

### 无机综合及工艺流程(七)

溶度积常数反映了难溶电解质在水中的溶解能力,高考试题中溶度积常数的考查常结合化工流程题,在化工流程题中溶度积常数是近年高考的热点,化工流程中常常需要控制条件进行离子的分离或除杂,通过溶度积常数计算溶液中金属离子的浓度、离子完全沉淀时的 pH、判断废水排放是否符合标准、沉淀完全转化时所需离子浓度。常见题型有:

#### 一、求难溶电解质的 Ksp

例 1、Ni-MH 电池在工农业生产和日常生活中具有广泛用途,废旧电池中含有大量金属元素,其回收利用具有重要的意义。一种利用废 Ni-MH 电池正极材料(主要含有 Ni(OH)<sub>2</sub>,还含有少量 Fe、Cu、Ca、Mg、Mn、Zn 的氢氧化物)制备电子级硫酸镍晶体的工艺流程如下图所示:



回答下列问题:

(1)“浸出”时温度、硫酸浓度、浸出时间对镍浸出率的影响如下图,则“浸出”时最适宜的条件为\_\_\_\_\_

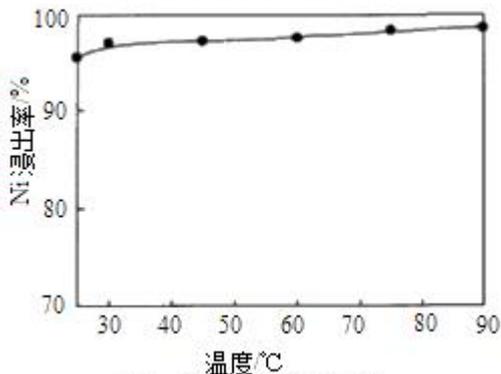


图 1 温度对镍浸出的影响

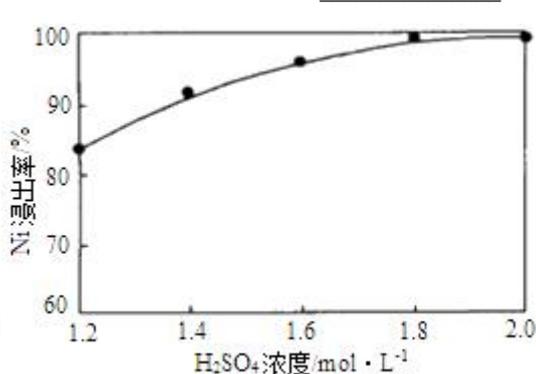


图 2 硫酸浓度对镍浸出的影响

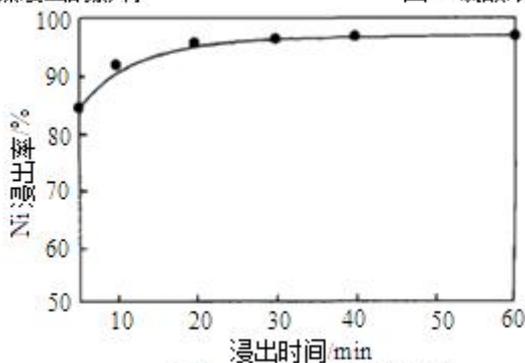
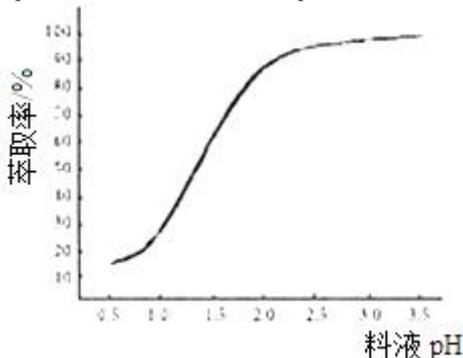


图 3 时间对镍浸出的影响

- (2)在“滤液 1”中加入双氧水可将 Fe<sup>2+</sup>转化为难溶的针铁矿(FeOOH),写出反应的离子方程式:\_\_\_\_\_
- (3)“滤液 2”中加入 NaF 可将滤液中 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>转化为难溶的 CaF<sub>2</sub>和 MgF<sub>2</sub>。当加入过量 NaF 后,所得“滤液 3”中 c(Mg<sup>2+</sup>):c(Ca<sup>2+</sup>)=0.67, 则 MgF<sub>2</sub>的溶度积为\_\_\_\_\_ [已知 K<sub>sp</sub>(CaF<sub>2</sub>)=1.10×10<sup>-10</sup>]
- (4)向“滤液 3”中加入(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>可以除锰,在此过程中(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>与 MnSO<sub>4</sub>反应生成含锰元素的一种黑色不溶物、硫酸铵及硫酸,写出该反应的化学方程式\_\_\_\_\_
- (5)向“滤液 4”加入有机萃取剂后, Zn<sup>2+</sup>与有机萃取剂(用 HA 表示)形成易溶于萃取剂的络合物 ZnA<sub>2</sub>·2HA。该过程可以表示为: Zn<sup>2+</sup>+4HA $\rightleftharpoons$ ZnA<sub>2</sub>·2HA+2H<sup>+</sup>

①已知加入萃取剂后, 锌的萃取率随料液 pH 变化如图所示。试分析 pH 增大时, 锌的萃取率逐渐增大的原因是\_\_\_\_\_

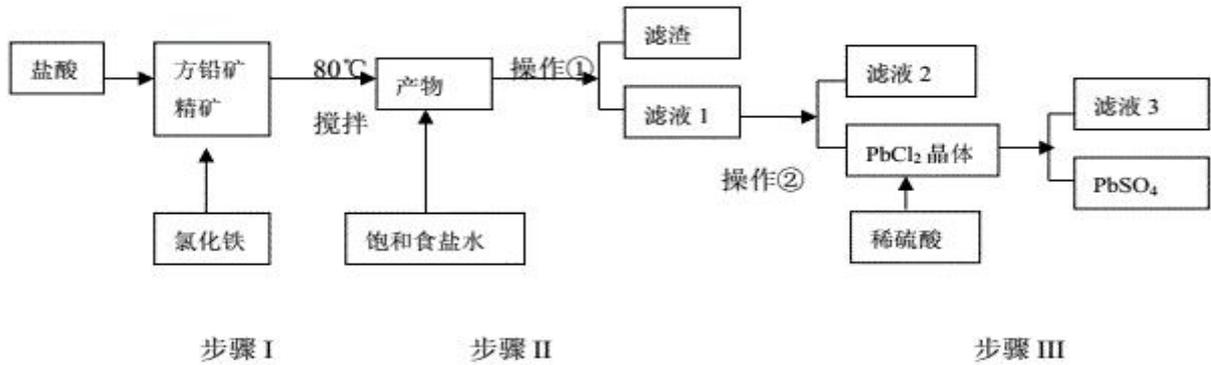


②“操作 X”的名称是\_\_\_\_\_

(6)上述回收镍的过程中, 使用了 1kg 含镍 37.1%的正极材料, 最终得到纯净的 NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 1.686kg, 则镍的回收率为\_\_\_\_\_

二、沉淀转化的平衡常数

例2、铅单质及其化合物在新能源领域应用广泛，工业上利用方铅矿(主要成分为PbS)制备PbSO<sub>4</sub>的工艺流程如下：

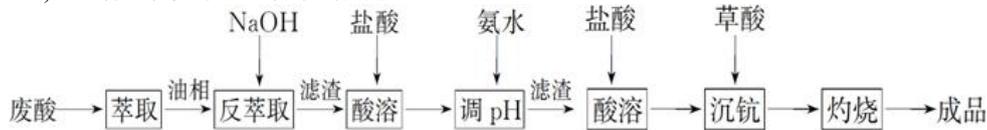


已知：① $PbCl_2(s) + 2Cl^-(aq) \rightleftharpoons PbCl_4^-(aq) \quad \Delta H > 0$       ② $K_{sp}(PbSO_4) = 1.0 \times 10^{-8}, K_{sp}(PbCl_2) = 1.6 \times 10^{-5}$   
 ③ $Fe^{3+}$ 、 $Pb^{2+}$ 以氢氧化物形式完全沉淀时，溶液的pH值分别为3.2、7.0

- 步骤I中发现有淡黄色沉淀生成，请写出离子反应方程式：\_\_\_\_\_
- 步骤I原料预处理过程中写出一种除搅拌外加快反应速率的办法：\_\_\_\_\_；反应温度不宜过高，且需加入过量盐酸保证溶液呈强酸性，原因是：\_\_\_\_\_
- 操作①应为：\_\_\_\_\_；操作②应为：\_\_\_\_\_  
 A.趁热过滤      B.蒸发浓缩，冷却结晶；      C.蒸发结晶      D.重结晶
- 写出步骤III中 $PbCl_2$ 生成 $PbSO_4$ 的离子反应方程式：\_\_\_\_\_，该反应的平衡常数 $K =$ \_\_\_\_\_
- 铅蓄电池( $Pb-PbO_2-H_2SO_4$ )充电时的阳极反应方程式：\_\_\_\_\_
- 某铅蓄电池放电时电流为0.2A，可持续放电时间96500s，此时参加反应的Pb的质量为41.4g，求该电池放电的能量转化率 $\alpha =$ \_\_\_\_\_ (电池能量转化率的定义： $\alpha = \text{实际输出电量} / \text{理论输出电量} \times 100\%$ ，结果保留两位有效数字，已知法拉第常数为96500C/mol)

三、判断溶液中沉淀的离子

例3、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( $Sc_2O_3$ )的一种流程如下。回答下列问题：



- 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\_\_\_\_\_
- 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 $Sc^{3+}$ 的浓度为\_\_\_\_\_ (已知： $K_{sp}[Mn(OH)_2] = 1.9 \times 10^{-13}$ 、 $K_{sp}[Fe(OH)_3] = 2.6 \times 10^{-39}$ 、 $K_{sp}[Sc(OH)_3] = 9.0 \times 10^{-31}$ )
- 用草酸“沉钪”。25℃时pH=2的草酸溶液中 $\alpha(H_2C_2O_4) =$ \_\_\_\_\_ (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 $K_{a1}(H_2C_2O_4) = 5.9 \times 10^{-2}$ ， $K_{a2}(H_2C_2O_4) = 6.4 \times 10^{-5}$ ]
- 草酸钪“灼烧”氧化的化学方程式为\_\_\_\_\_
- 废酸中含钪量为 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，1L废酸最多可提取 $Sc_2O_3$ 的质量为\_\_\_\_\_

