

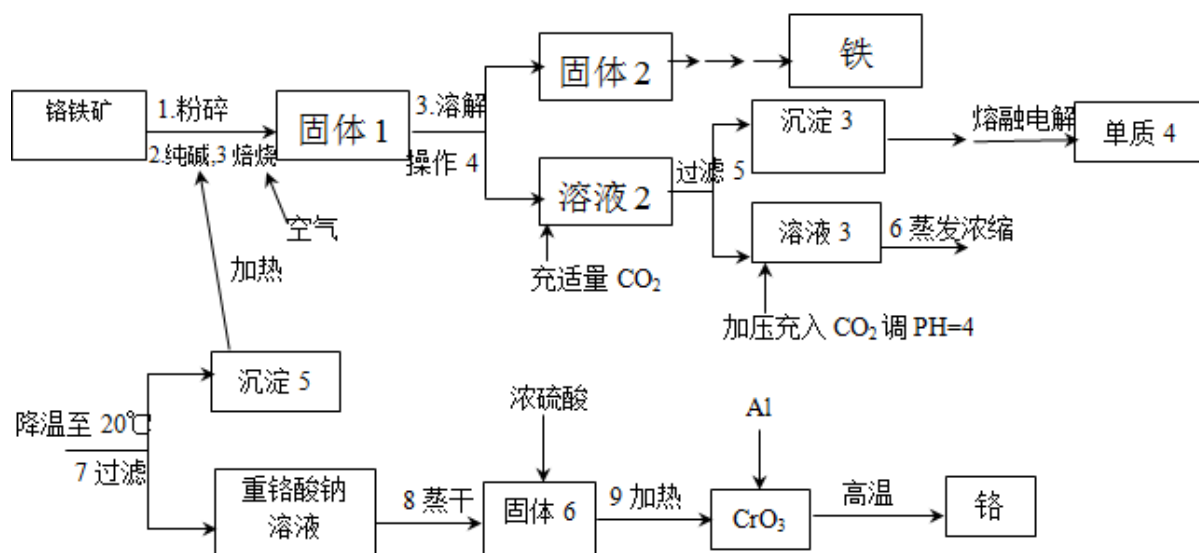
化工流程中陌生化学方程式的书写

1. 铬是重要的战略物质之一，由于具有质硬，耐磨，耐高温，抗腐蚀性等特性，所以在工业上应用比较广泛，在冶金工业上主要用铬铁矿（ Cr_2O_3 、 FeO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等，其它杂质不参加反应）生产铬和铁等金属。流程如下：

已知： $2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{O}_2 + 4\text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\text{焙烧}} 4\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 4\text{CO}_2$

部分物质的溶解度（单位 g）

	0℃	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
Na_2CO_3	7.0	13	29	40	49	46	44
NaHCO_3	6.9	8.5	9.6	11.1	12.7	14.4	16.9
$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	161	170	183	198	218	240	265



- (1) 粉碎的目的_____
- (2) 写出焙烧时含铝物质发生的化学反应方程式_____
- (3) 操作 4 是_____，沉淀 3 含有的物质有_____
- (4) 写出生成沉淀 5 的离子方程式_____
- (5) 整个流程可以循环使用的物质有_____
- (6) 最后一步制备金属铬的化学方程式_____

【答案】增大接触面积,加快反应速率 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\text{焙烧}} 4\text{NaAlO}_2 + \text{CO}_2 \uparrow$ 过滤 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 H_2SiO_3 $2\text{Na}^+ + 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 2\text{NaHCO}_3 \downarrow$ (Na_2CO_3 、 CO_2 、 Al) 或 NaHCO_3 、 $\text{AlCrO}_3 + 2\text{Al} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Cr} + 2\text{Al}_2\text{O}_3$

【解析】(1) 铬铁矿粉碎的目的：增大接触面积，加快反应速率；正确答案：增大接触面积，加快反应速率。

(2) 铬铁矿中的氧化铝与碳酸钠焙烧时发生反应生成偏铝酸钠和二氧化碳，化学反应方程式： $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{NaAlO}_2 + \text{CO}_2\uparrow$ ；正确答案： $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{NaAlO}_2 + \text{CO}_2\uparrow$ 。

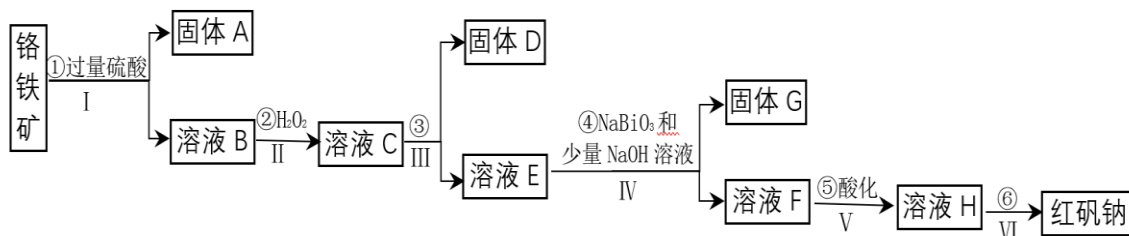
(3) 从流程看出该操作过程是把固体和液体分开，操作 4 是过滤；溶液 2 中含有硅酸钠、偏铝酸钠，铬酸钠，通入适量的二氧化碳后，生成 H_2SiO_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 两种沉淀，所以沉淀 3 含有的物质有 H_2SiO_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ；正确答案：过滤， H_2SiO_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。

(4) 溶液 3 为铬酸钠溶液，通入二氧化碳并调 $\text{pH}=4$ 后，生成碳酸氢钠固体和重铬酸钠，离子方程式： $2\text{Na}^+ + 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 2\text{NaHCO}_3\downarrow$ ；正确答案： $2\text{Na}^+ + 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 2\text{NaHCO}_3\downarrow$ 。

(5) 从流程图看出，整个流程可以循环使用的物质有 Na_2CO_3 、 CO_2 、Al 或 NaHCO_3 、Al；正确答案： Na_2CO_3 、 CO_2 、Al 或 NaHCO_3 、Al。

(6) 氧化铬在高温下被金属铝还原为铬，化学方程式： $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Cr} + \text{Al}_2\text{O}_3$ ；正确答案： $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Cr} + \text{Al}_2\text{O}_3$ 。

2. 工业上以铬铁矿(主要成分为 FeO 和 Cr_2O_3 ，含有 Al_2O_3 、 SiO_2 等杂质)为主要原料生产化工原料红矾钠(主要成分为： $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，其主要工艺流程如下：



查阅相关资料得知：

i. 常温下， NaBiO_3 不溶于水，有强氧化性，在碱性条件下能将 Cr^{3+} 转化为 CrO_4^{2-} 。

ii.

物质	开始沉淀的 pH	完全沉淀的 pH
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	2.7	3.7
$\text{Al}(\text{OH})_3$	3.4	4.4
$\text{Cr}(\text{OH})_3$	4.6	5.9
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	7.5	9.7
$\text{Bi}(\text{OH})_3$	0.7	4.5

回答下列问题:

(1)固体 A 的成分是_____。

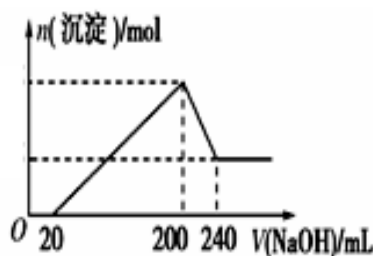
(2)操作 I、III、IV 用到的主要玻璃仪器有玻璃棒和_____、_____ (填仪器名称)。

(3)③为加入物质来调节溶液的 pH, 则 pH 的合适范围是_____。

(4)写出④反应的离子方程式_____。

(5)⑤中酸化是使 CrO_4^{2-} 转化为 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 写出该反应的离子方程式_____。

(6)取一定质量的固体 D 溶解于 200 mL 的稀硫酸中, 向所得溶液中加入 5.0 mol/L 的 NaOH 溶液, 生成沉淀的物质的量 (n) 与加入 NaOH 溶液的体积 (V) 关系如图所示, 则稀硫酸的浓度为_____, 固体 D 中含 Fe 化合物的物质的量为_____。



【答案】 SiO_2 漏斗 烧杯 $4.4-4.6$ $3\text{NaBiO}_3 + 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} = 2\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{Na}^+ + 3\text{Bi}(\text{OH})_3\downarrow + 2\text{H}^+$
 $\rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ 2.5mol L^{-1} 0.10mol

【解析】(1) 根据以上分析, 固体 A 的成分是 SiO_2 ,

因此, 本题正确答案为: SiO_2 ;

(2) 操作 I、III、IV 均是过滤, 则用到的主要玻璃仪器有玻璃棒和漏斗、烧杯;

(3) 从氢氧化物形成沉淀的 pH 表格可知, ③为加入物质来调节溶液的 pH, 使 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 沉淀, 而 Cr^{3+} 不沉淀, 则 pH 的合适范围是 4.4-4.6;

