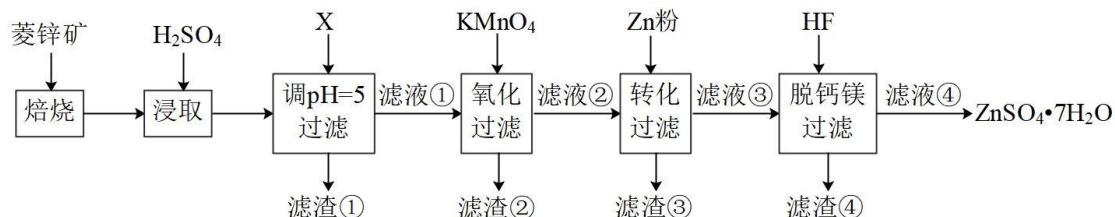


专题 11 化学工艺流程

【2022 年】

1. (2022·全国甲卷) 硫酸锌(ZnSO_4)是制备各种含锌材料的原料, 在防腐、电镀、医学上有诸多应用。硫酸锌可由菱锌矿制备。菱锌矿的主要成分为 ZnCO_3 , 杂质为 SiO_2 以及 Ca 、 Mg 、 Fe 、 Cu 等的化合物。其制备流程如下:



本题中所涉及离子的氯氧化物溶度积常数如下表:

离子	Fe^{3+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Mg^{2+}
K_{sp}	4.0×10^{-38}	6.7×10^{-17}	2.2×10^{-20}	8.0×10^{-16}	1.8×10^{-11}

回答下列问题:

- (1) 菱锌矿焙烧生成氧化锌的化学方程式为_____。
- (2) 为了提高锌的浸取效果, 可采取的措施有_____、_____。
- (3) 加入物质 X 调溶液 $\text{pH}=5$, 最适宜使用的 X 是_____(填标号)。

A. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ B. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ C. NaOH

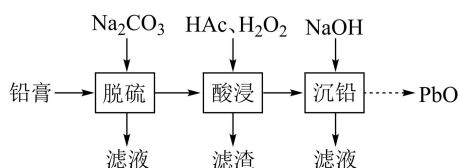
滤渣①的主要成分是_____、_____、_____。

- (4) 向 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ 的滤液①中分批加入适量 KMnO_4 溶液充分反应后过滤, 滤渣②中有 MnO_2 , 该步反应的离子方程式为_____。

- (5) 滤液②中加入锌粉的目的是_____。

- (6) 滤渣④与浓 H_2SO_4 反应可以释放 HF 并循环利用, 同时得到的副产物是_____、_____。

2. (2022·全国乙卷) 废旧铅蓄电池的铅膏中主要含有 PbSO_4 、 PbO_2 、 PbO 和 Pb 。还有少量 Ba 、 Fe 、 Al 的盐或氧化物等。为了保护环境、充分利用铅资源, 通过下图流程实现铅的回收。



一些难溶电解质的溶度积常数如下表：

难溶电解质	PbSO_4	PbCO_3	BaSO_4	BaCO_3
K_{sp}	2.5×10^{-8}	7.4×10^{-14}	1.1×10^{-10}	2.6×10^{-9}

一定条件下，一些金属氢氧化物沉淀时的 pH 如下表：

金属氢氧化物	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Pb}(\text{OH})_2$
开始沉淀的 pH	2.3	6.8	3.5	7.2
完全沉淀的 pH	3.2	8.3	4.6	9.1

回答下列问题：

(1)在“脱硫”中 PbSO_4 转化反应的离子方程式为_____，用沉淀溶解平衡原理解释选择 Na_2CO_3 的原因_____。

(2)在“脱硫”中，加入 Na_2CO_3 不能使铅膏中 BaSO_4 完全转化，原因是_____。

(3)在“酸浸”中，除加入醋酸(HAc)，还要加入 H_2O_2 。

(i)能被 H_2O_2 氧化的离子是_____；

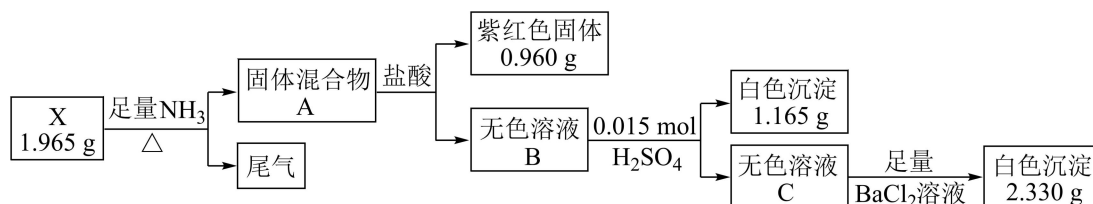
(ii) H_2O_2 促进了金属 Pb 在醋酸中转化为 $\text{Pb}(\text{Ac})_2$ ，其化学方程式为_____；