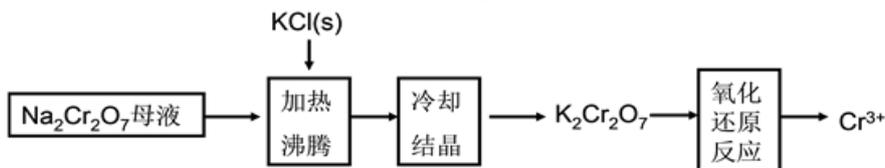
四、离子是否开始沉淀

例4、某种电镀污泥中主要含有碲化亚铜( $Cu_2Te$ )、三氧化二铬( $Cr_2O_3$ )以及少量的金(Au)，可以用于制取 $Na_2Cr_2O_7$ 溶液、金属铜、粗碲等，以实现有害废料的资源化利用，工艺流程如下：



已知：煅烧时 $Cu_2Te$ 发生的反应为 $Cu_2Te + 2O_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2CuO + TeO_2$

- 煅烧时 $Cr_2O_3$ 发生反应的化学方程式为\_\_\_\_\_
- 为提高酸浸速率，可采用的措施是\_\_\_\_\_ (答出两条)
- 浸出液中除了含有 $TeOSO_4$  (在电解过程中不反应)外，还可能含有\_\_\_\_\_ (填化学式)。电解沉积过程中析出单质铜的电极是\_\_\_\_\_极
- 工业上用铬酸钠( $Na_2Cr_2O_7$ )母液生产各酸钾( $K_2Cr_2O_7$ )工艺流程如下图所示，通过冷却结晶能析出大量 $K_2Cr_2O_7$ 的原因是\_\_\_\_\_



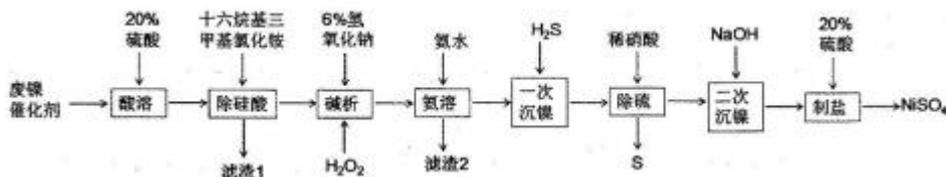
(5)测定产品中  $K_2Cr_2O_7$  含量的方法如下: 称取产品试样 2.50g 配成 250mL 溶液, 用移液管取出 25.00mL 于锥形瓶中, 加入足量稀硫酸酸化后, 再加入几滴指示剂, 用  $0.1000\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  硫酸亚铁铵  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  标准液进行滴定, 重复进行二次实验。(已知  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  被还原为  $\text{Cr}^{3+}$ )

- ①氧化还原滴定过程中的离子方程式为 \_\_\_\_\_
- ②若三次实验消耗  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  标准液的平均体积为 25.00mL, 则所得产品中  $K_2Cr_2O_7$  的纯度为 \_\_\_\_\_ % (已知  $M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)=294$ , 计算结果保留三位有效数字)

(6)上述流程中  $K_2Cr_2O_7$  发生氧化还原反应后所得溶液中除含有  $\text{Cr}^{3+}$  外还含有一定浓度的  $\text{Fe}^{3+}$  杂质, 可通过加碱调 pH 的方法使两者转化为沉淀。已知  $c(\text{Cr}^{3+})$  为  $3\times 10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 则当溶液中开始析出  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  沉淀时  $\text{Fe}^{3+}$  是否沉淀完全 \_\_\_\_\_ (填“是”或“否”)。 [已知:  $K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3]=4.0\times 10^{-38}$ ,  $K_{sp}[\text{Cr}(\text{OH})_3]=6.0\times 10^{-31}$ ]

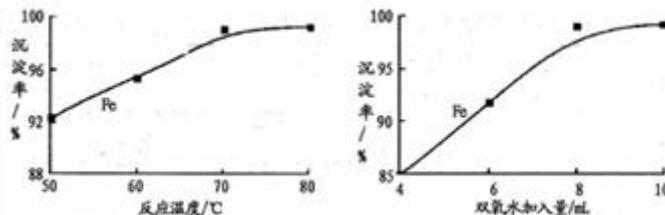
**五、离子完全沉淀时的 pH**

例 5、利用某废镍催化剂 (含  $\text{NiCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 少量  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) 制备  $\text{NiSO}_4$ , 流程如下:



已知: ①  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  的  $\text{p}K_{sp}$  分别是 37.4、30.2、15.1、14.7, 其中  $\text{p}K_{sp} = -\lg K_{sp}$ 。②  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  与  $\text{Al}(\text{OH})_3$  性质类似。

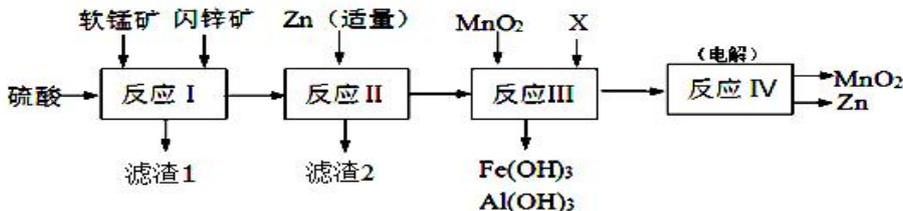
- (1)“酸溶”后, 加入十六烷基三甲基氯化铵溶液出现大量白色沉淀, 写出“酸溶”时生成硅酸的离子方程式: \_\_\_\_\_
- (2)“碱析”时, 常温下调 pH=\_\_\_\_\_ 时  $\text{Fe}^{3+}$  恰好沉淀完全; 工业上把 pH 调至 10, 此时沉淀物有  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  和 \_\_\_\_\_, 目的是 \_\_\_\_\_
- (3)取 300mL“除硅酸”后的溶液, 加入双氧水受热 th, 得到关于沉淀率的关系图如下。



- ①合适的工艺条件为 \_\_\_\_\_
- ②温度不能太高的原因是 \_\_\_\_\_
- (4)“一次沉镍”产物为  $\text{NiS}$ , 稀硝酸与之反应的化学反应方程式为 \_\_\_\_\_

**六、调 pH 除杂——计算 pH 范围**

例 6、某工厂用软锰矿 (主要成分是  $\text{MnO}_2$ , 含少量  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$ ) 和闪锌矿 (主要成分是  $\text{ZnS}$ , 含少量  $\text{FeS}$ 、 $\text{CuS}$  等杂质) 为原料制备  $\text{MnO}_2$  和  $\text{Zn}$  (干电池原料), 其简化流程如下:

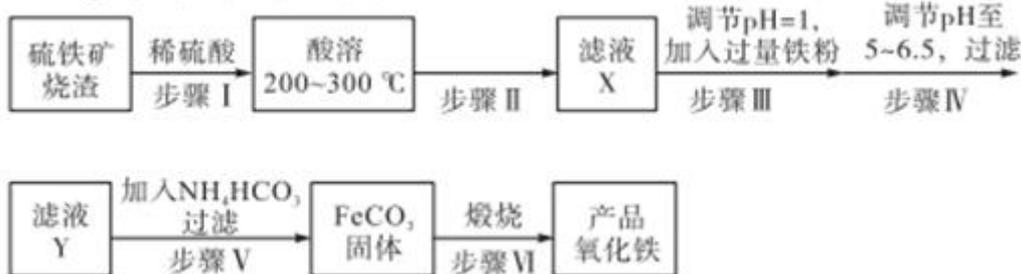


已知: 反应 I 中所有金属元素均以离子形式存在。有关常数:  $K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3]=1.0\times 10^{-33}$ 、 $K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3]=3.0\times 10^{-39}$ 、 $K_{sp}[\text{Mn}(\text{OH})_2]=2.0\times 10^{-13}$ 、 $K_{sp}[\text{Zn}(\text{OH})_2]=1.0\times 10^{-17}$ 、 $K_{sp}(\text{MnCO}_3)=2.0\times 10^{-11}$ 、 $K_{a1}(\text{H}_2\text{CO}_3)=4.0\times 10^{-7}$ 、 $K_{a2}(\text{H}_2\text{CO}_3)=5.6\times 10^{-11}$ 。回答下列问题:

- (1)滤渣 1 中除了  $\text{SiO}_2$  以外, 还有一种淡黄色物质, 该物质是由  $\text{MnO}_2$ 、 $\text{CuS}$  与硫酸共热时产生的, 请写出该反应的离子方程式 \_\_\_\_\_
- (2)反应 II 中加入适量金属锌的目的是为了回收某种金属, 滤渣 2 的主要成分是 \_\_\_\_\_
- (3)反应 III 中  $\text{MnO}_2$  的作用是 \_\_\_\_\_, 若反应后溶液中  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  均为  $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 需调节溶液 pH 范围为 \_\_\_\_\_ (溶液中, 当一种离子的浓度小于  $10^{-6}\text{mol/L}$  时可认为已不存在), X 可以是 \_\_\_\_\_  
 a.  $\text{MgO}$       b.  $\text{Zn}(\text{OH})_2$       c.  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$       d.  $\text{MnCO}_3$
- (4)反应 IV 中电极均是惰性电极, 写出阳极电极反应式 \_\_\_\_\_, 本工艺可以循环利用的物质有  $\text{MnO}_2$ 、 $\text{Zn}$  和 \_\_\_\_\_
- (5) $\text{MnCO}_3$  有多种用途。废水处理领域中常用  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液将  $\text{Mn}^{2+}$  转化为  $\text{MnCO}_3$ , 该反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_, 试通过题述有关数据简要计算说明该反应能进行的原因: \_\_\_\_\_

【课后作业】

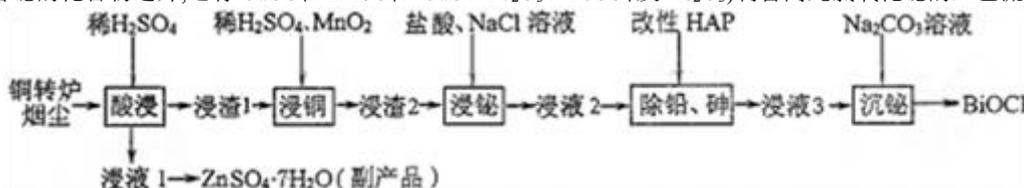
1、工业上利用硫铁矿烧渣(主要成分为  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{SiO}_2$ )为原料制备高档颜料——铁红( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )，具体生产流程如下：