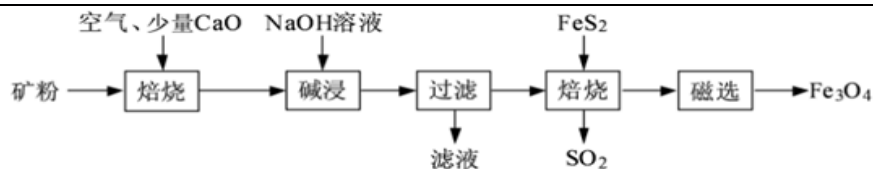
(4) 常温下, NaBiO_3 不溶于水, 有强氧化性, 在碱性条件下, 能将 Cr^{3+} 转化为 CrO_4^{2-} , 则反应④的离子方程式为: $3\text{NaBiO}_3 + 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} = 2\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{Na}^+ + 3\text{Bi}(\text{OH})_3\downarrow$;

(5) ⑤中酸化是使 CrO_4^{2-} 转化为 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, 在转化过程中元素化合价不变, 则该反应的离子方程式为 $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$,

(6) 根据图像可知加入氢氧化钠时没有立即产生沉淀, 这说明酸过量, 首先发生酸碱中和。当沉淀不再发生变化时需要氢氧化钠是 200mL, 继续加入氢氧化钠沉淀开始减小, 即氢氧化铝开始溶解, 溶解氢氧化铝消耗的氢氧化钠溶液是 40mL, 则生成氢氧化铝消耗的氢氧化钠溶液体积是 120mL, 所以与铁离子反应的氢氧化钠溶液体积是 200mL-20mL-120mL=60mL, 物质的量是 $5.0\text{mol/L} \times 0.06\text{L} = 0.3\text{mol}$, 所以根据方程式 $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$, 所以铁离子是 0.1mol。沉

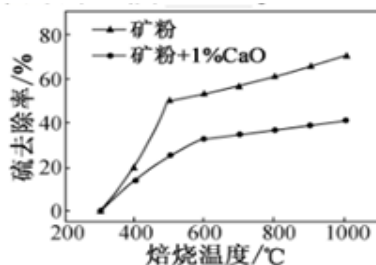
淀达到最大值时溶液中的溶质是硫酸钠, 则根据原子守恒可知硫酸钠的物质的量是 $\frac{5.0\text{mol/L} \times 0.2\text{L}}{2} = 0.5\text{mol}$, 则硫酸的浓度是 $\frac{0.5\text{mol}}{0.2\text{L}} = 2.5\text{mol/L}$ 。

3. 以高硫铝土矿 (主要成分为 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 , 少量 FeS_2 和金属硫酸盐) 为原料, 生产氧化铝并获得 Fe_3O_4 的部分工艺流程如下:



(1) 焙烧过程均会产生 SO_2 ，用 NaOH 溶液吸收过量 SO_2 的离子方程式为 _____。

(2) 添加 1% CaO 和不添加 CaO 的矿粉焙烧，其硫去除率随温度变化曲线如题图所示。



已知：多数金属硫酸盐的分解温度都高于 600°C ；硫去除率 = $\left(1 - \frac{\text{焙烧后矿粉中硫元素总质量}}{\text{焙烧前矿粉中硫元素总质量}}\right) \times 100\%$ 。

①不添加 CaO 的矿粉在低于 500°C 焙烧时，去除的硫元素主要来源于_____。

② 700°C 焙烧时，添加 1% CaO 的矿粉硫去除率比不添加 CaO 的矿粉硫去除率低，其主要原因是_____。

(3) 向“过滤”得到的滤液中通入过量 CO_2 ，铝元素存在的形式由_____（填化学式）转化为_____（填化学式）。

(4) “过滤”得到的滤渣中含大量的 Fe_2O_3 ， Fe_2O_3 与 FeS_2 混合后在缺氧条件下焙烧生成 Fe_3O_4 和 SO_2 ，理论上完全反应消耗的 $n(\text{FeS}_2):n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】 $\text{SO}_2 + \text{OH}^- = \text{HSO}_3^-$ 硫元素转化为 CaSO_4 而留在矿粉中 NaAlO_2 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 1: 16

【解析】(1) 过量 SO_2 与 NaOH 反应生成 NaHSO_3 ，反应的化学方程式为 $\text{SO}_2 + \text{NaOH} = \text{NaHSO}_3$ ，离子方程式为 $\text{SO}_2 + \text{OH}^- = \text{HSO}_3^-$ ，故答案为： $\text{SO}_2 + \text{OH}^- = \text{HSO}_3^-$ ；

(2) . ①根据题中信息可知，多数金属硫酸盐的分解温度高于 600°C ，不添加 CaO 的矿粉低于 500°C 时，去除的硫元素主要来源于 FeS_2 ，故答案为： FeS_2 ；

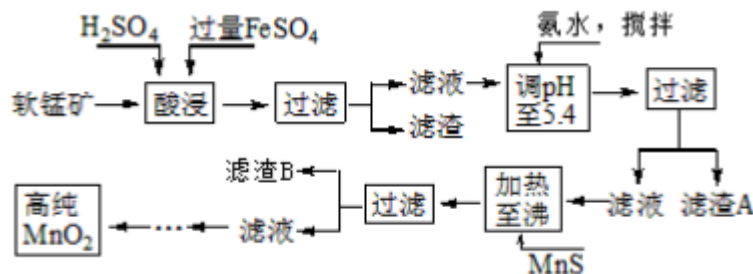
②. 700°C 焙烧时，添加 1% CaO ， CaO 起到固硫作用，反应方程式为 $2\text{CaO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{CaSO}_4$ ，根据硫去除率的含义， 700°C 焙烧时，添加 1% CaO 的矿粉硫去除率比不添加 CaO 的矿粉硫去除率低的原因是硫元素转化为 CaSO_4 留在矿粉中，故答案为：硫元素转化为 CaSO_4 而留在矿粉中；

(3) .“碱浸”时， Al_2O_3 、 SiO_2 转化为溶于水的 NaAlO_2 、 Na_2SiO_3 ，向“过滤”所得的滤液中通入过量 CO_2 ， CO_2 与 NaAlO_2 反应生成 NaHCO_3 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，故答案为： NaAlO_2 ； $\text{Al}(\text{OH})_3$ ；

(4) Fe_2O_3 与 FeS_2 混合后在缺氧条件下焙烧生成 Fe_3O_4 和 SO_2 ，反应的化学方程式为 $\text{FeS}_2 + 16\text{Fe}_2\text{O}_3 = 11\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{SO}_2\uparrow$ ，理论上完全反应消耗的 $n(\text{FeS}_2):n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1:16$ ，故答案为：1:16。

4. 二氧化

锰是制造锌锰干电池的基本材料，工业上以软锰矿、菱锰矿为原料来制备。某软锰矿主要成分为 MnO_2 ，还含有 Si (16.27%)、 Fe (5.86%)、 Al (3.42%)、 Zn (2.68%) 和 Cu (0.86%) 等元素的化合物，其处理流程图如下：



化合物	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
K_{sp} 近似值	10^{-35}	10^{-6}	10^{-38}

(1) 硫酸亚铁在酸性条件下将 MnO_2 还原为 MnSO_4 ，酸浸时发生的主要反应的化学方程式

为_____。

(2) “氨水、搅拌”，其中“搅拌”不仅能加快反应速率，还能_____；滤渣 A 的成分是 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，加入氨水需调节 pH 至少达到_____，恰好能使 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 沉淀完全。

(3) 滤渣 B 的成分是_____。

(4) MnO_2 也可在 $\text{MnSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 为体系的电解液中电解获得，其阳极电极反应式为_____。

(5) 工业上采用间接氧化还原滴定法测定 MnO_2 纯度，其操作过程如下：准确称量 0.9200g 该样品，与足量酸性 KI 溶液充分反应后，配制成 100mL 溶液。取其中 20.00mL，恰好与 25.00mL $0.0800\text{mol L}^{-1}\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液反应 ($\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$)。计算可得该样品纯度_____%。

【答案】 $\text{MnO}_2 + 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ 充分氧化过量的 Fe^{2+} 、 CuS 、 ZnS $\text{Mn}^{2+} - 2\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$ 47.3

【解析】

试题分析：本题以软锰矿制备 MnO_2 的流程为载体，考查流程的分析，物质的分离和提纯，溶度积的计算和沉淀的转化，电解原理和电极反应式的书写，氧化还原滴定测定物质的纯度。

(1) 软锰矿中加入 H_2SO_4 和过量 FeSO_4 溶液“酸浸”时 MnO_2 被还原为 MnSO_4 ，则 FeSO_4 被氧化成 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ，“酸浸”时发生的主要反应的化学方程式为： $\text{MnO}_2 + 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

