剂中加入 NaOH 溶液进行碱浸，可以除去油脂，并与铝及其

氧化物发生反应,得到的滤液①含有 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$,滤饼①为 Ni 、 Fe 及其氧化物和少量其他不溶性杂质,加稀硫酸酸浸后,得到含有 Ni^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 的滤液②, Fe^{2+} 经 H_2O_2 氧化为 Fe^{3+} 后,加入 NaOH 溶液调节 pH 使 Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀除去,再控制 pH 浓缩结晶得到硫酸镍的晶体。

【解答】解:(1) Al 及其氧化物能与 NaOH 溶液反应生成易溶于水的 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$,油脂在 NaOH 水溶液、加热条件下水解生成易溶于水的高级脂肪酸钠和甘油,所以“碱浸”中 NaOH 的两个作用分别是除去油脂以及溶解铝及其氧化物,

故答案为:除去油脂、溶解铝及其氧化物;

(2) 滤液①中含有 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$,所以通入足量 CO_2 ,反应生成的沉淀是 $\text{Al}(\text{OH})_3$,反应的离子方程式为 $[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{HCO}_3^-$; Ni 、 Fe 及其氧化物不与 NaOH 溶液反应,所以它们存在于滤饼①中,其能与稀硫酸反应,所以滤液②中含有的金属离子有 Ni^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} ,

故答案为: $[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{HCO}_3^-$; Ni^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} ;

(3) “转化”过程中加入 H_2O_2 的目的是将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ,空气或 O_2 也可以达到该目的,若先加入 NaOH ,因 Fe^{2+} 完全沉淀的 pH 大于 Ni^{2+} ,故当 Ni^{2+} 沉淀完全时, Fe^{2+} 还不能沉淀完全,“转化”时会生成 Fe^{3+} ,则滤液③中可能含有的杂质离子为 Fe^{3+} ,

故答案为: Fe^{3+} ;

(4) 由表格可知 $c(\text{Ni}^{2+}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 7.2$ 时开始沉淀,则 $K_{\text{sp}}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 0.01 \times (10^{7.2-14})^2$,若“转化”后的溶液中 Ni^{2+} 浓度为 1.0 mol/L ,则 $c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{0.01 \times (10^{7.2-14})^2}{1.0}} = 10^{-7.8} \text{ mol/L}$,

$c(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c(\text{OH}^-)} = \frac{10^{-14}}{10^{-7.8}} = 10^{-6.2} \text{ mol/L}$,此时 $\text{pH} = 6.2$,再由表格数据可知,当 $\text{pH} = 3.2$ 时 Fe^{3+}

已经沉淀完全,所以应控制的 pH 范围是 $3.2 \leq \text{pH} < 6.2$,

故答案为: $3.2 \leq \text{pH} < 6.2$;

(5) 由题中信息可知, Ni 元素由 +2 价升高至 +3 价, Cl 元素由 +1 价降低至 -1 价,化合价升降最小公倍数为 2,故 Ni^{2+} 的系数为 2, ClO^- 的系数是 1,元素守恒可知 NiOOH 系数是 2, Cl^- 系数是 1,因溶液环境为碱性,结合电子守恒可知反应物还有 OH^- ,系数为 4,由原子守恒知产物有 H_2O ,则该反应的离子方程式 $2\text{Ni}^{2+} + \text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{NiOOH} \downarrow + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$,

故答案为: $2\text{Ni}^{2+} + \text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{NiOOH} \downarrow + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$;

(6) 由图可知,应控制温度在 28°C 以上,可得到 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,且 NiSO_4 易溶于水,不溶于乙醇,可以向滤液中加入 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$,控制 pH 为 3.0,蒸发浓缩,降温至 28°C 结晶,趁热过滤,用乙醇洗

涤，低温干燥，

故答案为：向滤液中加入 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ ，控制 pH 为 3.0，蒸发浓缩，降温至 28°C 结晶，趁热过滤，用乙醇洗涤，低温干燥。