试回答下列问题：

- 实验室实现“步骤 II”中分离操作所用的玻璃仪器有\_\_\_\_\_、玻璃棒和烧杯等；该步骤是为了除去\_\_\_\_\_ (填相关物质的化学式)
- 检验步骤 III 已经进行完全的操作是\_\_\_\_\_
- 步骤 V 的反应温度一般需控制在  $35^\circ\text{C}$  以下，其目的是\_\_\_\_\_；该步骤中反应生成  $\text{FeCO}_3$  的离子反应方程式为\_\_\_\_\_
- 步骤 VI 中发生反应的化学反应方程式为\_\_\_\_\_
- 步骤 V 中， $\text{FeCO}_3$  达到沉淀溶解平衡时，若  $c(\text{Fe}^{2+})=1 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ ，欲使所得的  $\text{FeCO}_3$  中不含有  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ，应控制溶液的  $\text{pH} \leq$  \_\_\_\_\_ (已知： $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2]=4.9 \times 10^{-17}$ ,  $\lg 7=0.8$ )。
- 欲测定硫铁矿渣中 Fe 元素的质量分数，称取  $a \text{ g}$  样品，充分“酸溶”“水溶”后过滤，向滤液中加入足量的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ，充分反应后加入  $\text{NaOH}$  溶液至不再继续产生沉淀，经过滤、洗涤、灼烧至固体恒重，冷却后称得残留固体  $b \text{ g}$ ，测得该样品中 Fe 元素的质量分数为\_\_\_\_\_

2、铋(Bi)与氮同族，氯化铋( $\text{BiOCl}$ )广泛用于彩釉调料、塑料助剂、油漆调色、生产金属铋等。一种以用火法炼铜过程产生的铜转炉烟尘(除含铋的化合物之外,还有  $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{ZnSO}_4$ 、 $\text{CuS}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{PbSO}_4$  及  $\text{As}_2\text{O}_3$ )制备高纯氯化铋的工艺流程如下：



请回答：

- $\text{BiOCl}$  中 Bi 元素的化合价为\_\_\_\_\_
- 向“酸浸”所得“浸液 1”中加入 Zn 粉，主要目的是\_\_\_\_\_
- “浸铜”时，有单质硫生成，其反应的离子方程式为\_\_\_\_\_
- “浸铋”时，温度升高，铋的浸出率降低，其原因为\_\_\_\_\_
- “沉铋”时需控制溶液的  $\text{pH}=3.0$ ，此时  $\text{BiCl}_3$  发生反应的化学方程式为\_\_\_\_\_
- “除铅、砷”时，可以采用以下两种方法：
  - 加入改性羟基磷灰石固体(HAP)：浸液 2 与 HAP 的液固比(L/S)与铅、砷去除率以及后续沉铋量的关系如下表：

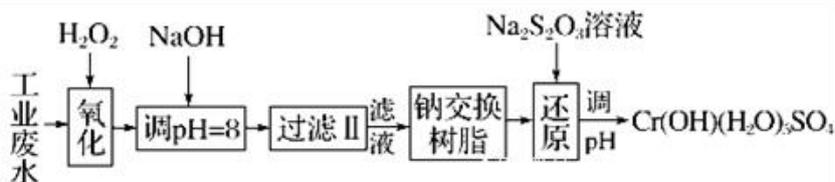
L/S	125 : 1	50 : 1	25 : 1	15 : 1
$\text{Pb}^{2+}$ 去除率/%	84.86	94.15	95.40	96.83
$\text{As}^{3+}$ 去除率/%	98.79	98.92	98.34	99.05
m(沉铋)/g	2.34	2.33	2.05	1.98

实验中应采用的 L/S=\_\_\_\_\_

- 铁盐氧化法：向浸液 2 中加入  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ，并调节 pH，生成  $\text{FeAsO}_4$  沉淀。当溶液中  $c(\text{AsO}_4^{3-})=1 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$ ，且不产生  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀，此时溶液的 pH 为\_\_\_\_\_ (已知： $\lg 2=0.3$ ； $\text{FeAsO}_4$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$  的  $K_{\text{sp}}$  分别为  $5 \times 10^{-21}$ 、 $4 \times 10^{-38}$ 。)

3、重金属元素铬的毒性较大，含铬废水需经处理达标后才能排放。

1、某工业废水中主要含有  $\text{Cr}^{3+}$ ，同时还含有少量的  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  等，且酸性较强。为回收利用，通常采用如下流程处理：



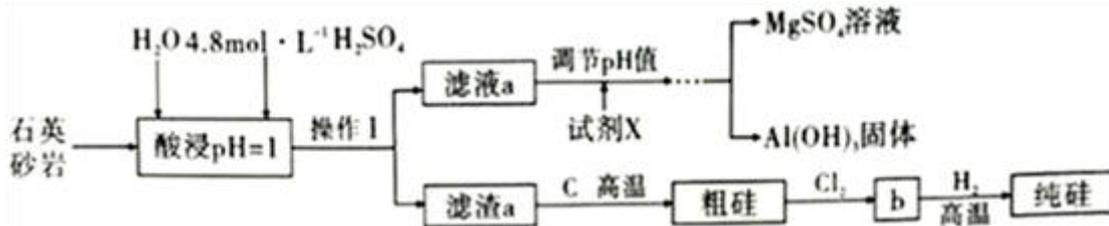
注：常温下，部分阳离子以氢氧化物形式完全沉淀时所需的 pH，如下表：

氢氧化物	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Cr}(\text{OH})_3$
pH	3.7	9.6	11.1	8	9

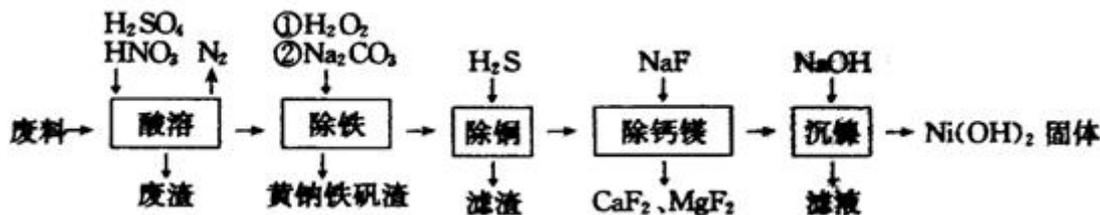
- 氧化过程中可代替  $\text{H}_2\text{O}_2$  加入的试剂是\_\_\_\_\_
  - $\text{Na}_2\text{O}_2$
  - $\text{HNO}_3$
  - $\text{FeCl}_3$
  - $\text{KMnO}_4$
- 加入  $\text{NaOH}$  溶液调整溶液  $\text{pH}=8$  时，除去的离子是\_\_\_\_\_；已知钠离子交换树脂的原理： $\text{M}^n + n\text{NaR} \rightarrow \text{MR}_n + n\text{Na}^+$ ，此步操作被交换除去的杂质离子是\_\_\_\_\_

- A.  $\text{Fe}^{3+}$  B.  $\text{Al}^{3+}$  C.  $\text{Ca}^{2+}$  D.  $\text{Mg}^{2+}$

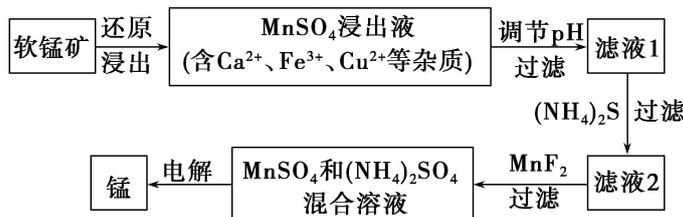
- (3)还原过程在酸性条件下进行, 每消耗  $0.8 \text{ mol Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  转移  $4.8 \text{ mol e}^-$ , 该反应离子方程式为 \_\_\_\_\_  
 II、酸性条件下, 六价铬主要以  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  形式存在, 工业上常用电解法处理含  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  的废水, 该法用 Fe 作电极电解含  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  的酸性废水, 随着电解进行, 在阴极附近溶液 pH 升高, 产生  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  溶液  
 (4)电解时能否用 Cu 电极来代替 Fe 电极? \_\_\_\_\_(填“能”或“不能”), 理由是 \_\_\_\_\_  
 (5)常温下,  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  的溶度积  $K_{\text{sp}}=1 \times 10^{-20}$ , 假设溶液的  $c(\text{Cr}^{3+})=0.01 \text{ mol/L}$ , 当 pH 应为 \_\_\_\_\_ 时开始生成沉淀  
 4、石英砂岩, 是硅石中的一种, 其主要化学成分可简单表示为  $\text{MgAl}_4\text{Si}_{10}\text{O}_{26}(\text{OH})_2$  (假设杂质均能溶于硫酸), 工业上拟用该物质为原料制备高纯度硅, 其艺流程如图所示:



- (1)请将石英砂岩的组成用氧化物的形式表示: \_\_\_\_\_, 酸浸时, 为了提高浸取率可采取的措施有 \_\_\_\_\_ (答出两点)  
 (2)实验室用  $18.4 \text{ mol/L}$  的浓硫酸配制  $250 \text{ mL } 4.8 \text{ mol/L}$  的硫酸, 需量取浓硫酸 \_\_\_\_\_ mL (结果保留一位小数); 配制时所用玻璃仪器除量筒、烧杯和玻璃棒外, 还需 \_\_\_\_\_  
 (3)制备高纯硅的过程中需要用到  $\text{Cl}_2$ , 请写出实验室制备  $\text{Cl}_2$  的离子反应方程式: \_\_\_\_\_  
 (4)请写出 b 和  $\text{H}_2$  反应的化学方程式, 并用单线桥法表示该反应过程中电子的转移: \_\_\_\_\_  
 (5)通过实验测得滤液 a 中  $c(\text{Al}^{3+})=1.0 \text{ mol/L}$ ,  $c(\text{Mg}^{2+})=0.28 \text{ mol/L}$ , 某同学打算通过调节溶液的 pH 值使  $\text{Al}^{3+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  完全分离(当离子浓度降到  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$  时即视为完全分离), 则试剂 X 用 \_\_\_\_\_ (填“ $0.1 \text{ mol/L NaOH}$ ”或“ $0.1 \text{ mol/L 氨水}$ ”)较好; 沉淀时应控制溶液的 pH 值的取值范围为 \_\_\_\_\_ (已知:  $K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3]=8.0 \times 10^{-33}$ ,  $K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]=2.8 \times 10^{-11}$ ,  $\lg 2=0.3$ ,  $\lg 5=0.7$ )  
 5、一种磁性材料的磨削废料, 主要成分是铁镍合金(含镍质量分数约 21%), 还含有铜、钙、镁、硅的氧化物。由该废料制备氢氧化镍, 工艺流程如下:



- 回答下列问题:  
 (1)“酸溶”时, 溶液中有  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  等生成, 废渣的主要成分是 \_\_\_\_\_; 金属镍溶解的离子方程式为 \_\_\_\_\_  
 (2)“除铁”时  $\text{H}_2\text{O}_2$  的作用是 \_\_\_\_\_, 加入碳酸钠的目的是 \_\_\_\_\_  
 (3)“除铜”时, 反应的离子方程式为 \_\_\_\_\_, 若用  $\text{Na}_2\text{S}$  代替  $\text{H}_2\text{S}$  除铜, 优点是 \_\_\_\_\_  
 (4)已知除钙镁过程在陶瓷容器中进行,  $\text{NaF}$  的实际用量不能过多的理由为 \_\_\_\_\_  
 (5)已知常温下  $K_{\text{sp}}[\text{Ni}(\text{OH})_2]=2.0 \times 10^{-15}$ , 该流程在“沉镍”过程中, 需调节溶液 pH 约为 \_\_\_\_\_ 时,  $\text{Ni}^{2+}$  才刚好沉淀完全(离子沉淀完全的依度  $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ;  $\lg 2=0.30$ )  
 6、软锰矿(主要成分为  $\text{MnO}_2$ )可用于制备锰及其化合物, 现代冶炼金属锰的工艺流程如下图所示, 步骤中杂质离子逐一沉淀。



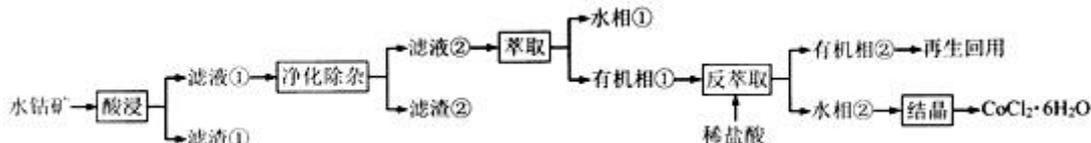
下表为  $t^\circ\text{C}$  时, 有关物质的  $K_{\text{sp}}$

物质	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$\text{CuS}$	$\text{CaS}$	$\text{MnS}$	$\text{MnCO}_3$
$K_{\text{sp}}$	$4.0 \times 10^{-38}$	$2.2 \times 10^{-22}$	$5.5 \times 10^{-6}$	$1.9 \times 10^{-13}$	$6.3 \times 10^{-36}$	$9.1 \times 10^{-6}$	$2.5 \times 10^{-15}$	$2.2 \times 10^{-11}$

软锰矿还原浸出的反应为:  $12\text{MnO}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 = 12\text{MnSO}_4 + 6\text{CO}_2\uparrow + 18\text{H}_2\text{O}$

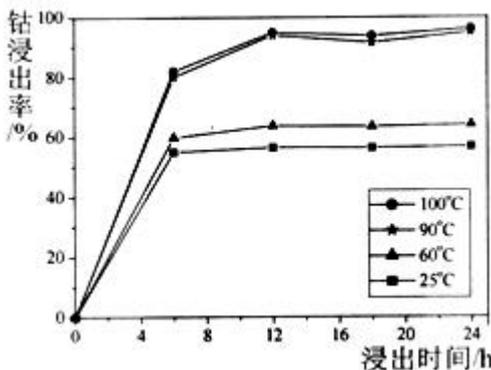
- (1)写出一种能提高还原浸出速率的措施: \_\_\_\_\_  
 (2)调节 pH 步骤中生成的沉淀为 \_\_\_\_\_, 加入  $\text{MnF}_2$  的主要目的是除去 \_\_\_\_\_ (填“ $\text{Ca}^{2+}$ ”、“ $\text{Fe}^{3+}$ ”或“ $\text{Cu}^{2+}$ ”)  
 (3)等浓度的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  与  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  溶液中,  $\text{NH}_4^+$  的浓度大小为: 前者 \_\_\_\_\_ 后者 (填“>”、“<”或“=”)   
 (4)由  $\text{MnSO}_4$  制取  $\text{MnCO}_3$  往  $\text{MnSO}_4$  溶液中加入  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  溶液生成  $\text{MnCO}_3$ , 同时还会产生  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ , 可能的原因有:  $\text{MnCO}_3(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{aq}) = \text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ ,  $t^\circ\text{C}$  时, 计算该反应的平衡常数  $K =$  \_\_\_\_\_ (保留一位小数)

7、钴被誉为战略物资，有出色的性能和广泛的应用。以水钴矿(主要成分为  $\text{Co}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CoO}$ 、 $\text{CuO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{NiO}$  和  $\text{SiO}_2$  等)为原料制备  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  的工艺流程如图所示。回答下列问题:



I. “酸浸”

(1) 钴的浸出率随酸浸时间、温度的变化关系如下图所示。综合考虑成本，应选择的最佳工艺条件为 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_；  
滤渣①的主要成分为 \_\_\_\_\_



(2)  $\text{Co}_2\text{O}_3$  与浓硫酸反应生成  $\text{CoSO}_4$  的化学方程式为 \_\_\_\_\_

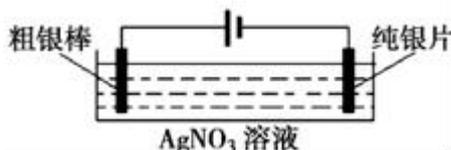
II. “净化除杂”分三步完成:

- (3) 除铁: 加入适量  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  固体, 析出淡黄色晶体黄钠铁矾  $\text{Na}_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$  离子方程式为 \_\_\_\_\_  
 (4) 除钙、镁: 加入适量  $\text{NaF}$ , 当  $\text{Mg}^{2+}$  恰好完全被除去(离子浓度等于  $10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )时,  $c(\text{Ca}^{2+}) =$  \_\_\_\_\_  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  (取两位有效数字)已知:  
 $K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2) = 7.4 \times 10^{-11}$ ,  $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2) = 1.5 \times 10^{-10}$   
 (5) 除铜: 加入适量  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 发生反应  $2\text{CuSO}_4 + 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Cu}_2\text{S} \downarrow + \text{S} \downarrow + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ , 该反应的还原产物为 \_\_\_\_\_

III. “萃取和反萃取”

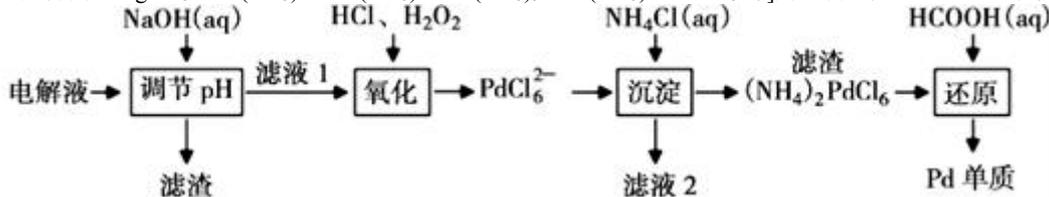
- (6) “水相①”中的主要溶质是  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  和 \_\_\_\_\_ (写化学式)  
 (7) 实验室称取 100g 原料(含钴 11.80%), 反萃取时得到浓度为  $0.036 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{CoCl}_2$  溶液 5L, 忽略损耗, 钴的产率= \_\_\_\_\_  
 (产率 =  $\frac{\text{产物中元素总量}}{\text{原料中该元素总量}} \times 100\%$ )

8、I. 工业上常利用电解含有铁、钯、铜等金属的粗银棒精炼银, 示意图如下:



- (1) 阴极反应式为 \_\_\_\_\_  
 (2) 精炼过程中,  $\text{AgNO}_3$  溶液的浓度将 \_\_\_\_\_ (填“增大”、“减小”或“不变”); 原因是 \_\_\_\_\_

II. “钯(Pd)金”不仅是优异的催化剂, 也是首饰界的新宠。精炼银的过程中钯元素可在电解液中大量富集, 因此工业上常利用精炼银的电解液[主要成分为:  $\text{AgNO}_3$ 、 $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{HNO}_3$  等]为原料生产“钯金”, 流程如下:

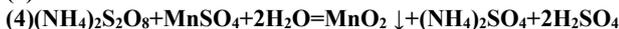


- (3) 定量实验检测表明, 当滤液 1 中  $c(\text{Ni}^{2+}) = 2 \times 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,  $\text{Pd}^{2+}$  仍没有开始沉淀, 计算此时溶液中  $c(\text{Fe}^{3+}) =$  \_\_\_\_\_,  
 $K_{\text{sp}}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 2.0 \times 10^{-15}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 4.0 \times 10^{-38}$   
 (4) “氧化”过程中氧化剂与还原剂的物质的量之比为 \_\_\_\_\_  
 (5) 为保证产品的纯净, “沉淀”过程中所得滤渣需要洗涤, 简述检验滤渣是否洗净的实验方法 \_\_\_\_\_  
 (6) 写出“还原”步骤中发生反应的离子方程式: \_\_\_\_\_

## 【无机综合及工艺流程(七)】答案

例 1、(1)80℃, 1.8mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 30min

(3)  $7.37 \times 10^{-11}$

(5) 料液的 pH 增大, 使料液中的  $c(\text{H}^+)$  减小, 促使  $\text{Zn}^{2+} + 4\text{HA} \rightleftharpoons \text{ZnA}_2 \cdot 2\text{HA} + 2\text{H}^+$  向右进行, 锌的萃取率增大 分液