(2) “酸浸”时除了 MnO_2 被还原成 MnSO_4 外， Fe 、 Al 、 Zn 、 Cu 也溶解转化为 FeSO_4 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 ZnSO_4 、 CuSO_4 ，酸浸后过滤得到的滤液中含 MnSO_4 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 FeSO_4 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 ZnSO_4 、 CuSO_4 ；向此滤液中加入氨水并搅拌，其中“搅拌”不仅能加快反应速率，还能将 Fe^{2+} 充分氧化转化成 Fe^{3+} ；加入氨水调节 pH 使 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 完全转化成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀形成滤渣 A，由于 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 类型相同且 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的溶度积大于 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的溶度积，使 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 完全沉淀，只要使 Al^{3+} 完全沉淀，即 $c(\text{Al}^{3+}) < 1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ， $c(\text{Al}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-) = 10^{-35}$ ， $c(\text{OH}^-) > \sqrt[3]{\frac{10^{-35}}{1 \times 10^{-5}}} = 1 \times 10^{-10} \text{ mol/L}$ ， $c(\text{H}^+) < 1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ ， $\text{pH} > 4$ ， pH 至少达到 4 能使 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 沉淀完全。

(3) 加入氨水调节 pH 至 5.4 经过滤后滤渣 A 为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，滤液中含 MnSO_4 、 ZnSO_4 、 CuSO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，向滤液中加入 MnS 并加热至沸，发生沉淀的转化形成难溶的 ZnS 、 CuS 将 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 除去，过滤得到的滤渣 B 的成分为 ZnS 、 CuS 。

(4) 根据题意电解过程中 MnSO_4 被氧化成 MnO_2 ，则阳极电极反应式为 $\text{Mn}^{2+} - 2e^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$ 。

(5) MnO_2 与足量酸性 KI 反应的离子方程式为： $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{I}^- = \text{Mn}^{2+} + \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ，得出关系式：

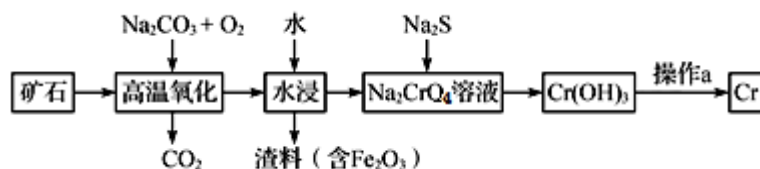
$$\text{MnO}_2 \sim \text{I}_2 \sim 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3, n(\text{MnO}_2) = \frac{1}{2}n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{1}{2} \times 0.08 \text{ mol/L} \times 0.025 \text{ L} \times \frac{100 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} = 0.005 \text{ mol}, m(\text{MnO}_2)$$

$$= 0.005 \text{ mol} \times 87 \text{ g/mol} = 0.435 \text{ g}, \text{该样品纯度为 } \frac{0.435 \text{ g}}{0.9200 \text{ g}} \times 100\% = 47.3\%。$$

5. 铬是一

种具有战略意义的金属，它具有多种价态，单质铬熔点为 1857°C 。

(1) 工业上以铬铁矿〔主要成分是 $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 〕为原料冶炼铬的流程如图所示：



① $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 中各元素化合价均为整数，则铬为_____价。

② 高温氧化时反应的化学方程式为_____。

③ 操作 a 由两种均发生了化学反应的过程构成的，其内容分别是_____、铝热反应。

(2) $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 是两性氢氧化物，请写出其分别与 NaOH 、稀硫酸反应时生成的两种盐的化学式_____、_____。

(3) 水中的铬元素对水质及环境均有严重的损害作用，必须进行无害化处理。

① 处理含有 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的污水方法通常为：用铁作电极电解污水， $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 被阳极区生成的离子还原成为 Cr^{3+} ，生成的 Cr^{3+}

与阴极区生成的 OH^- 结合生成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀除去。则阴极上的电极反应式为_____，若要处理含 $10\text{ mol Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的污水，则至少需要消耗的铁为_____g。

②转化为重要产品磁性铁铬氧体 ($\text{Cr}_x\text{Fe}_y\text{O}_z$)：先向含 CrO_4^{2-} 的污水中加入适量的硫酸及硫酸亚铁，待充分反应后再通入适量空气（氧化部分 Fe^{2+} ）并加入 NaOH ，就可以使铬、铁元素全部转化为磁性铁铬氧体。写出 CrO_4^{2-} 在酸性条件下被 Fe^{2+} 还原为 Cr^{3+} 的离子方程式：_____，若处理含 1 mol CrO_4^{2-} （不考虑其它含铬微粒）的污水时恰好消耗 10 mol FeSO_4 ，则当铁铬氧体中 $n(\text{Fe}^{2+}) : n(\text{Fe}^{3+}) = 3 : 2$ 时，铁铬氧体的化学式为_____。

【答案】 $+34\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + 7\text{O}_2 + 8\text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 8\text{CO}_2$ 灼烧使 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 分解
 $\text{NaCrO}_2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{OH}^- + \text{H}_2\uparrow$ （或者 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$ ）
 $33603\text{Fe}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ = 3\text{Fe}^{3+} + \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{Cr}_2\text{Fe}_{20}\text{O}_{27}$

【解析】(1) ① $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 中 Fe、Cr 的化合价分别为 +x、+y，根据化合物中各元素的正负化合价代数和为 0， $(+x) + 2 \times (+y) + 4 \times (-2) = 0$ ，x、y 均为整数，经讨论 $x=2$ ， $y=3$ ，Fe 的化合价为 +2 价，Cr 的化合价为 +3 价。

②根据流程，高温氧化时 $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 与 Na_2CO_3 、 O_2 反应生成 CO_2 、 Fe_2O_3 、 Na_2CrO_4 ，反应可写成 $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CrO}_4$ ，在反应中 Fe 元素的化合价由 +2 价升至 +3 价、Cr 元素的化合价由 +3 价升至 +6 价， $1\text{ mol Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 参与反应失去 7 mol 电子， 1 mol O_2 参与反应得到 4 mol 电子，根据电子守恒和原子守恒配平，高温氧化时反应的化学方程式为： $4\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + 8\text{Na}_2\text{CO}_3 + 7\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 8\text{CO}_2 + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{Na}_2\text{CrO}_4$ 。

③操作 a 将 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 经两步反应生成 Cr，后一步为铝热反应，则第一步反应为灼烧使 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 分解，两步反应的化学方程式为 $2\text{Cr}(\text{OH})_3 \triangleq \text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $2\text{Al} + \text{Cr}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Cr}$ 。

(2) $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 都属于两性氢氧化物，模仿 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 与 NaOH 、稀硫酸的反应， $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 与 NaOH 、稀硫酸反应的化学方程式分别为 $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{NaOH} = \text{NaCrO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 与 NaOH 、稀硫酸反应生成的盐的化学式为 NaCrO_2 、 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ 。

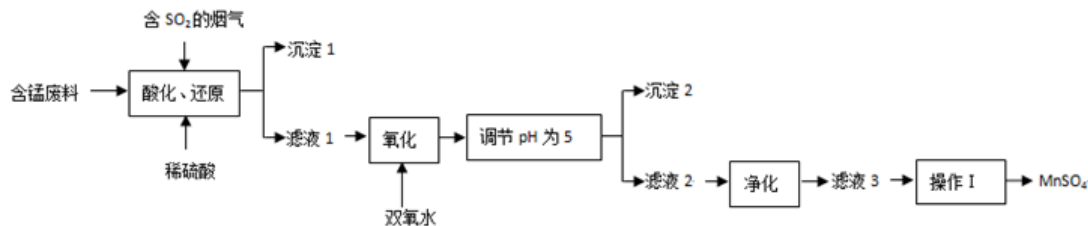
(3) ①以 Fe 作电极，阳极电极反应式为 $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$ ，阴极电极反应式为 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$ （或 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$ ）。在阳极区 Fe^{2+} 将 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 还原为 Cr^{3+} ， Fe^{2+} 自身被氧化成 Fe^{3+} ， $1\text{ mol Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 得到 6 mol 电子生成 2 mol Cr^{3+} ， 1 mol Fe^{2+} 失去 1 mol 电子生成 1 mol Fe^{3+} ，根据得失电子守恒， $n(\text{Fe}^{2+}) = 6n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 6 \times 10\text{ mol} = 60\text{ mol}$ ，根据 Fe 守恒，至少需要消耗 Fe 的物质的量为 60 mol ，至少需要消耗 Fe 的质量为 $60\text{ mol} \times 56\text{ g/mol} = 3360\text{ g}$ 。

②酸性条件下 CrO_4^{2-} 被 Fe^{2+} 还原为 Cr^{3+} ， Fe^{2+} 被氧化成 Fe^{3+} ，反应可写成 $\text{Fe}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{Cr}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$ ，在反应中 1 mol Fe^{2+} 失去 1 mol 电子， 1 mol CrO_4^{2-} 得到 3 mol 电子，根据得失电子守恒、原子守恒和电荷守恒， CrO_4^{2-} 在酸性条件下被 Fe^{2+} 还原为 Cr^{3+} 的离子方程式为 $3\text{Fe}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ = 3\text{Fe}^{3+} + \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$ 。根据 Fe 守恒，铁铬氧体中 $n(\text{Fe}^{2+}) = 10\text{ mol} \times \frac{3}{5} = 6\text{ mol}$ ， $n(\text{Fe}^{3+}) = 10\text{ mol} \times \frac{2}{5} = 4\text{ mol}$ ，根据 Cr 守恒，铁铬氧体中 $n(\text{Cr}^{3+}) = n$