(iii) H_2O_2 也能使 PbO_2 转化为 $\text{Pb}(\text{Ac})_2$ ， H_2O_2 的作用是_____。

(4)“酸浸”后溶液的 pH 约为 4.9，滤渣的主要成分是_____。

(5)“沉铅”的滤液中，金属离子有_____。

3. (2022·浙江卷) 化合物 X 由三种元素组成，某实验小组按如下流程进行相关实验：



化合物 X 在空气中加热到 800°C ，不发生反应。

请回答：

(1)组成 X 的三种元素为_____；X 的化学式为_____。

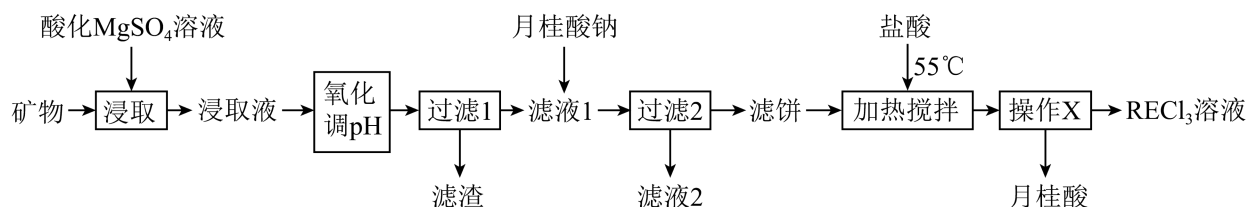
(2)溶液 C 的溶质组成为_____ (用化学式表示)。

(3)①写出由 X 到 A 的化学方程式_____。

②X 难溶于水，但可溶于氨水中，写出该反应的离子方程式_____。

(4)设计实验，检验尾气中相对活泼的 2 种气体_____。

4. (2022·广东卷) 稀土(RE)包括镧、钕等元素，是高科技发展的关键支撑。我国南方特有的稀土矿可用离子交换法处理，一种从该类矿(含铁、铝等元素)中提取稀土的工艺如下：



已知：月桂酸($C_{11}H_{23}COOH$)熔点为 $44^{\circ}C$ ；月桂酸和 $(C_{11}H_{23}COO)_3RE$ 均难溶于水。该工艺条件下，稀土离子保持 +3 价不变； $(C_{11}H_{23}COO)_2Mg$ 的 $K_{sp} = 1.8 \times 10^{-8}$ ， $Al(OH)_3$ 开始溶解时的 pH 为 8.8；有关金属离子沉淀的相关 pH 见下表。

离子	Mg^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}	RE^{3+}
开始沉淀时的 pH	8.8	1.5	3.6	6.2~7.4
沉淀完全时的 pH	/	3.2	4.7	/

(1)“氧化调 pH”中，化合价有变化的金属离子是_____。(2)“过滤 1”前，用 NaOH 溶液调 pH 至_____的范围内，该过程中 Al^{3+} 发生反应的离子方程式为_____。

(3)“过滤 2”后，滤饼中检测不到 Mg 元素，滤液 2 中 Mg^{2+} 浓度为 $2.7g \cdot L^{-1}$ 。为尽可能多地提取 RE^{3+} ，可提高月桂酸钠的加入量，但应确保“过滤 2”前的溶液中 $c(C_{11}H_{23}COO^-)$ 低于_____ $mol \cdot L^{-1}$ (保留两位有效数字)。

(4)①“加热搅拌”有利于加快 RE^{3+} 溶出、提高产率，其原因是_____。

②“操作 X”的过程为：先_____，再固液分离。

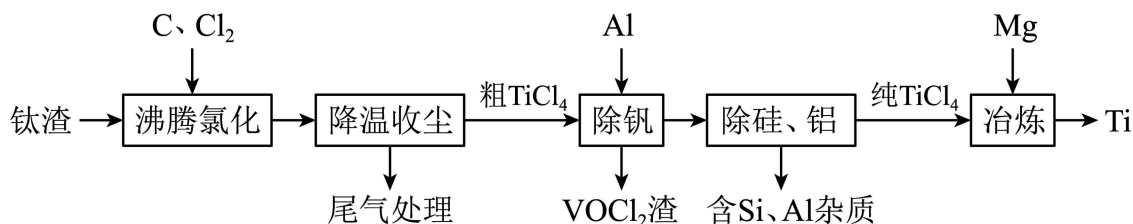
(5)该工艺中，可再生循环利用的物质有_____ (写化学式)。

(6)稀土元素钇(Y)可用于制备高活性的合金类催化剂 Pt_3Y 。

①还原 YCl_3 和 $PtCl_4$ 熔融盐制备 Pt_3Y 时，生成 $1mol Pt_3Y$ 转移_____ mol 电子。

② Pt_3Y/C 用作氢氧燃料电池电极材料时，能在碱性溶液中高效催化 O_2 的还原，发生的电极反应为_____。

5. (2022·湖南卷) 钛(Ti)及其合金是理想的高强度、低密度结构材料。以钛渣(主要成分为TiO₂, 含少量V、Si和Al的氧化物杂质)为原料, 制备金属钛的工艺流程如下:



已知“降温收尘”后, 粗TiCl₄中含有的几种物质的沸点:

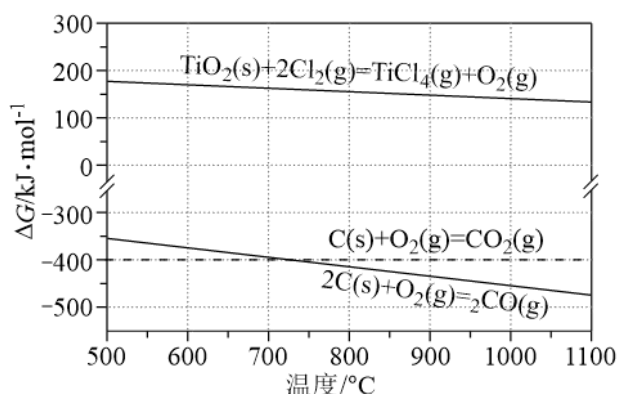
物质	TiCl ₄	VOCl ₃	SiCl ₄	AlCl ₃
沸点/℃	136	127	57	180

回答下列问题:

(1) 已知 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, ΔG 的值只决定于反应体系的始态和终态, 忽略 ΔH 、 ΔS 随温度的变化。

若 $\Delta G < 0$, 则该反应可以自发进行。根据下图判断: 600℃时, 下列反应不能自发进行的是

_____。



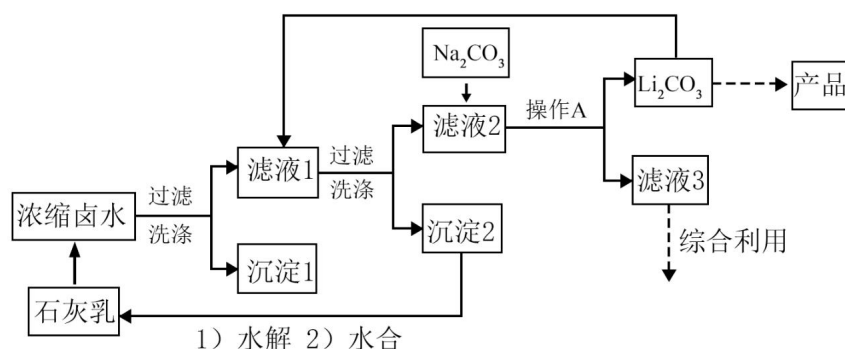
- A. $C(s) + O_2(g) = CO_2(g)$
- B. $2C(s) + O_2(g) = 2CO(g)$
- C. $TiO_2(s) + 2Cl_2(g) = TiCl_4(g) + O_2(g)$
- D. $TiO_2(s) + C(s) + 2Cl_2(g) = TiCl_4(g) + CO_2(g)$

(2) TiO₂与C、Cl₂, 在600℃的沸腾炉中充分反应后, 混合气体中各组分的分压如下表:

物质	TiCl ₄	CO	CO ₂	Cl ₂
分压/MPa	4.59×10^{-2}	1.84×10^{-2}	3.70×10^{-2}	5.98×10^{-9}

- ①该温度下， TiO_2 与 C 、 Cl_2 反应的总化学方程式为_____；
- ②随着温度升高，尾气中 CO 的含量升高，原因是_____。
- (3)“除钒”过程中的化学方程式为_____；“除硅、铝”过程中，分离 TiCl_4 中含 Si 、 Al 杂质的方法是_____。
- (4)“除钒”和“除硅、铝”的顺序_____ (填“能”或“不能”)交换，理由是_____。
- (5)下列金属冶炼方法与本工艺流程中加入 Mg 冶炼 Ti 的方法相似的是_____。
- A. 高炉炼铁 B. 电解熔融氯化钠制钠
- C. 铝热反应制锰 D. 氧化汞分解制汞

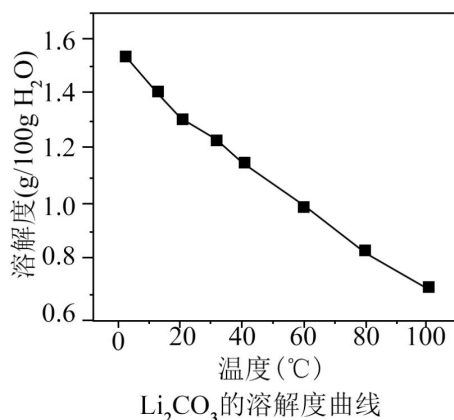
6. (2022·湖北卷) 全球对锂资源的需求不断增长，“盐湖提锂”越来越受到重视。某兴趣小组取盐湖水进行浓缩和初步除杂后，得到浓缩卤水(含有 Na^+ 、 Li^+ 、 Cl^- 和少量 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})，并设计了以下流程通过制备碳酸锂来提取锂。



25℃时相关物质的参数如下：

LiOH 的溶解度：12.4g / 100g H_2O

化合物	K_{sp}
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	5.6×10^{-12}
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	5.5×10^{-6}
CaCO_3	2.8×10^{-9}
Li_2CO_3	2.5×10^{-2}