(6) 95.4%

【解析】分析: 本题以利用废 Ni-MH 电池正极材料制备电子级硫酸镍晶体的工艺流程为载体, 考查流程的分析、外界条件对化学平衡的影响、指定情境下方程式的书写、溶度积的计算、化学实验的基本操作和 Ni-MH 电池正极材料加 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸出时, 金属的氢氧化物转化成相应的硫酸盐; 浸出液中加入 Na<sub>2</sub>S 将 Cu<sup>2+</sup> 转化为 CuS 沉淀; 加入双氧水将 Fe<sup>2+</sup> 转化为 FeOOH 沉淀除去; 向“滤液 2”中加入 NaF 将 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 转化为 CaF<sub>2</sub>、MgF<sub>2</sub> 沉淀而加入 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 除去 Mn<sup>2+</sup>; “滤液 4”中用有机萃取剂除去 Zn<sup>2+</sup>。

详解: (1) 根据图 1, “浸出”最佳温度约为 80℃; 根据图 2, 随着硫酸浓度的增大 Ni 浸出率增大, 硫酸浓度为 1.8mol/L 时 Ni 浸出率已经很大, 当硫酸浓度大于 1.8mol/L, 继续增大硫酸浓度 Ni 浸出率增大不明显, 硫酸最适宜浓度为 1.8mol/L; 根据图 3, “浸出”时间小于 30min 随着时间的延长 Ni 浸出率明显增大, 大于 30min Ni 浸出率趋于平缓, 最佳时间为 30min; “浸出”时最适宜的条件是: 温度为 80℃、硫酸浓度为 1.8mol/L、时间为 30min。

(2) 双氧水将 Fe<sup>2+</sup> 转化为 FeOOH 沉淀, Fe<sup>2+</sup> 被氧化, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 被还原, 根据得失电子守恒、原子守恒和电荷守恒, 反应的离子方程式为  $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{FeOOH} \downarrow + 4\text{H}^+$ 。

(3) 当加入过量 NaF 后,  $K_{sp}(\text{MgF}_2) = c(\text{Mg}^{2+}) \cdot c^2(\text{F}^-)$ ,  $K_{sp}(\text{CaF}_2) = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c^2(\text{F}^-)$ , 将两式相比消去  $c^2(\text{F}^-)$ ,  $K_{sp}(\text{MgF}_2)$

$$= K_{sp}(\text{CaF}_2) \times \frac{c(\text{Mg}^{2+})}{c(\text{Ca}^{2+})} = 1.10 \times 10^{-10} \times 0.67 = 7.37 \times 10^{-11}$$

(4) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 与 MnSO<sub>4</sub> 反应生成含锰元素的一种黑色不溶物、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 含锰元素的黑色不溶物为 MnO<sub>2</sub>, 反应可写成 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> + MnSO<sub>4</sub> → MnO<sub>2</sub>↓ + (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Mn 元素的化合价由 +2 价升至 +4 价, S 元素的化合价由 +7 价降至 +6 价, 根据得失电子守恒和原子守恒配平, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 与 MnSO<sub>4</sub> 反应的化学方程式为: (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> + MnSO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O = MnO<sub>2</sub>↓ + (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。

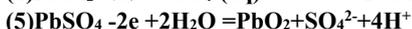
(5) ① pH 增大时, 锌的萃取率逐渐增大的原因是: 料液 pH 增大, 使料液中的  $c(\text{H}^+)$  减小, 促使  $\text{Zn}^{2+} + 4\text{HA} \rightleftharpoons \text{ZnA}_2 \cdot 2\text{HA} + 2\text{H}^+$  向右进行, 锌的萃取率增大。

② “滤液 4”中加入有机萃取剂将 Zn<sup>2+</sup> 萃取, 出现分层现象, 将有机层与水层分离的“操作 X”的名称为分液。

$$(6) \text{根据 Ni 守恒, Ni 的回收率为 } \frac{1.68 \text{ kg} \times \frac{59}{28}}{1 \text{ kg} \times 37.1\%} \times 100\% = 95.4\%$$

例 2、(1)  $\text{PbS} + 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^- = \text{PbCl}_2 + 2\text{Fe}^{2+} + \text{S}$ (2) 将方铅矿精矿磨成粉末 抑制 Fe<sup>3+</sup>、Pb<sup>2+</sup> 离子水解

(3) A B



(6) 50%

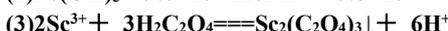
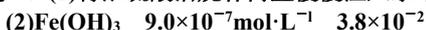
【解析】(1) 由分析可知 FeCl<sub>3</sub> 与 PbS 反应生成 PbCl<sub>2</sub> 和 S, Pb 元素化合价不变, S 元素化合价升高, 则铁元素的化合价降低, 有 FeCl<sub>2</sub> 生成, 反应离子方程式为:  $\text{PbS} + 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^- = \text{PbCl}_2 + 2\text{Fe}^{2+} + \text{S}$ ;(2) 将方铅矿精矿磨成粉末能增大反应接触面积, 加快反应速率; Fe<sup>3+</sup>、Pb<sup>2+</sup> 以氢氧化物形式完全沉淀时,溶液的 pH 值分别为 3.2、7.0, 加入盐酸的主要目的是为了控制 pH 值在 0.5~1.0, 抑制 Fe<sup>3+</sup>、Pb<sup>2+</sup> 的水解;(3) 产物中加入饱和食盐水, 趁热过滤, 利于  $\text{PbCl}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{PbCl}_4^{2-}(\text{aq}) \quad \Delta H > 0$ 正向进行, 使 PbCl<sub>2</sub> 溶解, 过滤除去硫等杂质, 滤液 1 含有 PbCl<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup> 等, 滤液 1 蒸发浓缩, 冷水浴中冷却, 利用平衡逆向进行, 析出 PbCl<sub>2</sub> 晶体, 操作①应为: 趁热过滤; 操作②应为: 蒸发浓缩, 冷却结晶;(4)  $K_{sp}(\text{PbSO}_4) = 1.0 \times 10^{-8} < K_{sp}(\text{PbCl}_2) = 1.6 \times 10^{-5}$ , 结合沉淀的转化, PbCl<sub>2</sub> 晶体转化为 PbSO<sub>4</sub> 沉淀是因为 PbCl<sub>2</sub> 中加入稀硫酸破坏了氯化铅的溶解平衡, 使溶解平衡正向移动生成硫酸铅, 反应的离子方程式为:  $\text{PbCl}_2(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq})$ , 该反

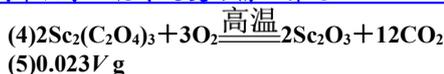
$$\text{应的平衡常数 } K = \frac{c^2(\text{Cl}^-)}{c(\text{SO}_4^{2-})} = \frac{K_{sp}(\text{PbCl}_2)}{K_{sp}(\text{PbSO}_4)} = \frac{1.6 \times 10^{-5}}{1.0 \times 10^{-8}} = 1.6 \times 10^3 \text{ mol/L}$$

(5) 铅蓄电池充电时为电解池, 阳极发生氧化反应, PbSO<sub>4</sub> 在阳极失去电子, 生成 PbO<sub>2</sub>, 电极反应式为:  $\text{PbSO}_4 - 2\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ ;

$$(6) 41.4 \text{ g Pb 的物质的量为: } \frac{41.4 \text{ g}}{207 \text{ g/mol}} = 0.2 \text{ mol}, \text{ 由电极反应可知: } \text{Pb} \sim 2\text{e}^-, \text{ 所以实际输出电量为: } 0.2 \text{ mol} \times 2 \times 96500 \text{ C/mol} = 38600 \text{ C}, \text{ 理论输出的电量为: } Q = I \cdot t = 0.2 \text{ A} \times 96500 \text{ s} = 19300 \text{ C}$$

该电池放电的能量转化率  $\alpha = \frac{\text{实际输出电量}}{\text{理论输出电量}} \times 100\% = \frac{19300 \text{ C}}{38600 \text{ C}} \times 100\% = 50\%$ 。

例 3、(1) 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<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 中, 并不断搅拌



【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、铈、铁、锰等离子，洗涤“油相”已除去大量的铈离子，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  $10^{-5} \text{mol/L}$ ）的 pH，发现锰离子沉淀完全时 pH 约为 10，铈离子沉淀完全时 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  $c(OH^-)=10^{-8} \text{mol/L}$ ，滤液中  $Sc^{3+}$  的浓度为  $\frac{9.0 \times 10^{-31}}{(10^{-8})^3} = 9.0 \times 10^{-7} \text{mol/L}$ ；(3) 25 °C 时 pH=2 的草酸溶液中  $c(\frac{C_2O_4^{2-}}{H_2C_2O_4}) = \frac{c(C_2O_4^{2-}) \cdot c(H^+)}{c(HC_2O_4^-) \cdot c(H^+)}$

$\times \frac{1}{c^2(H^+)} = \frac{K_{a2}(H_2C_2O_4) \times K_{a1}(H_2C_2O_4) \times \frac{1}{c^2(H^+)}}{K_{a2}(H_2C_2O_4) \times K_{a1}(H_2C_2O_4) \times \frac{1}{c^2(H^+)}} = 6.4 \times 10^{-5} \times 5.9 \times 10^{-2} \times \frac{1}{(10^{-2})^2} = 3.8 \times 10^{-2}$ ，“沉铈”得到草酸铈的离子方

程式为  $2Sc^{3+} + 3H_2C_2O_4 \rightleftharpoons Sc_2(C_2O_4)_3 \downarrow + 6H^+$ ；(4) 草酸铈“灼烧”氧化的化学方程式为  $2Sc_2(C_2O_4)_3 + 3O_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2Sc_2O_3 + 12CO_2$ ；(5)

废酸中含铈量为  $15 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则 VL 废酸中含铈的质量为  $15 \times 10^{-3} \text{g/L} \times VL = 0.015V \text{g}$ ，所以最多可提取  $Sc_2O_3$  的质量为  $\frac{0.015V \text{g}}{45} \times \frac{138}{2} = 0.023V \text{g}$ 。



(2)适当增大稀硫酸的浓度、升高温度、搅拌等

(3)  $CuSO_4$  (也可答“ $CuSO_4$  和  $H_2SO_4$ ”) 阴

(4)在低温条件下  $K_2Cr_2O_7$  的溶解度在整个体系中最小，且  $K_2Cr_2O_7$  的溶解度随温度的降低而显著减小

(5)  $Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^+ = 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$  49.0

(6)是

【解析】(1)根据流程图，煅烧时  $Cr_2O_3$  与纯碱和空气中的氧气反应生成  $Na_2CrO_4$ ，反应的化学方程式为  $2Cr_2O_3 + 3O_2 + 4Na_2CO_3 \xrightarrow{\text{高温}} 4Na_2CrO_4 + 4CO_2$ ，故答案为： $2Cr_2O_3 + 3O_2 + 4Na_2CO_3 \xrightarrow{\text{高温}} 4Na_2CrO_4 + 4CO_2$ ；