$(\text{CrO}_4^{2-}) = 1\text{ mol}$ ，根据电荷守恒，铁铬氧体中 $n(\text{O}^{2-}) = \frac{3 \times 6\text{ mol} + 3 \times 4\text{ mol} + 3 \times 1\text{ mol}}{2} = 13.5\text{ mol}$ ，铁铬氧体中 $n(\text{Cr})$ ：

$n(\text{Fe}) : n(\text{O}) = 1\text{ mol} : 10\text{ mol} : 13.5\text{ mol} = 2 : 20 : 27$ ，铁铬氧体的化学式为 $\text{Cr}_2\text{Fe}_{20}\text{O}_{27}$ 。

用含锰废料(主要成分 MnO_2 ，含有少量 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CuO 、 CaO 等)与烟气脱硫进行联合处理并制备 MnSO_4 的流程如下：

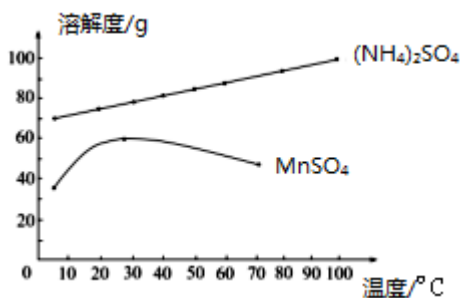


已知：25℃时，部分氢氧化物的溶度积常数(K_{sp})如下表所示。

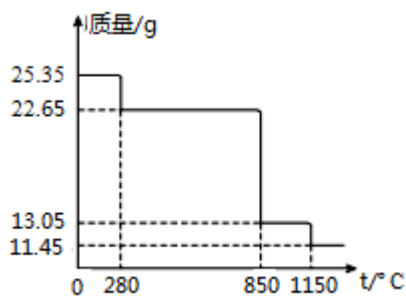
氢氧化物	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{Mn}(\text{OH})_2$
K_{sp}	1.3×10^{-33}	4.0×10^{-38}	2.2×10^{-20}	1.9×10^{-14}

请回答：

- 沉淀 1 的化学式为_____。
- 室温下，调节 pH 为 5。试通过计算说明此时 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 已沉淀完全，理由是_____。“净化”时，加入 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 的作用为_____。
- “酸化、还原”中，发生的所有氧化还原反应的离子方程式为_____。
- 已知：滤液 3 中除 MnSO_4 外，还含有少量 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 MnSO_4 的溶解度曲线如下图所示。据此判断，操作“T”应为蒸发浓缩、_____、洗涤、干燥。



- 工业上可用电解酸性 MnSO_4 溶液的方法制备 MnO_2 ，其阳极反应式为_____。
- 25.35 g $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 样品受热分解过程的热重曲线(样品质量随温度变化的曲线)如下图所示。1150℃时，反应的化学方程式为_____。



【答案】CaSO₄pH=5 时, $[Al^{3+}] = 1.3 \times 10^{-33} / (10^{-9})^3 = 1.3 \times 10^{-6} < 10^{-5}$, 说明 Al^{3+} 已经沉淀完全。 $Fe(OH)_3$ 的 K_{sp} 更小, 因此 Fe^{3+} 也已沉淀完全除去 $Cu^{2+} + MnO_2 + SO_2 = Mn^{2+} + SO_4^{2-}$ 、 $Fe_2O_3 + SO_2 + 2H^+ = 2Fe^{2+} + SO_4^{2-} + H_2O$ 趁热过滤



【解析】(1) 含锰废料中氧化钙与稀硫酸反应: $CaO + 2H^+ + SO_4^{2-} = CaSO_4 \downarrow + H_2O$, 沉淀 1 为 $CaSO_4$;

(2) pH=5 时, $c(Al^{3+}) = 1.3 \times 10^{-33} / (10^{-9})^3 = 1.3 \times 10^{-6} < 10^{-5}$, 说明 Al^{3+} 已经沉淀完全。 $Fe(OH)_3$ 的 K_{sp} 更小, 因此 Fe^{3+} 也已沉淀完全; $(NH_4)_2S$ 的作用沉淀 Cu^{2+} 使 Cu^{2+} 转化为 CuS 沉淀;

(3) “酸化、还原”中, 发生的所有氧化还原反应的离子方程式为: $SO_2 + MnO_2 = Mn^{2+} + SO_4^{2-}$, $Fe_2O_3 + SO_2 + 2H^+ = 2Fe^{2+} + SO_4^{2-} + H_2O$;

(4) 由图可知 $(NH_4)_2SO_4$ 的溶解度随温度的升高而增大, $MnSO_4$ 的溶解度随温度的升高减小, 故将滤液 3 蒸发浓缩、趁热过滤、洗涤、干燥制备 $MnSO_4$;

(5) 用电解酸性 $MnSO_4$ 溶液的方法制备 MnO_2 , 阳极发生氧化反应, 反应式为: $Mn^{2+} + 2H_2O - 2e^- = MnO_2 + 4H^+$;

(6) 25.35g $MnSO_4 \cdot H_2O$ 样品 $n(\text{锰}) = n(MnSO_4 \cdot H_2O) = 0.15 \text{ mol}$, 其中 $n(H_2O) = 0.15 \text{ mol}$, $m(H_2O) = 2.7 \text{ g}$, $300^\circ C$ 时, 所得固体质量为 22.65g, 减少的质量为 2.7g, 则说明该段失去结晶水, 此时固体为: $MnSO_4$; $300^\circ C$ 时, 固体为: $MnSO_4$, 受热分解生成锰的氧化物和硫的氧化物 0.15mol, $850^\circ C$ 时, 固体质量由 22.65g 减少到为 13.05g, 减少的质量为 9.6g, 则硫氧化物的相对质量为 64, 故为二氧化硫, 则此时的固体为 MnO_2 , $1150^\circ C$ 时固体为为二氧化锰分解所得, 锰元素质量守恒, 则 $m(\text{锰}) = n(\text{锰}) \times 55 = 8.25 \text{ g}$, 则氧化物中 $m(O) = 11.45 \text{ g} - 8.25 \text{ g} = 3.2 \text{ g}$, $n(O) = 0.2 \text{ mol}$, 故 $n(Mn) : n(O) = 0.15 : 0.2 = 3 : 4$, 则该氧化物为: Mn_3O_4 , 故反应为: $3MnO_2 \xrightarrow{1150^\circ C} Mn_3O_4 + O_2 \uparrow$ 。

7. 红帘石

矿的主要成分为 Fe_3O_4 、 Al_2O_3 、 $MnCO_3$ 、 MgO 少量 MnO_2 等。工业上将红帘石处理后运用阴离子膜电解法的新技术提取金属锰并制得绿色高效的水处理剂(K_2FeO_4)。工业流程如下:



(1) 在稀硫酸浸取矿石的过程中, MnO_2 可将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , 写出该反应的离子方程式:_____。

(2) 浸出液中的阳离子除 H^+ 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 外还有_____(填离子符号)。

(3) 已知:不同金属离子生成生成氢氧化物沉淀所需的 pH 如下表:

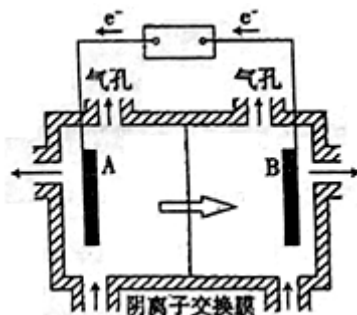
离子	Fe^{3+}	Al^{3+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Mg^{2+}
开始沉淀的 pH	2.7	3.7	7.0	7.8	9.6
完全沉淀的 pH	3.7	4.7	9.6	9.8	11.1

步骤②中调节溶液的 pH 等于 6，调节 pH 的试剂最好选用下列哪种试剂：_____ (填选项字母，下同) 滤渣 B 除掉杂质后可进一步制取 K_2FeO_4 ，除掉滤渣 B 中杂质最好选用下列哪种试剂：_____。

a. 稀盐酸 b. KOH c. 氨水 d. MnCO_3 e. CaCO_3

(4) 滤渣 B 经反应④生成高效水处理剂的离子方程式_____。

(5) 电解装置如图所示，箭头表示溶液中阴离子移动的方向；阳极电解液是稀硫酸，若阴极上只有锰单质析出，当生成 11g 锰时，另一个电极上产生的气体在标准状况下的体积为_____ L。



【答案】 $\text{MnO}_2 + 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Mg^{2+} 、

Al^{3+} d. $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{FeO}_4^{2-} + 3\text{Cl}^- + 5\text{H}_2\text{O}$ 2.24

【解析】(1) 在稀硫酸浸取矿石的过程中， MnO_2 可将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ，该反应的离子方程式 $\text{MnO}_2 + 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ ；

(2) 红帘石矿的主要成分为 Fe_3O_4 、 Al_2O_3 、 MnCO_3 、 MgO 少量 MnO_2 等，加稀硫酸后发生反应，浸出液中的阳离子除 H^+ 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 外还有 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} ；