回答下列问题：

(1)“沉淀 1”为_____。

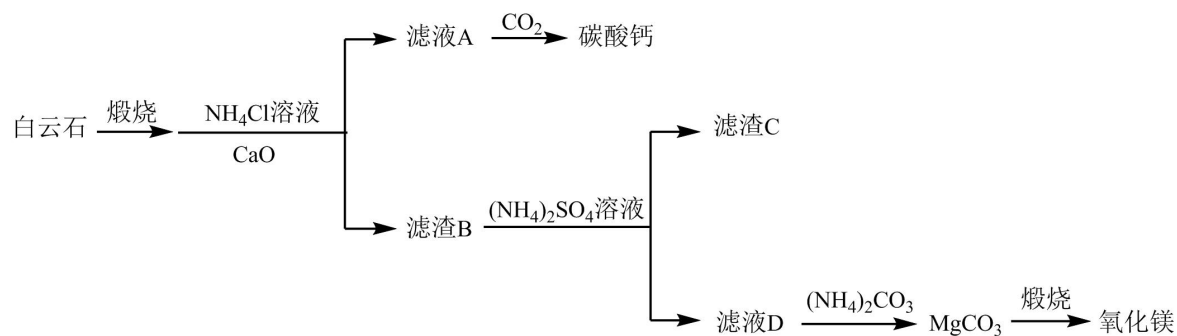
(2)向“滤液 1”中加入适量固体 Li₂CO₃ 的目的是_____。

(3)为提高 Li₂CO₃ 的析出量和纯度，“操作 A”依次为_____、_____、洗涤。

(4)有同学建议用“侯氏制碱法”的原理制备 Li₂CO₃。查阅资料后，发现文献对常温下的 Li₂CO₃ 有不同的描述：①是白色固体；②尚未从溶液中分离出来。为探究 LiHCO₃ 的性质，将饱和 LiCl 溶液与饱和 NaHCO₃ 溶液等体积混合，起初无明显变化，随后溶液变浑浊并伴有气泡冒出，最终生成白色沉淀。上述现象说明，在该实验条件下 LiHCO₃ _____(填“稳定”或“不稳定”)，有关反应的离子方程式为_____。

(5)他们结合(4)的探究结果，拟将原流程中向“滤液 2”加入 Na₂CO₃ 改为通入 CO₂。这一改动能否达到相同的效果，作出你的判断并给出理由_____。

7. (2022·北京卷) 铵浸法由白云石[主要成分为 CaMg(CO₃)₂，含 Fe₂O₃，SiO₂ 杂质]制备高纯度碳酸钙和氧化镁。其流程如下：



已知：

物质	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	CaCO_3	MgCO_3
K_{sp}	5.5×10^{-6}	1.8×10^{-12}	2.8×10^{-9}	3.5×10^{-8}

(1)煅烧白云石的化学方程式为_____。

(2)根据下表数据分析：

$n(\text{NH}_4\text{Cl}):n(\text{CaO})$	CaO 浸出率 /%	MgO 浸出率 /%	$w(\text{CaCO}_3)$ 理论值 /%	$w(\text{CaCO}_3)$ 实测值 /%
2.1:1	98.4	1.1	99.7	-
2.2:1	98.8	1.5	99.2	99.5
2.3:1	98.9	1.8	98.8	99.5
2.4:1	99.1	6.0	95.6	97.6

已知：i. 对浸出率给出定义

ii. 对 $w(\text{CaCO}_3)$ 给出定义

①“沉钙”反应的化学方程式为_____。

②CaO 浸出率远高于 MgO 浸出率的原因为_____。

③不宜选用的“ $n(\text{NH}_4)\text{Cl}:n(\text{CaO})$ ”数值为_____。

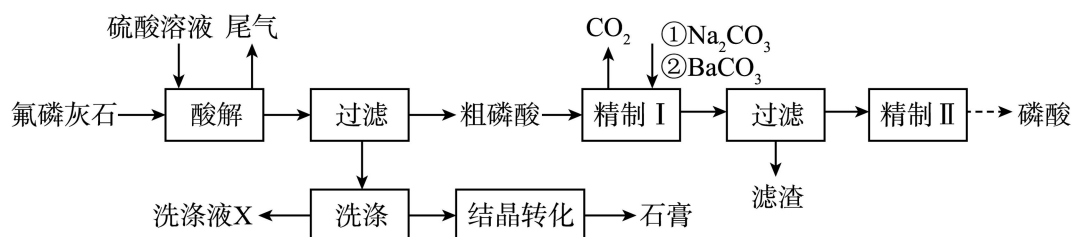
④ $w(\text{CaCO}_3)$ 实测值大于理论值的原因_____。

⑤蒸馏时，随馏出液体积增大，MgO 浸出率可由 68.7% 增加至 98.9%，结合化学反应原理解释 MgO 浸出率提高的原因为_____。

(3)滤渣 C 为_____。

(4)可循环利用的物质为_____。

8. (2022·山东卷)工业上以氟磷灰石 $[\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3]$ ，含 SiO_2 等杂质]为原料生产磷酸和石膏，工艺流程如下：



回答下列问题：

(1)酸解时有HF产生。氢氟酸与 SiO_2 反应生成二元强酸 H_2SiF_6 ，离子方程式为_____。

(2)部分盐的溶度积常数见下表。精制I中，按物质的量之比 $n(\text{Na}_2\text{CO}_3):n(\text{SiF}_6^{2-})=1:1$ 加入 Na_2CO_3 脱氟，充分反应后， $c(\text{Na}^+)=$ _____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ；再分批加入一定量的 BaCO_3 ，首先转化为沉淀的离子是_____。

	BaSiF_6	Na_2SiF_6	CaSO_4	BaSO_4
K_{sp}	1.0×10^{-6}	4.0×10^{-6}	9.0×10^{-4}	1.0×10^{-10}