(2)为提高酸浸速率，可采用的措施是适当增大稀硫酸的浓度、升高温度、搅拌等；

(3)根据上述分析，浸出液中除了含有  $TeOSO_4$  (在电解过程中不反应)外，还可能含有  $CuSO_4$ 。铜离子转化为铜发生还原反应，电解沉积过程中析出单质铜的电极为阴极；

(4)在低温条件下  $K_2Cr_2O_7$  的溶解度在整个体系中最小，且  $K_2Cr_2O_7$  的溶解度随温度的降低而显著减小，因此通过冷却结晶能析出大量  $K_2Cr_2O_7$ ；

(5)①氧化还原滴定过程中发生硫酸亚铁铵  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$  与  $Cr_2O_7^{2-}$  的反应，其中  $Cr_2O_7^{2-}$  被还原为  $Cr^{3+}$  的离子方程式为  $Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^+ = 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$ ；

②  $n(Fe^{2+}) = 0.025 \text{L} \times 0.1000 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.0025 \text{mol}$ ，根据方程式  $Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^+ = 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$ ，则

$n(Cr_2O_7^{2-}) = 0.0025 \text{mol} \times \frac{1}{6} = 0.000417 \text{mol}$ ，则所得产品中  $K_2Cr_2O_7$  的纯度为  $\frac{0.000417 \text{mol} \times 294 \text{g/mol}}{2.50 \text{g}} \times 100\% = 49.0\%$ ；

(6)  $c(Cr^{3+})$  为  $3 \times 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则当溶液中开始析出  $Cr(OH)_3$  沉淀时， $c(OH^-) = \sqrt[3]{\frac{K_{sp}[Cr(OH)_3]}{c(Cr^{3+})}} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = \sqrt[3]{\frac{6.0 \times 10^{-31}}{3 \times 10^{-5}}} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，此时，

$c(Fe^{3+}) = \frac{K_{sp}[Fe(OH)_3]}{c^3(OH^-)} = \frac{4.0 \times 10^{-38}}{(3 \times 10^{-5})^3} = 2 \times 10^{-12} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} < 1 \times 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，说明  $Fe^{3+}$  沉淀完全。

例 5、(1)  $2H^+ + SiO_3^{2-} = H_2SiO_3(\text{胶体})$

(2) 3.2  $Ni(OH)_2$  把  $Cr^{3+}$  转化为  $CrO_2^-$ ，除去铬元素

(3) 70 °C 每 300mL 加入 8mL 双氧水 70 °C 以后沉淀率增加不大，同时双氧水分解速率加快，增加了成本

(4)  $3NiS + 8HNO_3 = 2NO \uparrow + 4H_2O + 3Ni(NO_3)_2 + 3S \downarrow$

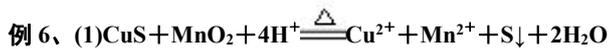
【解析】(1)“酸溶”后，加入十六烷基三甲基氯化铵溶液出现大量白色沉淀，这说明“酸溶”时生成的是硅酸胶体，所以“酸溶”时生成硅酸的离子方程式为  $2H^+ + SiO_3^{2-} = H_2SiO_3(\text{胶体})$ 。

(2)根据氢氧化铁的溶度积常数可知铁离子恰好沉淀时溶液中氢氧根的浓度是  $\sqrt[3]{\frac{10^{-37.4}}{10^{-5}}} \text{mol/L} = 10^{-10.8} \text{mol/L}$ ，则溶液的 pH=3.2；由于氢氧化铬的性质类似于氢氧化铝，则当氢氧化钠过量时会生成  $NaCrO_2$ ，因此工业上把 pH 调至 10，此时沉淀物有  $Fe(OH)_3$  和  $Ni(OH)_2$ ，目的是把  $Cr^{3+}$  转化为  $CrO_2^-$ ，除去铬元素。

(3)①根据图像可知温度为 70 °C、加入 8mL 双氧水时沉淀率高，因此合适的工艺条件为 70 °C、每 300mL 加入 8mL 双氧水；

②由于 70 °C 以后沉淀率增加不大，同时双氧水分解速率加快，增加了成本，所以温度不能太高。

(4)“一次沉镍”产物为  $NiS$ ，由于硝酸具有氧化性，则稀硝酸与之反应的化学反应方程式为  $3NiS + 8HNO_3 = 2NO \uparrow + 4H_2O + 3Ni(NO_3)_2 + 3S \downarrow$ 。



(2) Cu

(3) 将  $\text{Fe}^{2+}$  氧化为  $\text{Fe}^{3+}$   $5.0 < \text{pH} < 6.0$  (或  $5 \sim 6$ ) bd



(5)  $\text{Mn}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{MnCO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$  由于  $K = 7.0 \times 10^6 > 10^5$ , 所以该反应能进行

【解析】(1) 软锰矿(主要成分是  $\text{MnO}_2$ , 含少量  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$ )和闪锌矿(主要成分是  $\text{ZnS}$ , 含少量  $\text{FeS}$ 、 $\text{CuS}$  等杂质)中加入硫酸, 只有二氧化硅不能被硫酸溶解, 因此滤渣 1 中含有  $\text{SiO}_2$ , 由于  $\text{MnO}_2$  具有强氧化性, 能够在酸性溶液中将  $\text{CuS}$  氧化生成硫, 反应的离子方程式为  $\text{CuS} + \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ \xrightarrow{\Delta} \text{Cu}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{S}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ , 故答案为:  $\text{CuS} + \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ \xrightarrow{\Delta} \text{Cu}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{S}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ;

(2) 反应 II 中加入适量金属锌的目的是为了回收某种金属, 是因为锌能够将铜从溶液中置换出来, 因此滤渣 2 的主要成分是 Cu, 故答案为: Cu;

(3)  $\text{MnO}_2$  具有强氧化性, 反应 III 中  $\text{MnO}_2$  能够将  $\text{Fe}^{2+}$  氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ , 若反应后溶液中  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  均为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 根据流程图, 此过程中需要除去铁离子和铝离子, 不能沉淀  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 。根据  $K_{\text{sp}}[\text{Mn}(\text{OH})_2] = 2.0 \times 10^{-13}$ 、

$K_{\text{sp}}[\text{Zn}(\text{OH})_2] = 1.0 \times 10^{-17}$ , 则需调节溶液中的  $c(\text{OH}^-)$  分别小于  $\sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Mn}(\text{OH})_2]}{c(\text{Mn}^{2+})}} = \sqrt{\frac{2.0 \times 10^{-13}}{0.1}} = \sqrt{2} \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$^{-1}$ 、 $\sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Zn}(\text{OH})_2]}{c(\text{Zn}^{2+})}} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-17}}{0.1}} = 1.0 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则  $c(\text{OH}^-) < 1.0 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 即  $\text{pH} < 6$ , 根据  $K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3] = 1.0 \times 10^{-33}$ 、 $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 3.0 \times 10^{-39}$ , 则需调节溶液中的  $c(\text{OH}^-)$  分别大于  $\sqrt[3]{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3]}{10^{-6}}} = \sqrt[3]{\frac{1.0 \times 10^{-33}}{10^{-6}}} = 1.0 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\sqrt[3]{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]}{10^{-6}}} = \sqrt[3]{\frac{3.0 \times 10^{-39}}{10^{-6}}} = \sqrt[3]{3} \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则  $c(\text{OH}^-) > 1.0 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 即  $\text{pH} > 5$ , 因此 pH 范围为  $5.0 < \text{pH} < 6.0$ , 为了不引入杂质, X 可以是  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  和  $\text{MnCO}_3$ , 故答案为: 将  $\text{Fe}^{2+}$  氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ ;  $5.0 < \text{pH} < 6.0$  (或  $5 \sim 6$ ); bd;

(4) 反应 IV 中电极均是惰性电极, 电解硫酸锰和硫酸锌的混合溶液, 根据流程图, 电解生成了二氧化锰和锌, 则阳极电极反应式为  $\text{Mn}^{2+} - 2\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$ 。本工艺可以循环利用的物质有  $\text{MnO}_2$ 、Zn 和硫酸, 故答案为:  $\text{Mn}^{2+} - 2\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;

(5) 废水处理领域中常用  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  溶液将  $\text{Mn}^{2+}$  转化为  $\text{MnCO}_3$ , 反应的离子方程式为  $\text{Mn}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{MnCO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ , 该反应的平衡常数  $K = \frac{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}{c(\text{Mn}^{2+})c^2(\text{HCO}_3^-)} = \frac{K_{\text{a2}}}{K_{\text{a1}}K_{\text{sp}}(\text{MnCO}_3)} = \frac{5.6 \times 10^{-11}}{4.0 \times 10^{-7} \times 2.0 \times 10^{-11}} = 7.0 \times 10^6 > 10^5$ , 所以该反应能进行, 故答案为:  $\text{Mn}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{MnCO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ; 由于  $K = 7.0 \times 10^6 > 10^5$ , 所以该反应能进行。

【课后作业】

1、(1) 漏斗  $\text{SiO}_2$

(2) 取步骤 III 反应后的溶液少量试管中, 加入少量 KSCN 溶液, 若溶液未呈现血红色, 则说明已经进行完全

(3) 防止  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  分解、减少  $\text{Fe}^{2+}$  的水解  $2\text{HCO}_3^- + \text{Fe}^{2+} = \text{FeCO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$

高温



(5) 8.8

(6) 7b/10a

【解析】(1) 实验室实现“步骤 II”中分离操作所用的玻璃仪器有漏斗、玻璃棒和烧杯等; 该步骤是为了除去  $\text{SiO}_2$ 。

(2) 检验步骤 III 已经进行完全的操作是: 取步骤 III 反应后的溶液少量试管中, 加入少量 KSCN 溶液, 若溶液未呈现血红色, 则说明已经进行完全。

(3) 步骤 V 的反应温度一般需控制在  $35^\circ\text{C}$  以下, 其目的是: 防止  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  分解、减少  $\text{Fe}^{2+}$  的水解; 该步骤中反应生成  $\text{FeCO}_3$  的离子反应方程式为  $2\text{HCO}_3^- + \text{Fe}^{2+} = \text{FeCO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。