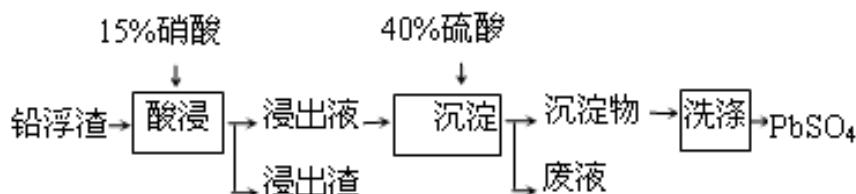
(3) 步骤②中调节溶液的 pH 等于 6，最好选用 MnCO_3 ，不会增加新杂质。根据表中所给数据，pH=6 时， Fe^{3+} 、 Al^{3+} 完全沉淀，所以滤渣 B 的成分为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，除去 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 可加入 KOH 溶液，使 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 溶解。答案分别选 d、b；

(4) 滤渣 B 含 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，被 ClO^- 氧化为 FeO_4^{2-} ，离子方程式为： $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{FeO}_4^{2-} + 3\text{Cl}^- + 5\text{H}_2\text{O}$ ；

(5) 电解时，电解质溶液中阴离子移向阳极，所以电极 B 与直流电源的正极相连做阳极，则 A 电极与直流电源的负极相连做阴极；若阴极上只有锰单质析出，当生成 19g 锰为 0.2mol 时， $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow 2\text{e}^-$ 转移的电子数为 0.4mol，阳极： $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ 产生的氧气为 0.1mol 标况下体积为 2.24L。

8. 铅的单质、氧化物、铅盐在现代工业中有着重要的用途。

(1) 工业利用锌冶炼过程中的铅浮渣生产硫酸铅的流程如下 [已知铅浮渣的主要成分是 PbO 、 Pb ，还含有少量 Ag、Zn、CaO 和其他不溶于硝酸的杂质。



①生产过程中，必须使浸出渣中仍含少量的铅单质，其目的是_____，废液中存在可循环利用的物质，该物质是_____，加 40% 硫酸的目的是_____

②写出酸浸过程中单质铅反应的化学方程式：_____，若沉淀物含有极少量 CaSO_4 ，则洗涤剂最好使用_____

a. 水 b. 10% 硫酸、水 c. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液、水

(2) 已知铅能形成多种氧化物，如碱性氧化物 PbO 、酸性氧化物 PbO_2 以及 Pb_3O_4 。 Pb_3O_4 能与硝酸发生非氧化还原反应生成一种盐和一种铅的氧化物，写出反应的化学方程式_____。

【答案】防止银溶解在硝酸中 HNO_3 沉淀 $\text{Pb}^{2+} + 3\text{Pb} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$
 $\text{Pb}_3\text{O}_4 + 4\text{HNO}_3 = \text{PbO}_2 + 2\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

【解析】(1) ①因单质银也能与硝酸反应，但它没有铅活泼，当铅有少量剩余时，银就不会溶解硝酸中，故浸出渣中需含有少量的铅单质，废液中的主要成分是 HNO_3 ，它可以循环利用；加 40% 硫酸的目的是生成 PbSO_4 沉淀；②稀硝酸还原产物为 NO ， Pb 与稀硝酸反应生成硝酸铅和 NO 和水，化学反应方程式为： $3\text{Pb} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ ，可先用 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液洗涤，最后用水洗涤，这样做既可将 CaSO_4 转化为 PbSO_4 达到除去杂质的目的，又可提高铅元素的利用率。(2) 由题目信息知 Pb_3O_4 中铅的化合价为 +2、+4 两种价态，相当于 $2\text{PbO} \cdot \text{PbO}_2$ ，由于 PbO_2 是酸性氧化物，故它不能与硝酸反应， PbO 是碱性氧化物，它与硝酸发生非氧化还原反应，生成 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，由此可写出对应的化学方程式： $\text{Pb}_3\text{O}_4 + 4\text{HNO}_3 = \text{PbO}_2 + 2\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

9. 铬元素

及其化合物在生产、生活中具有广泛的用途。以某铬矿石(主要成分是 Cr_2O_3 ，含 FeO 、 SiO_2 等杂质)为原料生产 Cr_2O_3 的流程如下：



已知：主要反应是： $2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 4\text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 4\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 4\text{CO}_2$

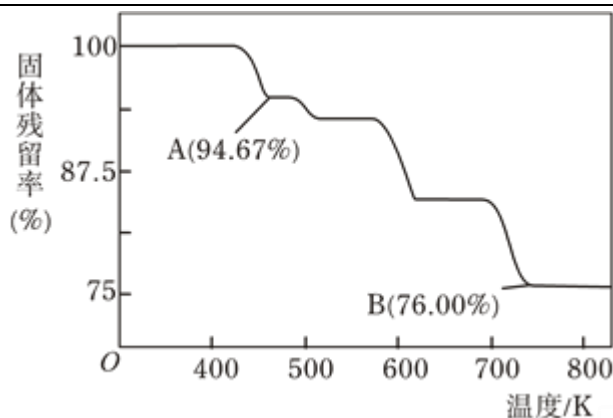
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$, $K_{\text{sp}}[\text{Cr}(\text{OH})_3] = 6.4 \times 10^{-31}$, $\lg 2 = 0.3$

(1) $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 性质类似，则 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 与 KOH 反应的离子方程式为：_____；

(2) 步骤⑤中为了使 Cr^{3+} 完全沉淀[此时， $c(\text{Cr}^{3+}) \leq 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$]，pH 至少调至_____；

(3) 滤液 3 中的主要溶质是两种盐，化学式为_____、_____；

(4) CrO_3 的热稳定性较差，加热时逐步分解，其固体残留率随温度的变化如图所示，则 B 点时剩余 Cr 的氧化物化学式为_____。



【答案】 $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- = \text{CrO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$ $5.6(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{Cr}_2\text{O}_3$

【解析】(1) $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 性质类似, 具有两性, 则 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 与 KOH 反应的离子方程式为: $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- = \text{CrO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$;

(2) Cr^{3+} 沉淀完全的浓度为 $10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 根据 $K_{\text{sp}}[\text{Cr}(\text{OH})_3] = c(\text{Cr}^{3+}) \times c^3(\text{OH}^-) = 6.4 \times 10^{-31}$, 可知 $c(\text{OH}^-) = 4 \times 10^{-9} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $c(\text{H}^+) = 10^{-14} / 4 \times 10^{-9} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1/4 \times 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $\text{pH} = -\lg(1/4 \times 10^{-5}) = 5.6$. 步骤⑤中为了使 Cr^{3+} 完全沉淀[此时, $c(\text{Cr}^{3+}) \leq 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$], pH 至少调至 5.6;

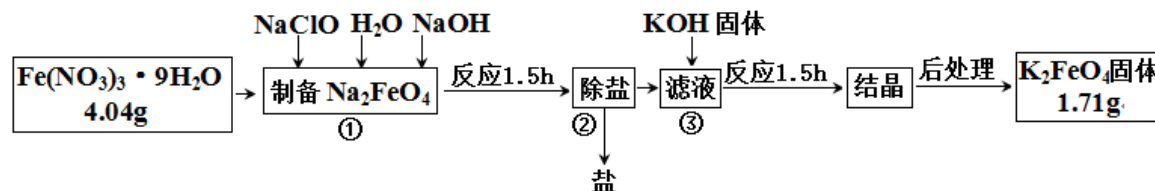
(3) 滤液 3 中的主要溶质是两种盐, 化学式为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 Na_2SO_4 ;

(4) 设 Cr_2O_3 的质量为 100g, 则 Cr_2O_3 中铬元素的质量为: $100\text{g} \times 52 / (52 + 16 \times 3) = 52\text{g}$, B 点时固体的质量为: $100\text{g} \times 76\% = 76\text{g}$, Cr 的质量没有变, 所以生成物中 Cr 的质量为 52g, 氧元素的质量为 16, 两者的个数比为

$\frac{52}{52} : \frac{16}{16} = 2 : 3$, 所以 B 点时剩余固体的成分是 Cr_2O_3 .