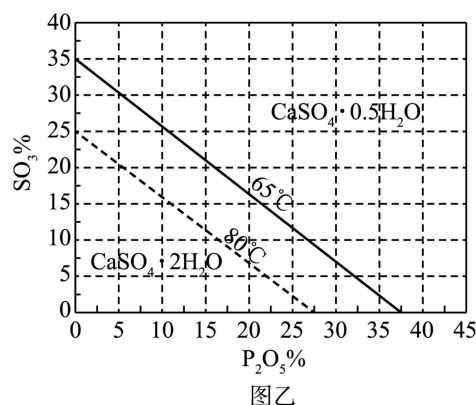
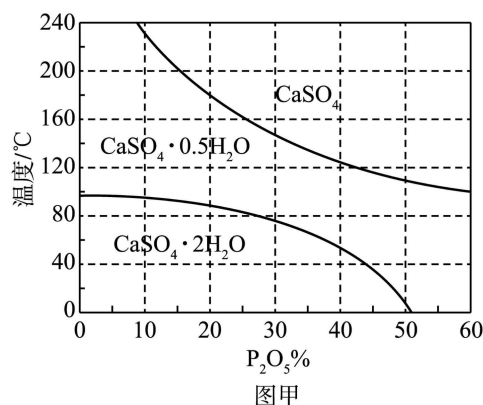
(3) SO_4^{2-} 浓度(以 $\text{SO}_3\%$ 计)在一定范围时，石膏存在形式与温度、 H_3PO_4 浓度(以 $\text{P}_2\text{O}_5\%$ 计)的关系

如图甲所示。酸解后，在所得 100°C 、 $\text{P}_2\text{O}_5\%$ 为45的混合体系中，石膏存在形式为_____ (填

化学式)；洗涤时使用一定浓度的硫酸溶液而不使用水，原因是_____，回收利用洗涤液X的

操作单元是_____；一定温度下，石膏存在形式与溶液中 $\text{P}_2\text{O}_5\%$ 和 $\text{SO}_3\%$ 的关系如图乙所示，

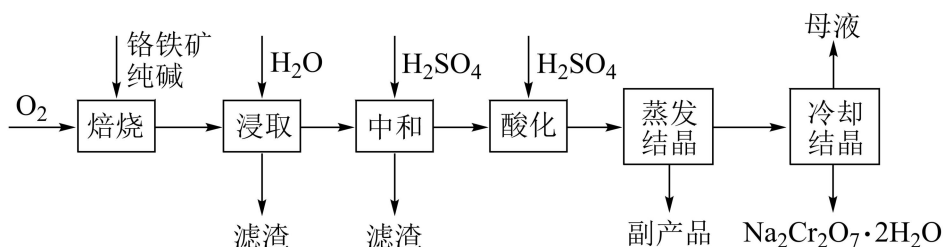
下列条件能实现酸解所得石膏结晶转化的是_____ (填标号)。



- A. 65°C 、 $\text{P}_2\text{O}_5\%=15$ 、 $\text{SO}_3\%=15$ B. 80°C 、 $\text{P}_2\text{O}_5\%=10$ 、 $\text{SO}_3\%=20$
- C. 65°C 、 $\text{P}_2\text{O}_5\%=10$ 、 $\text{SO}_3\%=30$ D. 80°C 、 $\text{P}_2\text{O}_5\%=10$ 、 $\text{SO}_3\%=10$

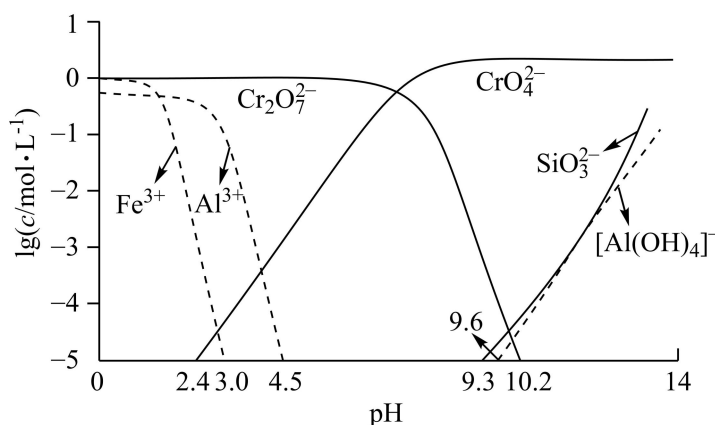
【2021 年】

1. (2021·山东卷) 工业上以铬铁矿(FeCr_2O_4 , 含 Al、Si 氧化物等杂质)为主要原料制备红矾钠($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的工艺流程如图。回答下列问题:



(1) 焙烧的目的是将 FeCr_2O_4 转化为 Na_2CrO_4 并将 Al、Si 氧化物转化为可溶性钠盐, 焙烧时气体与矿料逆流而行, 目的是___。

(2) 矿物中相关元素可溶性组分物质的量浓度 c 与 pH 的关系如图所示。当溶液中可溶组分浓度 $c \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 可认为已除尽。