高温

(4) 步骤 VI 中发生反应的化学反应方程式为  $4\text{FeCO}_3 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{CO}_2$ 。

(5) 步骤 V 中,  $\text{FeCO}_3$  达到沉淀溶解平衡时, 若  $c(\text{Fe}^{2+}) = 1 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ , 欲使所得的  $\text{FeCO}_3$  中不含有  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , 应控制溶液的

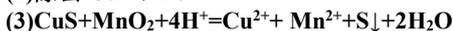
$c(\text{OH}^-) \leq \sqrt{\frac{4.9 \times 10^{-17}}{1 \times 10^{-6}}} \text{ mol/L} = 7 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ , 则  $c(\text{H}^+) \geq \frac{1}{7} \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ , 所以,  $\text{pH} \leq 8.8$ 。

(6) 由题意可知, 称取 ag 样品, 充分“酸溶”“水溶”后过滤, 向滤液中加入足量的  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 充分反应后加入 NaOH 溶液至不再继续产生沉淀, 经过滤、洗涤、灼烧至固体恒重, 冷却后称得氧化铁的质量为 bg, 则  $m(\text{Fe}) = \frac{bg \times 2 \times 56 \text{ g/mol}}{160 \text{ g/mol}} = \frac{7b}{10} \text{ g}$ , 所以, 该样品中 Fe

元素的质量分数为  $\frac{\frac{7b}{10} \text{ g}}{ag} = \frac{7b}{10a}$ 。

2、(1)+3

(2) 除去  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$



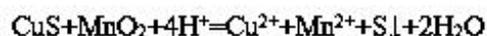
- (4)温度升高,盐酸挥发,反应物浓度降低  
 (5)  $\text{BiCl}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{BiOCl} \downarrow + 2\text{NaCl} + \text{CO}_2 \uparrow$   
 (6)50 : 1 5.3

【解析】(1)BiOCl中O为-2价,Cl为-1价,根据化合价代数和为0,可知Bi元素的化合价为+3价,答案为: +3

(2)向“酸浸”所得“浸液1”中加入Zn粉,Zn粉能与 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 反应生成Cu和Fe,从而除去 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ ,

答案为: 除去 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$

(3)“浸铜”时,加入的物质是稀硫酸、 $\text{MnO}_2$ ,得到单质硫,发生反应 $\text{CuS} + \text{MnO}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{S} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ,根据化合价升降法配平,离子方程式为:  $\text{CuS} + \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ = \text{Cu}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ , 答案为:



(4)“浸铋”时,所加物质为盐酸和氯化钠溶液,盐酸易挥发,升高温度,HCl挥发,反应物浓度降低,答案为: 温度升高,盐酸挥发,反应物浓度降低

(5)“沉铋”时加入的物质是 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,生成BiOCl,因此有 $\text{BiCl}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{BiOCl}$ ,根据反应特点产物还有NaCl和 $\text{CO}_2$ ,化学方程式为:  $\text{BiCl}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{BiOCl} \downarrow + 2\text{NaCl} + \text{CO}_2 \uparrow$  答案为:  $\text{BiCl}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{BiOCl} \downarrow + 2\text{NaCl} + \text{CO}_2 \uparrow$

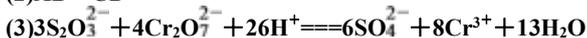
(6)①根据表格数据,L/S=50:1以后, $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{As}^{3+}$ 去除率虽然增加,但是 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{As}^{3+}$ 去除率变化都不大,因此为了节省能源以及原料,L/S控制在50:1② $c(\text{AsO}_4^{3-}) = 1 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$ ,此时 $c(\text{Fe}^{3+}) = K_{\text{sp}}(\text{FeAsO}_4) / c(\text{AsO}_4^{3-}) = 5 \times 10^{-21} / 10^{-9} \text{ mol/L} = 5 \times 10^{-12} \text{ mol/L}$ ,此时

$$c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}(\text{Fe}(\text{OH})_3)}{c(\text{Fe}^{3+})}} = \sqrt{\frac{4 \times 10^{-38}}{5 \times 10^{-12}}} = 2 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$$

此时的pH=5.3,即pH小于5.3.答案为: 5.3

3、(1)A

(2)AB CD



(4)不能 因阳极产生的 $\text{Cu}^{2+}$ 不能使 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 还原到低价态

(5)8

【解析】I.某工业废水中主要含有 $\text{Cr}^{3+}$ ,同时还含有少量的 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 等,加双氧水把亚铁离子氧化为铁离子,同时 $\text{Cr}^{3+}$ 被氧化为 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,加氢氧化钠调节pH=8,则 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 转化为氢氧化铁和氢氧化铝沉淀,过滤,滤液中主要含有 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 等,通过钠离子交换树脂,除去 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ ,然后加 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 把 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 还原为 $\text{Cr}^{3+}$ ,再调节pH得到 $\text{Cr}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5\text{SO}_4$ ,

(1)加氧化剂主要目的是把亚铁离子氧化为铁离子,同时不能引入新的杂质,所以可以用 $\text{Na}_2\text{O}_2$ 代替 $\text{H}_2\text{O}_2$ ;

(2)根据表中数据可知,pH=8时, $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 转化为氢氧化铁和氢氧化铝沉淀,则 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 被除去;通过钠离子交换树脂,除去 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ ;

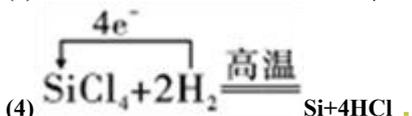
(3)每消耗 $0.8 \text{ mol Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 转移 $4.8 \text{ mol e}^-$ ,则 $1 \text{ mol Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 转移 $6 \text{ mol}$ 电子,所以生成 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 被氧化为 $\text{SO}_4^{2-}$ ,则反应的离子方程式为:  
 $3\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 4\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 26\text{H}^+ = 6\text{SO}_4^{2-} + 8\text{Cr}^{3+} + 13\text{H}_2\text{O}$ ;

II.(1)若用Cu电极来代替Fe电极,在阳极上铜失去电子得到的阳离子是铜离子,该离子不具有还原性,不能和重铬酸根之间发生反应;

(2)由 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 的溶度积 $K_{\text{sp}} = 1 \times 10^{-20}$ 可得 $K_{\text{sp}} = c(\text{Cr}^{3+}) \times c^3(\text{OH}^-) = 0.01 \times c^3(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-20}$ , $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-6}$ ,所以 $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-8}$ ,pH=8.

4、(1) $\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  加热或适当增大 $\text{H}^+$ 的浓度或将矿石粉碎

(2)65.2 250mL容量瓶、胶头滴管



(5) $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氨水 [5.3, 9.0]

【解析】(1) $\text{MgAl}_4\text{Si}_{10}\text{O}_{26}(\text{OH})_2$ 用氧化物的形式表示为 $\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,酸浸时,为了提高浸取率,可以改变适当的条件,采取的措施通常有加热或适当增大 $\text{H}^+$ 的浓度或将矿石粉碎,故答案为:  $\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; 加热或适当增大 $\text{H}^+$ 的浓度或将矿石粉碎;

(2)根据稀释后硫酸的物质的量不变,需量取浓硫酸的体积= $\frac{0.250 \text{ L} \times 4.8 \text{ mol/L}}{18.4 \text{ mol/L}} = 0.0652 \text{ L} = 65.2 \text{ mL}$ ,配制时所用玻璃仪器除量筒、烧杯和玻璃棒外,还需250mL容量瓶、胶头滴管,故答案为: 65.2; 250mL容量瓶、胶头滴管;

(3)实验室通常用浓盐酸与二氧化锰加热制备 $\text{Cl}_2$ ,反应的离子反应方程式为 $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- \xrightarrow{\Delta} \text{Mn}^{2+} + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ,故答案为:



(4)根据流程图,粗硅与氯气反应生成四氯化硅,四氯化硅和 $\text{H}_2$ 反应生成硅和氯化氢,反应的化学方程式为 $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si} + 4\text{HCl}$

+ Si, 反应过程中电子的转移用单线桥法表示为  $\overset{4e^-}{\text{SiCl}_4+2\text{H}_2} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si}+4\text{HCl}$ , 故答案为:  $\overset{4e^-}{\text{SiCl}_4+2\text{H}_2} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si}+4\text{HCl}$ ;

(5) 由于氢氧化铝是两性氢氧化物, 能够溶于过量的氢氧化钠溶液, 因此选用  $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  氨水较为合理; 当开始沉淀  $\text{Mg}^{2+}$  时,

$$c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2]}{c(\text{Mg}^{2+})}} = \sqrt{\frac{2.8 \times 10^{-11}}{0.28}} = \sqrt{1.0 \times 10^{-10}} = 1.0 \times 10^{-5} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}, \text{pH}=9.0, \text{当完全沉淀 } \text{Mg}^{2+} \text{ 时,}$$

$$c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2]}{c(\text{Mg}^{2+})}} = \sqrt{\frac{2.8 \times 10^{-11}}{1.0 \times 10^{-6}}} = \sqrt{2.8 \times 10^{-5}} = \sqrt{28} \times 10^{-3} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}, \text{pH 在 } 11\sim 12 \text{ 之间, 当开始沉淀 } \text{Al}^{3+} \text{ 时,}$$

$$c(\text{OH}^-) = \sqrt[3]{\frac{K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3]}{c(\text{Al}^{3+})}} = \sqrt[3]{\frac{8.0 \times 10^{-33}}{1.0}} = 2.0 \times 10^{-11} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}, \text{pH}=3.3, \text{当完全沉淀 } \text{Al}^{3+} \text{ 时,}$$

$$c(\text{OH}^-) = \sqrt[3]{\frac{K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3]}{c(\text{Al}^{3+})}} = \sqrt[3]{\frac{8.0 \times 10^{-33}}{1.0 \times 10^{-6}}} = 2.0 \times 10^{-9} \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}, \text{pH}=5.3, \text{因此调节溶液的 pH 值使 } \text{Al}^{3+} \text{ 和 } \text{Mg}^{2+} \text{ 完全分离, 需要控制}$$

溶液的 pH 值在 [5.3, 9.0), 故答案为:  $0.1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  氨水; [5.3, 9.0)。

5、(1)  $\text{SiO}_2 + 5\text{Ni} + 12\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- = 5\text{Ni}^{2+} + \text{N}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$