10. 高铁

酸钾是一种新型绿色氧化剂, 制备高铁酸钾的工艺流程如下:



回答下列问题:

(1) 步骤①中 NaClO 作_____ (填“氧化剂”“还原剂”或“催化剂”)。

(2) 步骤②脱除的盐除 NaNO_3 外, 还有 _____ (填化学式)。

(3) 步骤③是利用溶解度的不同进行的操作。则溶解度: Na_2FeO_4 _____ (填“>”或“<”) K_2FeO_4 。

(4) 本次实验中 K_2FeO_4 的产率为_____。

(5) 取少量 K_2FeO_4 于试管中, 加硝酸酸化并堵住试管口, 观察到溶液中有细微的小气泡产生, 溶液紫色逐渐褪去, 伸入一根带火星的木条, 木条复燃; 再向溶液中加入 KSCN 溶液, 溶液变为血红色。如果标况下产生气体 2.24L, 则参加反应的 FeO_4^{2-} 数目 _____; K_2FeO_4 作为净水剂的优点除铁无毒, 能消毒杀菌外还有 _____。

(6) 某同学设计以下两个实验探究高铁酸钾的稳定性。

(实验 1) 将适量 K_2FeO_4 固体分别溶解于 pH 为 4.74、7.00、11.50 的水溶液中, 配得 FeO_4^{2-} 浓度为 $1.0 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

($1\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}=10^{-3}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 的试样, 静置, 结果见图 1。

(实验 2) 将适量 K_2FeO_4 溶解于 $\text{pH}=4.74$ 的水溶液中, 配制成 FeO_4^{2-} 浓度为 $1.0\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的试样, 将试样分别置于 20°C 、 30°C 、 40°C 和 60°C 的恒温水浴中, 结果见图 2。

(实验结论) 根据图一, 可以得出的结论是: _____。

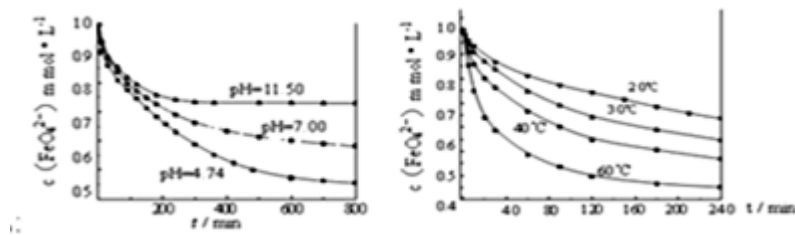


图 1

图 2

(7) 常温下, 某水溶液含有 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} , 调节溶液 $\text{pH}=10$ 时, 两种氢氧化物沉淀共存, 已知该温度下, $K_{\text{sp}}(\text{Fe}(\text{OH})_3) = a$, $K_{\text{sp}}(\text{Cu}(\text{OH})_2) = b$, 则溶液中 $C(\text{Fe}^{3+})/C(\text{Cu}^{2+}) =$ _____。

【答案】氧化剂 $\text{NaClO} > 86.36\% / 15 N_A$ 或 2.4×10^{23} 生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体粒子可吸附水中悬浮杂质其他条件不变时, pH 越小, K_2FeO_4 越不稳定 $10^4 a/b$

【解析】(1) 步骤①中 Fe^{3+} 被 NaClO 在碱性条件下氧化为 FeO_4^{2-} , 则 NaClO 作氧化剂; 正确答案: 氧化剂。

(2) 步骤①中 NaClO 的还原产物为 NaCl , 反应同时生成 NaNO_3 , 这两种盐均需要除去, 否则影响产品的纯度, 则步骤

②脱除的盐除 NaNO_3 外, 还有 NaCl ; 正确答案: NaCl 。

(3) 步骤③在 Na_2FeO_4 溶液中加入 KOH 固体, 可析出溶解度小的 K_2FeO_4 , 则溶解度 $\text{Na}_2\text{FeO}_4 > \text{K}_2\text{FeO}_4$; 正确答案: $>$ 。

(4) $4.04\text{gFe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 的物质的量为 $4.04/404=0.01\text{g}$, 实验中 K_2FeO_4 的产率为 $0.01 \times 198 / 1.71 \times 100\% = 86.36\%$; 正确答案: 86.36% 。

(5) 根据题给信息可知: K_2FeO_4 酸化时有氧气和 Fe^{3+} 生成, 根据电子守恒、电荷守恒及原子守恒可知发生反应的离子方程式为 $4\text{FeO}_4^{2-} + 20\text{H}^+ = 4\text{Fe}^{3+} + 3\text{O}_2\uparrow + 10\text{H}_2\text{O}$; 根据 $4\text{FeO}_4^{2-} \sim 12\text{e}^- \sim 3\text{O}_2$ 关系可知, 如果标况下产生氧气 2.24L (即为 0.1mol), 则参加反应的 FeO_4^{2-} 数目 $2/15 N_A$ 或 2.4×10^{23} ; K_2FeO_4 作为净水剂的优点除铁无毒外, 还体现在自身的强氧化性, 能消毒杀菌, 同时还原产物 Fe^{3+} 水解生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 可吸附水中悬浮杂质; 正确答案: $2/15 N_A$ 或 2.4×10^{23} ; 生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体粒子可吸附水中悬浮杂质。

(6) 根据图一, 可以得出的结论是: 其他条件不变时, pH 越小, K_2FeO_4 越不稳定; 正确答案: 其他条件不变时, pH 越小, K_2FeO_4 越不稳定。

(7) $c(\text{Fe}^{3+})/c(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{Fe}^{3+}) \times c^3(\text{OH}^-) / c(\text{Cu}^{2+}) \times c^2(\text{OH}^-) \times c(\text{OH}^-) = K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] / K_{\text{sp}}[\text{Cu}(\text{OH})_2] \times c(\text{OH}^-) = a/b \times c(\text{OH}^-)$, 由于溶液 $\text{pH}=10$ 时, $c(\text{H}^+) = 10^{-10}\text{mol/L}$, 所以 $c(\text{OH}^-) = 10^{-4}\text{mol/L}$, 带入上式可得 $c(\text{Fe}^{3+})/c(\text{Cu}^{2+}) = 10^4 a/b$; 正确答案: $10^4 a/b$ 。

11. 为了保护环境, 充分利用资源, 可将工业废弃物转变成重要的化工原料。回答下列问题:

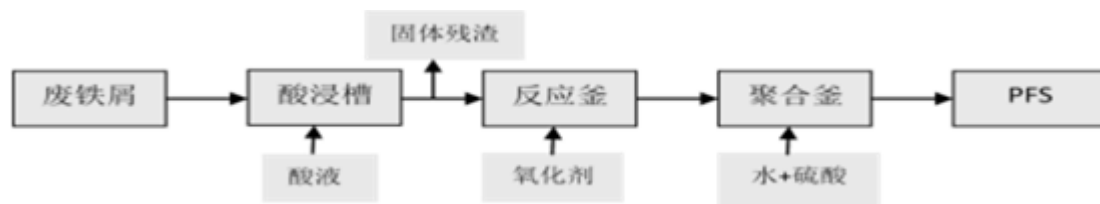
(1) 可用 NaClO_3 氧化酸性 FeCl_2 废液得到 FeCl_3 , FeCl_3 具有净水作用, 但腐蚀设备。

①写出 NaClO_3 氧化酸性 FeCl_2 的离子方程式: _____。

②若酸性 FeCl_2 废液中: $c(\text{Fe}^{2+}) = 2.0 \times 10^{-2}\text{mol/L}$, $c(\text{Fe}^{3+}) = 1.0 \times 10^{-3}\text{mol/L}$, $c(\text{Cl}^-) = 5.3 \times 10^{-2}\text{mol/L}$, 则该溶液的 pH 约为 _____。

③ FeCl_3 净水的原理是：_____（用离子方程式及适当文字回答）；

（2）可用废铁屑为原料，按下图的工艺流程制备聚合硫酸铁（PFS），PFS 是一种新型的絮凝剂，处理污水比 FeCl_3 高效，且腐蚀性小。



①酸浸时最合适的酸是_____。

②反应釜中加入的氧化剂，下列试剂中最合适的是_____（填标号）。

a. HNO_3 b. KMnO_4 c. Cl_2 d. H_2O_2

检验其中 Fe^{2+} 是否完全被氧化，应选择_____（填标号）。

a. $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液 b. Na_2SO_3 溶液 c. KSCN 溶液

③生成 PFS 的离子方程式为： $x\text{Fe}^{3+} + y\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}_x(\text{OH})_y^{(3x-y)+} + y\text{H}^+$ 欲使平衡正向移动可采用的方法是_____（填标号）。

加入 NaHCO_3 b. 降温 c. 加水稀释 d. 加入 NH_4Cl

【答案】 $\text{ClO}_3^- + 6\text{Fe}^{2+} + 6\text{H}^+ = \text{Cl}^- + 6\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ $2\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 3\text{H}^+ + \text{Fe}(\text{OH})_3$ ，水解生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体粒子能吸附水中的悬浮杂质硫酸 daac

【解析】（1）①酸性条件下， ClO_3^- 将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ，同时 Cl 元素化合价从 +5 价降低为 -1 价，反应的离子方程式为： $\text{ClO}_3^- + 6\text{Fe}^{2+} + 6\text{H}^+ = \text{Cl}^- + 6\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ ；正确答案： $\text{ClO}_3^- + 6\text{Fe}^{2+} + 6\text{H}^+ = \text{Cl}^- + 6\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

②根据溶液电荷守恒可得： $2c(\text{Fe}^{2+}) + 3c(\text{Fe}^{3+}) + c(\text{H}^+) = c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-)$ 代入数据计算得： $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + 10^{-2}$ ，根据 $K_w = c(\text{H}^+) \times c(\text{OH}^-) = 10^{-14}$ 可知 $c(\text{OH}^-)$ 可以忽略不计，则 $c(\text{H}^+) \approx 10^{-2}$ ，故该溶液 pH 约为 2；正确答案：2。