18. (17 分) CO_2 、 NO_x 和 SO_2 等物质的转化和资源化利用是社会热点问题。

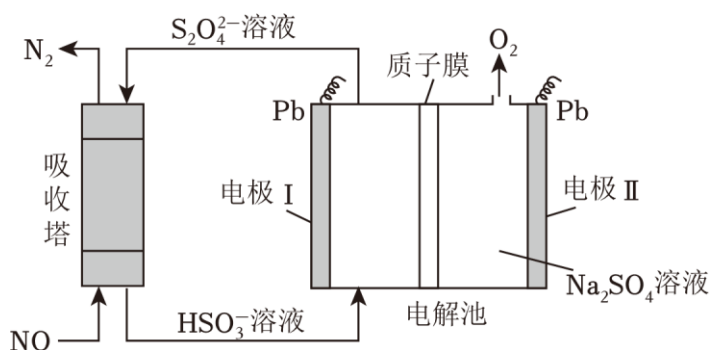
I. CO_2 与 CH_4 经催化重整，制得合成气。发生反应： $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons{\text{催化剂}} 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ ，

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	CO 中的化学键
键能/ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	413	745	436	1075

(1) 则该反应的 $\Delta H = \underline{+120 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}$ 。

II. 间接电化学法可对大气污染物 NO 进行无害化处理，其工作原理如图所示，质子膜允许 H^+ 和 H_2O 通过。

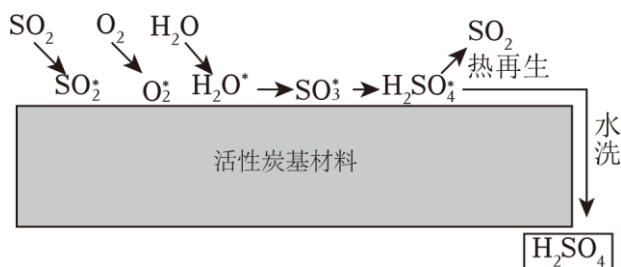


(2) 电极 I 应接电源的 负极 (填“正极”或“负极”)。

(3) 每处理标准状况下 22.4 L NO ，可同时得到 16 g O_2 。

III. 使用固体催化剂可提高脱硫效率。气体在固体催化剂表面反应的机理是气体反应物分子吸附在催化剂表面，占据催化剂表面活性位点，生成一些活性高的微粒，从而降低反应活化能，提高反应速率，反应后气体产物分子及时脱附空出活性位点。

(4) 活性炭催化脱除 SO_2 的机理如图所示 (*代表吸附态)。



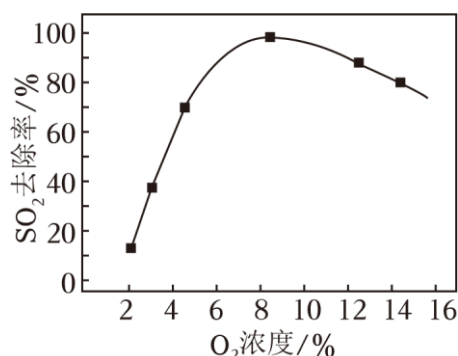
①写出“热再生”生成 SO_2 的化学方程式 $\underline{\text{C}+2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓})\xrightarrow{\Delta}\text{CO}_2\uparrow+2\text{SO}_2\uparrow+2\text{H}_2\text{O}}$ 。

②研究表明，温度在脱硫过程中是一个非常重要的因素，温度过高，脱硫效果会变差，原因可能是 反应物在催化剂表面吸附效果变差，炭与硫酸反应产生 SO_2 ，反应快速生成的 SO_3 占据所有活性位点，来不及脱附，使吸附很快达到饱和。