(2) 将亚铁离子氧化为铁离子 调节溶液的 pH, 使  $\text{Fe}^{3+}$  完全沉淀为黄钠铁矾渣

(3)  $\text{H}_2\text{S} + \text{Cu}^{2+} = \text{CuS}\downarrow + 2\text{H}^+$  无易挥发的有毒气体  $\text{H}_2\text{S}$  逸出, 可保护环境

(4) 过量的 F<sup>-</sup> 生成氢氟酸会腐蚀陶瓷容器

(5) 9.15

**【解析】** (1)  $\text{SiO}_2$  不溶于硫酸和硝酸, 故“酸溶”时, 废渣的主要成分是  $\text{SiO}_2$ ; 金属镍溶解时被氧化为镍离子的同时硝酸被还原产生氮气, 反应的离子方程式为  $5\text{Ni} + 12\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- = 5\text{Ni}^{2+} + \text{N}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ ; (2) 双氧水具有强氧化性, 加入双氧水目的是将  $\text{Fe}^{2+}$  全部氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ ; 加入碳酸钠的目的是调节溶液的 pH, 使  $\text{Fe}^{3+}$  完全沉淀为黄钠铁矾渣; (3) 硫化氢与铜离子反应生成硫化铜沉淀:  $\text{H}_2\text{S} + \text{Cu}^{2+} = \text{CuS}\downarrow + 2\text{H}^+$ ;  $\text{Na}_2\text{S}$  与铜离子反应生成  $\text{CuS}$  沉淀, 若用  $\text{Na}_2\text{S}$  代替  $\text{H}_2\text{S}$  除铜, 则无易挥发的有毒气体  $\text{H}_2\text{S}$  逸出, 可保护环境, 除铜效果更好; (4) 氟离子水解生成氟化氢, 腐蚀陶瓷容器, 故  $\text{NaF}$  的实际用量不能过多; (5)

$K_{sp}[\text{N}]$

$i(\text{OH})_2 = c(\text{Ni}^{2+})c^2(\text{OH}^-) = 1.0 \times 10^{-5} \text{mol/L} \times c^2(\text{OH}^-) = 2.0 \times 10^{-15}$ , 则  $c(\text{OH}^-) = \sqrt{2.0} \times 10^{-5}$ ,  $c(\text{H}^+) = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 10^{-9}$ , 该流程在“沉镍”过程中, 需调节溶液 pH 约为 9.15 时,  $\text{Ni}^{2+}$  才刚好沉淀完全。

6、(1) 提高反应温度或将软锰矿研细等其他合理答案

(2)  $\text{Fe}(\text{OH})_3$   $\text{Ca}^{2+}$

(3) <

(4) 115.8 或  $1.2 \times 10^2$

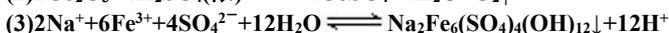
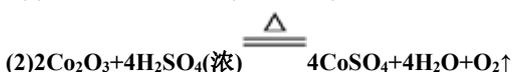
**【解析】** (1) 反应物接触面积越大、温度越高反应速率越快, 所以能提高还原浸出速率的措施: 升高反应温度或将软锰矿研细等;

(2) 调节溶液的 pH,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  的  $K_{sp}$  为  $4.0 \times 10^{-38}$  与其它离子相比最小, 调节 pH 可以将  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  沉淀下来;  $\text{CaF}_2$  难溶于水, 滤液 2 中含有  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ , 加入  $\text{MnF}_2$  的目的是形成  $\text{CaF}_2$  沉淀, 除去  $\text{Ca}^{2+}$ ; (3)  $\text{S}^{2-}$  水解显碱性, 促进  $\text{NH}_4^+$  水解, 所以等浓度的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  与  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  溶液中,  $\text{NH}_4^+$  的浓度大小为: 前者 < 后者,

(4) 由  $\text{MnCO}_3(\text{s}) + 2\text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ , 可知,

$$K = \frac{c(\text{CO}_3^{2-})}{c^2(\text{OH}^-)} = \frac{K_{sp}(\text{MnCO}_3)}{K_{sp}(\text{Mn}(\text{OH})_2)} = \frac{2.2 \times 10^{-11}}{1.9 \times 10^{-13}} = 115.8.$$

7、(1) 12h  $90^\circ\text{C}$   $\text{SiO}_2$  (二氧化硅)



(4)  $2.0 \times 10^{-5} (\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})^{-1}$

(5)  $\text{Cu}_2\text{S}$ 、S

(6)  $\text{NiSO}_4$

$$\frac{0.036 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 5 \text{ L} \times 59 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{100 \text{ g} \times 11.80 \%} \times 100 \% = 90.00\%$$

(7)

【解析】(1) 根据钴的浸出率随酸浸时间、温度的变化关系, 推出在 12h、90℃时钴的浸出率最高; 根据水钴矿的成分, SiO<sub>2</sub> 是酸性氧化物, 不与酸反应, 即滤渣①的主要成分是 SiO<sub>2</sub>; (2) Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中 Co 的化合价由 +3 价 → +2 价, 化合价降低, 应该是 O 元素

被氧化成 O<sub>2</sub>, 因此反应方程式为  $2\text{Co}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} 4\text{CoSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2\uparrow$ ; (3) 根据生成黄钠铁矾, 推出离子反应方程式

$$\frac{c(\text{Mg}^{2+})}{c(\text{Ca}^{2+})} = \frac{K_{sp}(\text{MgF}_2)}{K_{sp}(\text{CaF}_2)} = \frac{7.4 \times 10^{-11}}{1.5 \times 10^{-10}}$$

为  $2\text{Na}^+ + 6\text{Fe}^{3+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 12\text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}\downarrow + 12\text{H}^+$ ; (4)  $c(\text{Mg}^{2+}) = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  代入公式, 求出  $c(\text{Ca}^{2+}) = 2.0 \times 10^{-5}$ ; (5) 还原产物是氧化剂被还原得出的物质, 根据化学反应方程式, CuSO<sub>4</sub> 中 Cu 的化合价由 +2 价 → +1 价, 化合价降低, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中一部分 S 的化合价降低, 转化成 S 和 Cu<sub>2</sub>S 中的 S, 即还原产物是 Cu<sub>2</sub>S 和 S;

(6) 根据流程的目的, 以及主要成分, 推出水相①中含有溶质为 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 NiSO<sub>4</sub>; (7) 根据产率的公式, 得出钴的产率为

### 8、(1) Ag<sup>+</sup> + e<sup>-</sup> = Ag

(2) 减小 阳极参与失电子的金属除了银还有比银活泼的金属, 例如铁, 但阴极得电子的却只有 Ag<sup>+</sup>, 所以 AgNO<sub>3</sub> 浓度减小

(3)  $4.0 \times 10^{-20} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(4) 1 : 1

(5) 用一支洁净的小试管, 取最后清洗液 1~2mL, 向其中滴入过量的稀硝酸酸化, 之后滴加几滴 AgNO<sub>3</sub> 溶液, 若出现白色沉淀, 说明没有洗干净, 反之则洗涤干净

(6)  $(\text{NH}_4)_2\text{PdCl}_6 + 2\text{HCOOH} = \text{Pd}\downarrow + 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{NH}_4^+ + 6\text{Cl}^- + 4\text{H}^+$

【解析】I. 工业上常利用电解含有铁、钯、铜等金属的粗银棒精炼银, 根据电解装置图, 粗银棒为阳极, 纯银片为阴极。

(1) 阴极发生还原反应, 溶液中的阳离子放电, 电极反应式为  $\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}$ , 故答案为:  $\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}$ ;

(2) 精炼过程中, 阳极参与失电子的金属除了银还有比银活泼的金属, 例如铁等元素, 但阴极得电子的却只有 Ag<sup>+</sup>, 所以 AgNO<sub>3</sub> 浓度减小, 故答案为: 减小; 阳极参与失电子的金属除了银还有比银活泼的金属, 例如铁, 但阴极得电子的却只有 Ag<sup>+</sup>, 所以 AgNO<sub>3</sub> 浓度减小;

II. (3) 根据  $K_{sp}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 2.0 \times 10^{-15}$ ,  $c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_{sp}[\text{Ni}(\text{OH})_2]}{c(\text{Ni}^{2+})}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = \sqrt{\frac{2.0 \times 10^{-15}}{2 \times 10^{-3}}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 根据

$K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 4.0 \times 10^{-38}$ , 得  $c(\text{Fe}^{3+}) = \frac{K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3]}{c^3(\text{OH}^-)} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{4.0 \times 10^{-38}}{(1 \times 10^{-6})^3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 4.0 \times 10^{-20} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 故答案为:  $4.0 \times 10^{-20} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ;

(4) “氧化”过程中过氧化氢在酸性条件下氧化 Pd<sup>2+</sup> 得到 PdCl<sub>6</sub><sup>2-</sup>, 失去 2e<sup>-</sup>, 同时过氧化氢被还原得到水, 得到 2e<sup>-</sup>, 根据得失电子守恒, 氧化剂与还原剂的物质的量之比为 1 : 1, 故答案为: 1 : 1;

(5) 为保证产品的纯净, “沉淀”过程中所得滤渣需要洗涤, 根据流程图, 沉淀上吸附的离子有氯离子等, 检验滤渣是否洗净只需要检验是否存在氯离子即可, 方法为用一支洁净的小试管, 取最后清洗液 1~2mL, 向其中滴入过量的稀硝酸酸化, 之后滴加几滴 AgNO<sub>3</sub> 溶液, 若出现白色沉淀, 说明没有洗干净, 反之则洗涤干净, 故答案为: 用一支洁净的小试管, 取最后清洗液 1~2mL, 向其中滴入过量的稀硝酸酸化, 之后滴加几滴 AgNO<sub>3</sub> 溶液, 若出现白色沉淀, 说明没有洗干净, 反之则洗涤干净;

(6) “还原”步骤中 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>PdCl<sub>6</sub> 与 HCOOH 发生氧化还原反应生成 Pd 单质, 甲酸被氧化生成二氧化碳, 反应的离子方程式为  $(\text{NH}_4)_2\text{PdCl}_6 + 2\text{HCOOH} = \text{Pd}\downarrow + 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{NH}_4^+ + 6\text{Cl}^- + 4\text{H}^+$ , 故答案为:  $(\text{NH}_4)_2\text{PdCl}_6 + 2\text{HCOOH} = \text{Pd}\downarrow + 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{NH}_4^+ + 6\text{Cl}^- + 4\text{H}^+$ 。