③ Fe^{3+} 在溶液中发生部分水解： $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 3\text{H}^+ + \text{Fe}(\text{OH})_3$ ，水解生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体粒子能吸附水中的悬浮杂质，故可作净水剂；正确答案： $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 3\text{H}^+ + \text{Fe}(\text{OH})_3$ ，水解生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体粒子能吸附水中的悬浮杂质。

（2）①使用硫酸，既能保证铁屑被充分溶解，又不引入其它酸根离子；正确答案：硫酸。

②为了不引入其它杂质离子，反应釜中最合适的氧化剂是 H_2O_2 ，故选 d 项； $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液遇 Fe^{2+} 反应生成蓝色沉淀，因此若溶液中 Fe^{2+} 未被完全氧化，则产生蓝色沉淀，若 Fe^{2+} 被完全氧化，则无蓝色沉淀，故选 a 项；正确答案：d；a。

③a 项， NaHCO_3 可以与 H^+ 反应使得 H^+ 浓度降低，使得平衡正向移动，故选 a 项；

b 项，水解反应为吸热反应，降低温度使得平衡逆向移动，故不选 b 项；

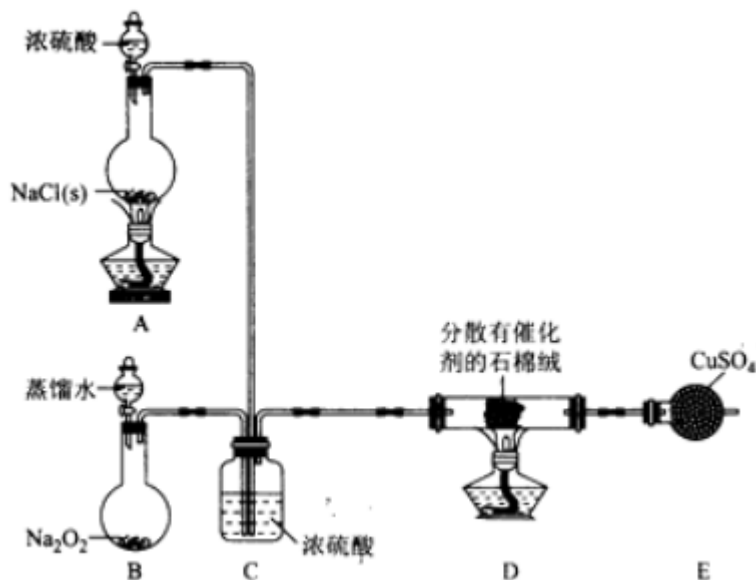
c 项，加水稀释，促进水解，即平衡正向移动，故选 c 项；

d 项，PFS 在离子方程式中不拆解，说明其氢氧根不能在溶液中电离出来，因此加入 NH_4Cl 后并不消耗生成物，平衡不移动，故不选 d 项；综上所述可知只有 ac 符合题意；正确选项 ac。

12. Cl_2 常

用作自来水消毒剂， Cl_2 作消毒剂时生成的有机氯化物可能对人体有害。 ClO_2 被世界卫生组织(WHO)列为 A 级高效、

安全灭菌消毒剂，将逐渐取代 Cl_2 成为自来水的消毒剂。某小组探究“地康法制氯气”的原理并验证 Cl_2 的性质，设计实验如下(夹持装置略去)。请回答下列问题：

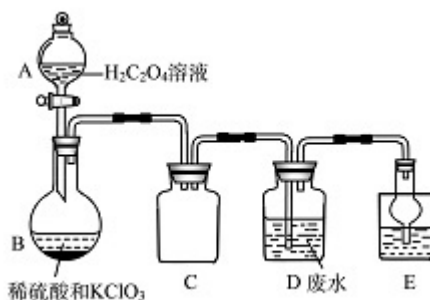


- (1) A 装置中反应利用了浓硫酸的难挥发性，则该反应的化学方程式为_____。
- (2) 当 B 装置中反应转移 0.08 mol 电子时，则消耗的 Na_2O_2 固体的质量为_____。
- (3) 反应开始后，硫酸铜变蓝，则装置 D 中发生反应的化学方程式为_____。
- (4) ClO_2 的制备方法比较实用的有数十种，下列方法是常见方法之一。

方法一： $2\text{NaClO}_3 + 4\text{HCl} = 2\text{ClO}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。当有 0.4 mol 电子发生转移时，得到的还原产物为_____mol。

方法二：实验室常用氯酸钾(KClO_3)、草酸($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)和硫酸溶液共热制备。

有同学设计如下装置制备 ClO_2 并用其处理含锰离子的工业废水。



- ①C 装置的作用为_____。
- ②B 中反应产物有 ClO_2 、 CO_2 等，发生氧化反应的过程为：_____ \rightarrow _____ (用化学式表示)。
- ③写出装置 D 中除去 Mn^{2+} (已知 Mn^{2+} 转化为 MnO_2) 的离子方程式：_____。

【答案】 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + \text{NaCl} \xrightarrow{\Delta} \text{NaHSO}_4 + \text{HCl} \uparrow$ [或 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + 2\text{NaCl} \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl} \uparrow$]
 $6.24 \text{ g } 4\text{HCl} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}_2$
 0.4 安全瓶，防倒吸 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CO}_2$
 $2\text{ClO}_2 + 5\text{Mn}^{2+} + 6\text{H}_2\text{O} = 5\text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{Cl}^- + 12\text{H}^+$

【解析】(1) A 装置中反应利用了浓硫酸的难挥发性，浓硫酸与氯化钠加热反应生成硫酸盐和氯化氢，反

应的化学方程式为： $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + \text{NaCl} \xrightarrow{\Delta} \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}\uparrow$ [或 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + 2\text{NaCl} \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}\uparrow$]；正确答案： $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + \text{NaCl} \xrightarrow{\Delta} \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}\uparrow$ [或 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) + 2\text{NaCl} \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}\uparrow$]。

(2) 过氧化钠与水反应生成氢氧化钠和氧气，转移电子与过氧化钠之间的关系为 $\text{Na}_2\text{O}_2 \sim 2\text{e}^-$ ，当反应转移 0.08 mol 电子时，消耗的 Na_2O_2 固体的量为 0.08 mol ，质量为 $0.08 \times 78 = 6.24 \text{ g}$ ；正确答案：6.24 g。

(3) 反应开始后，硫酸铜变蓝，说明有水生成，根据氧化还原反应规律可知，氯化氢与氧气在一定条件下反应生成氯气和水，装置 D 中发生反应的化学方程式为： $4\text{HCl} + \text{O}_2 \xrightarrow[\text{催化剂}]{\Delta} 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}_2$ ；正确答案： $4\text{HCl} + \text{O}_2 \xrightarrow[\text{催化剂}]{\Delta} 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}_2$ 。

(4) 方法一：根据 $2\text{NaClO}_3 + 4\text{HCl} = 2\text{ClO}_2\uparrow + \text{Cl}_2\uparrow + 2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ 反应可知， NaClO_3 中 +5 价氯被还原到 0 价， NaClO_3 做氧化剂， HCl 中 -1 价氯氧化到 0 价， HCl 为还原剂；因此还原产物为 ClO_2 ；根据 $2\text{ClO}_2 \sim 2\text{e}^-$ 关系，当有 0.4 mol 电子发生转移时，得到的还原产物为 0.4 mol ；正确答案：0.4。

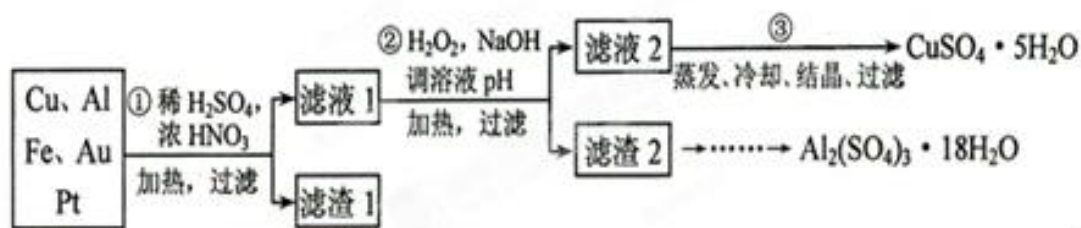
方法二：①根据 C 装置进气管、出气管都较短可以知道为安全瓶，防止倒吸；正确答案：安全瓶，防倒吸。

②用 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液、稀硫酸和 KClO_3 制备 ClO_2 反应产物为二氧化氯、二氧化碳可稀释 ClO_2 ，草酸被氧化为二氧化碳，氯酸钾被还原为 ClO_2 ；正确答案： $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CO}_2$ 。

③二氧化氯具有强的氧化性，能够氧化二价锰离子生成二氧化锰，本身被还原为氯离子，离子方程式： $2\text{ClO}_2 + 5\text{Mn}^{2+} + 6\text{H}_2\text{O} = 5\text{MnO}_2\downarrow + 2\text{Cl}^- + 12\text{H}^+$ ；正确答案： $2\text{ClO}_2 + 5\text{Mn}^{2+} + 6\text{H}_2\text{O} = 5\text{MnO}_2\downarrow + 2\text{Cl}^- + 12\text{H}^+$ 。