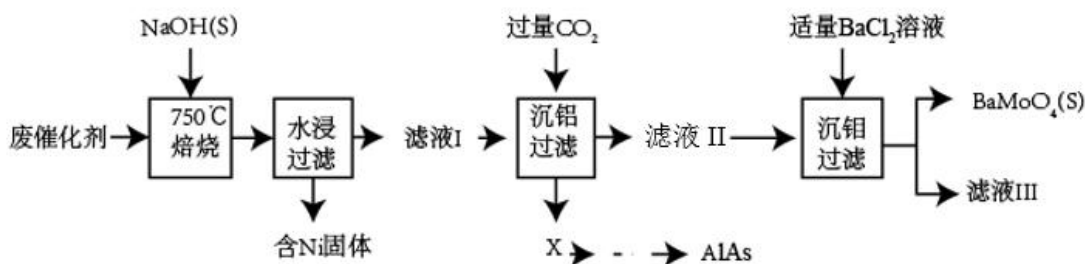


中和时 pH 的理论范围为___; 酸化的目的是___; Fe 元素在___(填操作单元的名称)过程中除去。

(3) 蒸发结晶时, 过度蒸发将导致___; 冷却结晶所得母液中, 除 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 外, 可在上述流程中循环利用的物质还有___。

(4) 利用膜电解技术(装置如图所示), 以 Na_2CrO_4 为主要原料制备 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的总反应方程式为:

$$4\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 4\text{NaOH} + 2\text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$$
。则 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 在___(填“阴”或“阳”)极室制得, 电解时通过膜的离子主要为___。



已知：25℃时， H_2CO_3 的 $K_{a1}=4.5\times 10^{-7}$ ， $K_{a2}=4.7\times 10^{-11}$ ； $K_{sp}(\text{BaMoO}_4)=3.5\times 10^{-8}$ ； $K_{sp}(\text{BaCO}_3)=2.6\times 10^{-9}$ ；该工艺中， $\text{pH} > 6.0$ 时，溶液中 Mo 元素以 MoO_4^{2-} 的形态存在。

(1)“焙烧”中，有 Na_2MoO_4 生成，其中 Mo 元素的化合价为_____。

(2)“沉铝”中，生成的沉淀 X 为_____。

(3)“沉钼”中， pH 为 7.0。

①生成 BaMoO_4 的离子方程式为_____。

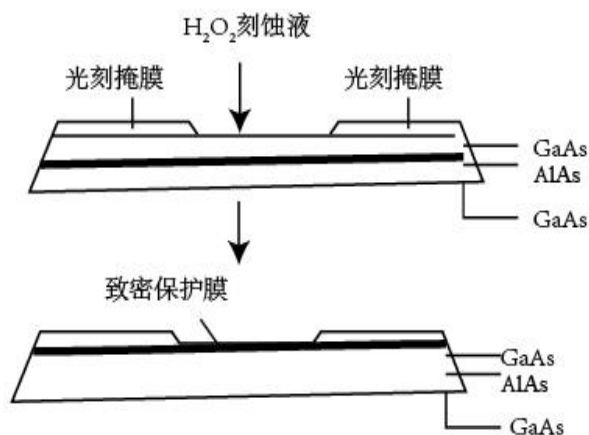
②若条件控制不当， BaCO_3 也会沉淀。为避免 BaMoO_4 中混入 BaCO_3 沉淀，溶液中

$c(\text{HCO}_3^-):c(\text{MoO}_4^{2-})= \text{_____}$ (列出算式)时，应停止加入 BaCl_2 溶液。

(4)①滤液III中，主要存在的钠盐有 NaCl 和 Y，Y 为_____。

②往滤液III中添加适量 NaCl 固体后，通入足量_____ (填化学式) 气体，再通入足量 CO_2 ，可析出 Y。

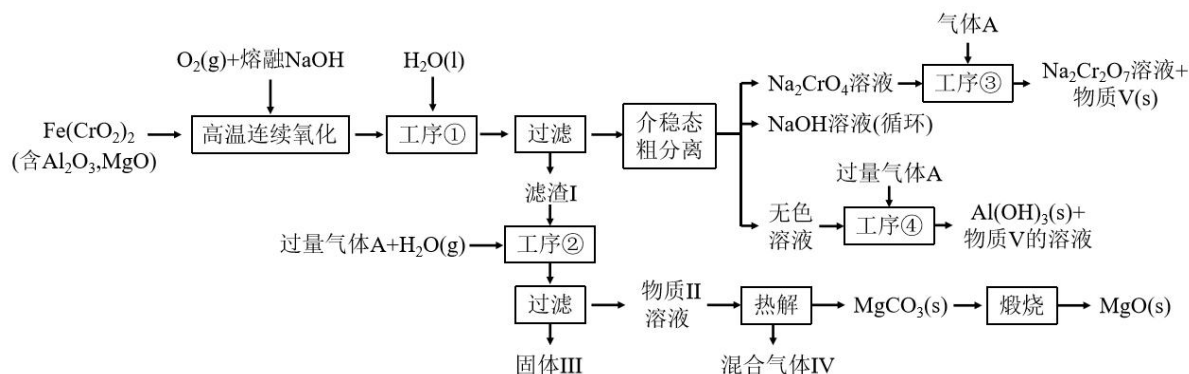
(5)高纯 AlAs (砷化铝) 可用于芯片制造。芯片制造中的一种刻蚀过程如图所示，图中所示致密保护膜为一种氧化物，可阻止 H_2O_2 刻蚀液与下层 GaAs (砷化镓) 反应。