（5） V_2O_5 /炭基材料是在活性炭上载有 V_2O_5 活性成分，构成更高活性的活性炭催化剂，更有利于 SO_2 转化为 SO_3 ，最终实现脱硫。

①通过红外光谱发现，脱硫开始后催化剂表面出现了 VOSO_4 的吸收峰，再通入 O_2 后 VOSO_4 吸收峰消失，该脱硫反应过程可描述为 SO_2 在催化剂表面被吸附，并与 V_2O_5 发生反应 $4\text{SO}_2+2\text{V}_2\text{O}_5+\text{O}_2=4\text{VOSO}_4$ ，然后 VOSO_4 再与 O_2 发生反应 $\text{O}_2+4\text{VOSO}_4=2\text{V}_2\text{O}_5+4\text{SO}_3$ 。

②控制一定气体流速和温度，考察烟气中 O_2 的存在对 V_2O_5 /炭基材料催化剂脱硫活性的影响，结果如图所示，当 O_2 浓度过高时，去除率下降，其原因可能是 氧气浓度过高时， O_2 和 SO_2 分子会产生竞争吸附的局势，当 O_2 分子占据催化剂过多活性位点时，剩余的 SO_2 分子就不能很好地被吸附，导致脱硫率下降。



（6）科学家通过 NH_3 活化改性提升了活性炭的脱硫性能，认为活性炭表面的含氮官能团具有催化性能，含氮官能团越丰富越有利于提升脱硫性能，原因可能是 活性炭材料表面的含氮官能团具有碱性，能够促进活性炭对 SO_2 的吸附及氧化。

【答案】（1） $+120\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ；

（2）负极；

（3）16；

（4） $\text{C}+2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓})\xrightarrow{\Delta}\text{CO}_2\uparrow+2\text{SO}_2\uparrow+2\text{H}_2\text{O}$ ；反应物在催化剂表面吸附效果变差，炭与硫酸反应产生 SO_2 ，反应快速生成的 SO_3 占据所有活性位点，来不及脱附，使吸附很快达到饱和；

（5）① SO_2 在催化剂表面被吸附，并与 V_2O_5 发生反应 $4\text{SO}_2+2\text{V}_2\text{O}_5+\text{O}_2=4\text{VOSO}_4$ ，然后 VOSO_4 再与 O_2 发生反应 $\text{O}_2+4\text{VOSO}_4=2\text{V}_2\text{O}_5+4\text{SO}_3$ ；②氧气浓度过高时， O_2 和 SO_2 分子会产生竞争吸附的局势，

当 O_2 分子占据催化剂过多活性位点时，剩余的 SO_2 分子就不能很好地被吸附，导致脱硫率下降；

（6）活性炭材料表面的含氮官能团具有碱性，能够促进活性炭对 SO_2 的吸附及氧化。

【分析】（1） $\Delta H = \text{反应物的键能} - \text{生成物的键能}$ ；

（2）电解池中阴极发生还原反应，阳极发生氧化反应，结合物质的化合价变化进行分析即可；

（3）根据电子转移守恒进行分析解答；

（4）据图中信息可知，“热再生”是活性炭基材料与浓硫酸反应生成 SO_2 ；

（5）根据题意可知，该脱硫反应过程可描述为 SO_2 与 V_2O_5 作用形成具有 $VOSO_4$ 结构的中间体； $VOSO_4$ 中间体与气相的 O_2 反应生成 SO_3 和 V_2O_5 ；

（6）活性炭材料表面的含氮官能团具有碱性，能够促进活性炭对 SO_2 的吸附及氧化。

【解答】解：（1）1 mol CH_4 中含有 4 mol $C-H$ 键，1 mol CO_2 中含有 2 mol $C-O$ 键，1 mol CO 中含有 1 mol $C\equiv O$ 键，1 mol H_2 中含有 1 mol $H-H$ 键，根据反应 $CH_4(g) + CO_2(g) \xrightleftharpoons{\text{催化剂}} 2CO(g) + 2H_2(g)$ ，可得 $\Delta H = [4 \times E(C-H) + 2 \times E(C=O)] - [2 \times E(C\equiv O) + 2 \times E(H-H)] = (4 \times 413 + 2 \times 745) \text{ kJ/mol} - (2 \times 1075 + 2 \times 436) \text{ kJ/mol} = +120 \text{ kJ/mol}$ ，