13. 信息

时代产生的大量电子垃圾对环境构成了极大的威胁。某“变废为宝”学生探究小组将一批废弃的线路板简单处理后，得到含 70% Cu、25% Al、4% Fe 及少量 Au、Pt 等金属的混合物，并设计出如下制备硫酸铜和硫酸铝晶体的路线：



请回答下列问题：

(1) 第①步 Cu 与酸反应的离子方程式为_____；得到滤渣 1 的主要成分为_____。

(2) 第②步加 H_2O_2 的作用是_____；调溶液 pH 的目的是使_____生成沉淀。

(3) 用第③步所得 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 制备无水 CuSO_4 的方法是_____。

(4) 探究小组用滴定法测定 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($M_r = 250$) 含量。取 $a \text{ g}$ 试样配成 100 mL 溶液，每次取 20.00 mL ，消除干扰离子后，用 $c \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ EDTA (H_2Y^{2-}) 标准溶液滴定至终点，平均消耗 EDTA 溶液 $b \text{ mL}$ 。滴定反应如下： $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{Y}^{2-} = \text{CuY}^{2-} + 2\text{H}^+$ 。写出计算 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 质量分数的表达式 $\omega =$ _____。

【答案】 $\text{Cu} + 2\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ = \text{Cu}^{2+} + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ； $3\text{Cu} + 2\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ = 3\text{Cu}^{2+} + 2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ Au、Pt 将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ； Fe^{3+} 、

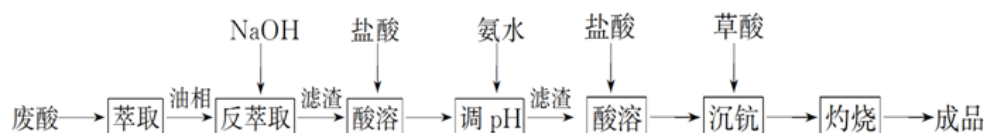
$$\frac{cmol \cdot L^{-1} \times b \times 10^{-3} L \times 250 g \cdot mol^{-1} \times 5}{ag} \times 100\%$$

Al³⁺；加热脱水

【解析】(1) 浓硝酸与稀硫酸混合，硝酸可能为浓溶液，也可能为稀溶液，所以两个离子方程式都可；Au、P 他和硝酸反应，所以滤渣 1 的主要成分为：Au、Pt。故答案为：Cu+2NO₃⁻+4H⁺=Cu²⁺+2NO₂↑+2H₂O 或 3Cu+2NO₃⁻+8H⁺=3Cu²⁺+2NO↑+4H₂O；Au、Pt；(2) 第②步加 H₂O₂ 的作用是把 Fe²⁺ 氧化为 Fe³⁺；调溶液 PH 的目的是使 Fe³⁺ 和 Al³⁺ 形成沉淀。故答案为：将 Fe²⁺ 氧化为 Fe³⁺；Fe³⁺、Al³⁺；(3) 第③步由五水硫酸铜制备硫酸铜的方法应是在坩埚中加热脱水。故答案为：加热脱水；(4) 滴定反应为：Cu²⁺+H₂Y²⁻=CuY²⁻+2H⁺，铜离子物质的量和标准液物质的量相同：cmol/L×b×10⁻³L=bc×10⁻³mol；依据元素守恒可得：20ml 溶液中含有的 CuSO₄·5H₂O 物质的量为：bc×10⁻³mol，则 100ml 溶液中含硫酸铜晶体的物质的量为：bc×10⁻³mol×5=5bc×10⁻³mol；所以 CuSO₄·5H₂O 质量分数的表达式为：
$$\frac{cmol \cdot L^{-1} \times b \times 10^{-3} L \times 250 g \cdot mol^{-1} \times 5}{ag} \times 100\%$$
。

14. 钪及

其化合物具有许多优良的性能，在宇航、电子、超导等方面有着广泛的应用。从钛白工业废酸(含钪、钛、铁、锰等离子)中提取氧化钪(Sc₂O₃)的一种流程如下：



回答下列问题：

(1) 洗涤“油相”可除去大量的钛离子。洗涤水是用 93% 的硫酸、27.5% 的双氧水和水按一定比例混合而成。混合的实验操作是_____。

(2) 先加入氨水调节 pH=3，过滤，滤渣主要成分是_____；再向滤液加入氨水调节 pH=6，滤液中 Sc³⁺ 的浓度为_____。(已知：K_{sp}[Mn(OH)₂]=1.9×10⁻¹³、K_{sp}[Fe(OH)₃]=2.6×10⁻³⁹，K_{sp}[Sc(OH)₃]=9.0×10⁻³¹)

(3) 用草酸“沉钪”。25 °C 时 pH=2 的草酸溶液中 $\alpha(C_2O_4^{2-}) = \frac{\alpha(C_2O_4^{2-})}{\alpha(H_2C_2O_4)}$ = _____(保留两位有效数字)。写出“沉钪”得到草酸钪的离子方程式_____。[已知 K_{a1}(H₂C₂O₄)=5.9×10⁻²，K_{a2}(H₂C₂O₄)=6.4×10⁻⁵]

(4) 草酸钪“灼烧”氧化的化学方程式为_____。

(5) 废酸中含钪量为 15 mg L⁻¹，VL 废酸最多可提取 Sc₂O₃ 的质量为_____。

【答案】 将浓硫酸沿烧杯内壁慢慢注入水中，并用玻璃棒不断搅拌，冷却后再慢慢注入 H₂O₂ 中，并不断搅拌 Fe(OH)₃ 9.0×10⁻⁷ mol L⁻¹ 3.8×10⁻² 2Sc³⁺+ 3H₂C₂O₄==Sc₂(C₂O₄)₃↓+ 6H⁺ 2Sc₂(C₂O₄)₃+3O₂ $\xrightarrow{\text{高温}}$ 2Sc₂O₃+12CO₂ 0.023V g

【解析】(1)不同的液体在混合时，一般先加密度较小，易挥发的，后加密度大的、难挥发的，若混合时放热，则最后加受热易分解的，因此，混合的实验操作是将浓硫酸沿烧杯内壁慢慢注入水中，并用玻璃棒不断搅拌，冷却后再慢慢注入 H_2O_2 中，并不断搅拌；(2)废酸中含钪、钛、铁、锰等离子，洗涤“油相”已除去大量的钛离子，根据 $K_{sp}[Mn(OH)_2]=1.9\times 10^{-13}$ 、 $K_{sp}[Fe(OH)_3]=2.6\times 10^{-39}$ 、 $K_{sp}[Sc(OH)_3]=9.0\times 10^{-31}$ ，可以求出余下三种离子沉淀完全（离子浓度小于 $10^{-5}mol/L$ ）的 pH，发现锰离子沉淀完全时 pH 约为 10，钪离子沉淀完全时 pH 约为 5，而铁离子沉淀完全时 pH 约为 4，所以先加入氨水调节 pH=3，过滤，滤渣主要成分是 $Fe(OH)_3$ ；再向滤液加入氨水调节 pH=6，此时溶液中 $c(OH^-)=10^{-8}mol/L$ ，滤液中 Sc^{3+} 的浓度为

$$\frac{9.0\times 10^{-31}}{(10^{-8})^3}=9.0\times 10^{-7}mol/L；(3) 25\text{ }^{\circ}C\text{ 时 }pH=2\text{ 的草酸溶液中 }\frac{c(C_2O_4^{2-})}{c(H_2C_2O_4)}=$$

$$\frac{c(C_2O_4^{2-})\cdot c(H^+)}{c(HC_2O_4^-)}\times \frac{c(HC_2O_4^-)\cdot c(H^+)}{c(H_2C_2O_4)}\times \frac{1}{c^2(H^+)}=$$

$$K_{a2}(H_2C_2O_4)\times K_{a1}(H_2C_2O_4)\times \frac{1}{c^2(H^+)}=6.4\times 10^{-5}\times 5.9\times 10^{-2}\times \frac{1}{(10^{-2})^2}=3.8\times 10^{-3}，\text{“沉钪”得到草酸钪}$$

的离子方程式为 $2Sc^{3+}+3H_2C_2O_4=Sc_2(C_2O_4)_3\downarrow+6H^+$ ；(4)草酸钪“灼烧”氧化的化学方程式为 $2Sc_2(C_2O_4)_3$

$+3O_2\overset{\text{高温}}{=}2Sc_2O_3+12CO_2$ ；(5)废酸中含钪量为 $15\text{ mg}\cdot L^{-1}$ ，则 $V\text{ L}$ 废酸中含钪的质量为

$$15\times 10^{-3}g/L\times VL=0.015Vg，\text{所以最多可提取 }Sc_2O_3\text{ 的质量为 }\frac{0.015Vg}{45}\times \frac{138}{3}=0.023Vg。$$