①该氧化物为_____。

②已知：Ga 和 Al 同族，As 和 N 同族。在 H_2O_2 与上层 GaAs 的反应中，As 元素的化合价变为 +5 价，则该反应的氧化剂与还原剂物质的量之比为_____。

4. (2021·河北卷) 绿色化学在推动社会可持续发展中发挥着重要作用。某科研团队设计了一种熔盐液相氧化法制备高价铬盐的新工艺，该工艺不消耗除铬铁矿、氢氧化钠和空气以外的其他原料，不产生废弃物，实现了 Cr—Fe—Al—Mg 的深度利用和 Na^+ 内循环。工艺流程如图：



回答下列问题：

(1) 高温连续氧化工序中被氧化的元素是_____ (填元素符号)。

(2) 工序①的名称为_____。

(3) 滤渣的主要成分是_____ (填化学式)。

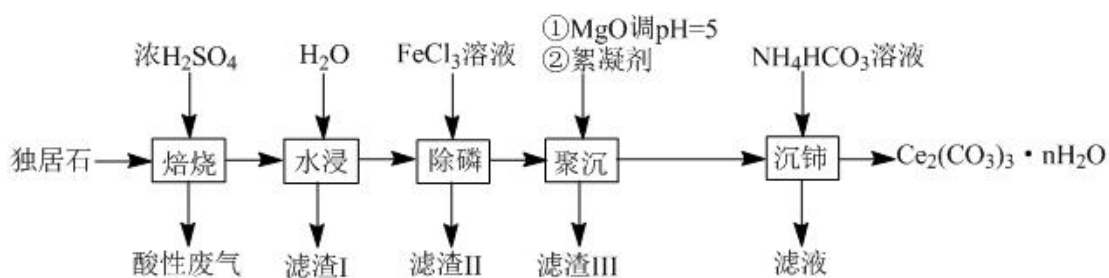
(4) 工序③中发生反应的离子方程式为_____。

(5) 物质 V 可代替高温连续氧化工序中的 NaOH，此时发生的主要反应的化学方程式为_____，可代替 NaOH 的化学试剂还有_____ (填化学式)。

(6) 热解工序产生的混合气体最适宜返回工序_____ (填“①”或“②”或“③”或“④”) 参与内循环。

(7) 工序④溶液中的铝元素恰好完全转化为沉淀的 pH 为_____。(通常认为溶液中离子浓度小于 $10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 为沉淀完全； $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_4^-$ ； $K=10^{0.63}$ ， $K_w=10^{-14}$ ， $K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3]=10^{-33}$)

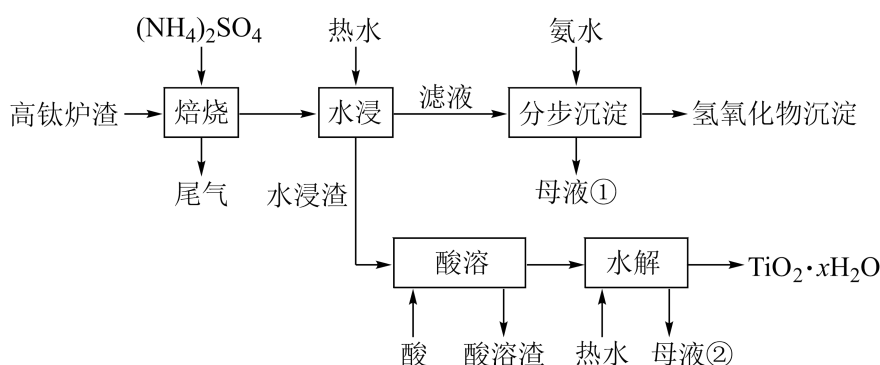
5. (2021·湖南卷) $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ 可用于催化剂载体及功能材料的制备。天然独居石中，铈(Ce)主要以 CePO_4 形式存在，还含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaF_2 等物质。以独居石为原料制备 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 的工艺流程如下：



回答下列问题：

- (1) 铈的某种核素含有 58 个质子和 80 个中子，该核素的符号为_____；
- (2) 为提高“水浸”效率，可采取的措施有_____ (至少写两条)；
- (3) 滤渣Ⅲ的主要成分是_____ (填化学式)；
- (4) 加入絮凝剂的目的是_____；
- (5) “沉铈”过程中，生成 $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 的离子方程式为_____，常温下加入的 NH_4HCO_3 溶液呈_____ (填“酸性”“碱性”或“中性”) (已知： $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的 $K_b = 1.75 \times 10^{-5}$ ， H_2CO_3 的 $K_{a1} = 4.4 \times 10^{-7}$ ， $K_{a2} = 4.7 \times 10^{-11}$)；
- (6) 滤渣Ⅱ的主要成分为 FePO_4 ，在高温条件下， Li_2CO_3 、葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 和 FePO_4 可制备电极材料 LiFePO_4 ，同时生成 CO 和 H_2O ，该反应的化学方程式为_____

6. (2021·全国乙卷) 磁选后的炼铁高钛炉渣，主要成分有 TiO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 以及少量的 Fe_2O_3 。为节约和充分利用资源，通过如下工艺流程回收钛、铝、镁等。