故答案为：+120 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；

（2）从图示中，可知在吸收塔中 NO 变成了 N_2 ，N 的化合价降低， $S_2O_4^{2-}$ 变成了 HSO_3^- ，S 的化合价从 +3 升高到了 +4，化合价升高。在电解池中， HSO_3^- 变成了 $S_2O_4^{2-}$ ，S 的化合价从 +4 降低到 +3，得到电子，电极 I 为阴极，接连电源的负极，

故答案为：负极；

（3）整个装置中转移的电子数相同，处理标准状况下 22.4 L NO ，即 1 mol NO ，N 的化合价从 +2 降低到 0，转移了 2 mol 电子，阳极 $2H_2O - 4e^- = 4H^+ + O_2 \uparrow$ ，生成 16 g O_2 即 0.5 mol O_2 需要 2 mol 电子，

故答案为：16；

（4）①根据图中信息可知，“热再生”是活性炭基材料与浓硫酸反应生成 SO_2 ，反应的化学方程式为 $C + 2H_2SO_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} CO_2 \uparrow + 2SO_2 \uparrow + 2H_2O$ ，

故答案为： $C + 2H_2SO_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} CO_2 \uparrow + 2SO_2 \uparrow + 2H_2O$ ；

②研究表明，温度在脱硫过程中是一个非常重要的因素，温度过高，反应物在催化剂表面吸附效果变差，炭与硫酸反应产生 SO_2 ，反应快速生成的 SO_3 占据所有活性位点，来不及脱附，使吸附很快达到饱和，脱硫效果会变差，

故答案为：反应物在催化剂表面吸附效果变差，炭与硫酸反应产生 SO_2 ，反应快速生成的 SO_3 占据所有

活性位点，来不及脱附，使吸附很快达到饱和；

（5）①根据题意可知，该脱硫反应过程可描述为 SO_2 与 V_2O_5 作用形成具有 VOSO_4 结构的中间体； VOSO_4 中间体与气相的 O_2 反应生成 SO_3 和 V_2O_5 或 $3\text{SO}_2 + \text{V}_2\text{O}_5 + \text{O}_2 = 2\text{VOSO}_4 + \text{SO}_3$ ， $4\text{VOSO}_4 + \text{O}_2 = 2\text{V}_2\text{O}_5 + 4\text{SO}_3$ ，

故答案为： SO_2 在催化剂表面被吸附，并与 V_2O_5 发生反应 $4\text{SO}_2 + 2\text{V}_2\text{O}_5 + \text{O}_2 = 4\text{VOSO}_4$ ，然后 VOSO_4 再与 O_2 发生反应 $\text{O}_2 + 4\text{VOSO}_4 = 2\text{V}_2\text{O}_5 + 4\text{SO}_3$ ；

②当 O_2 浓度过高时，去除率下降，其可能原因是氧气浓度过高时， O_2 、 SO_2 和 NO 分子会产生竞争吸附的局势，当 O_2 分子占据催化剂过多活性位时，剩余的 SO_2 、 NO 分子就不能很好地被吸附，导致脱硫脱硝率下降；

故答案为：氧气浓度过高时， O_2 和 SO_2 分子会产生竞争吸附的局势，当 O_2 分子占据催化剂过多活性位点时，剩余的 SO_2 分子就不能很好地被吸附，导致脱硫率下降；

（6）活性炭材料表面的含氮官能团具有碱性，能够促进活性炭对 SO_2 的吸附及氧化，含氮官能团越丰富越有利于提升脱硫性能，

故答案为：活性炭材料表面的含氮官能团具有碱性，能够促进活性炭对 SO_2 的吸附及氧化。