该工艺条件下，有关金属离子开始沉淀和沉淀完全的 pH 见下表

金属离子	Fe^{3+}	Al^{3+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}
开始沉淀的 pH	2.2	3.5	9.5	12.4

沉淀完全($c=1.0\times 10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)的pH	3.2	4.7	11.1	13.8
--	-----	-----	------	------

回答下列问题:

(1)“焙烧”中, TiO_2 、 SiO_2 几乎不发生反应, Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 Fe_2O_3 转化为相应的硫酸盐, 写出 Al_2O_3 转化为 $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ 的化学方程式_____。

(2)“水浸”后“滤液”的pH 约为 2.0, 在“分步沉淀”时用氨水逐步调节 pH 至 11.6, 依次析出的金属离子是_____。

(3)“母液①”中 Mg^{2+} 浓度为_____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

(4)“水浸渣”在 160°C “酸溶”最适合的酸是_____。“酸溶渣”的成分是_____、_____。

(5)“酸溶”后, 将溶液适当稀释并加热, TiO^{2+} 水解析出 $\text{TiO}_2\cdot x\text{H}_2\text{O}$ 沉淀, 该反应的离子方程式是_____。

(6)将“母液①”和“母液②”混合, 吸收尾气, 经处理得_____, 循环利用。

【2020 年】

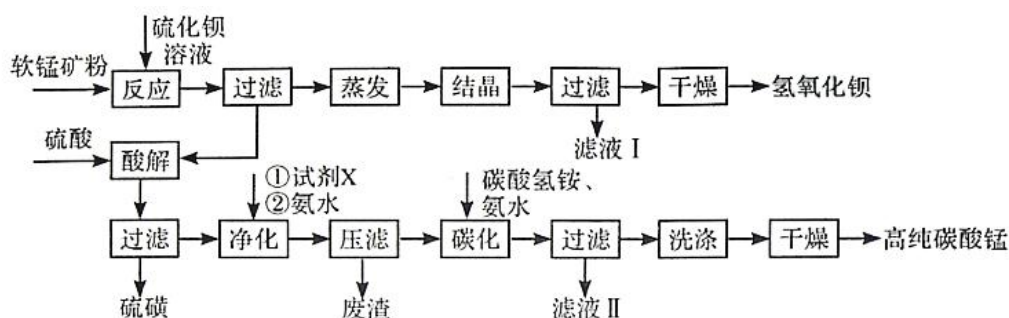
1. (2020·山东卷) 以菱镁矿(主要成分为 MgCO_3 , 含少量 SiO_2 , Fe_2O_3 和 Al_2O_3)为原料制备高纯镁砂的工艺流程如下:



已知浸出时产生的废渣中有 SiO_2 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。下列说法错误的是

- A. 浸出镁的反应为 $\text{MgO}+2\text{NH}_4\text{Cl}=\text{MgCl}_2+2\text{NH}_3\uparrow+\text{H}_2\text{O}$
- B. 浸出和沉镁的操作均应在较高温度下进行
- C. 流程中可循环使用的物质有 NH_3 、 NH_4Cl
- D. 分离 Mg^{2+} 与 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 是利用了它们氢氧化物 K_{sp} 的不同

2. (2020·山东卷) 用软锰矿(主要成分为 MnO_2 , 含少量 Fe_3O_4 、 Al_2O_3)和 BaS 制备高纯 MnCO_3 的工艺流程如下:



已知： MnO_2 是一种两性氧化物； 25°C 时相关物质的 K_{sp} 见下表。

物质	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Mn}(\text{OH})_2$
K_{sp}	$1 \times 10^{-16.3}$	$1 \times 10^{-38.6}$	$1 \times 10^{-32.3}$	$1 \times 10^{-12.7}$

回答下列问题

(1) 软锰矿预先粉碎的目的是_____， MnO_2 与 BaS 溶液反应转化为 MnO 的化学方程式为_____。

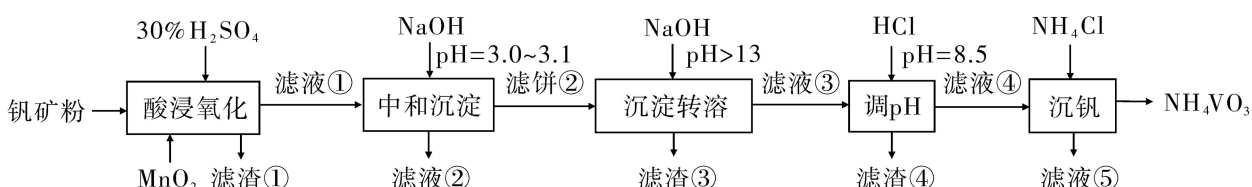
(2) 保持 BaS 投料量不变，随 MnO_2 与 BaS 投料比增大， S 的量达到最大值后无明显变化，而 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 的量达到最大值后会减小，减小的原因是_____。

(3) 滤液 I 可循环使用，应当将其导入到_____操作中(填操作单元的名称)。

(4) 净化时需先加入的试剂 X 为_____ (填化学式)。再使用氨水调溶液的 pH，则 pH 的理论最小值为_____ (当溶液中某离子浓度 $c \cdot 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，可认为该离子沉淀完全)。

(5) 碳化过程中发生反应的离子方程式为_____。

3. (2020·新课标I) 钒具有广泛用途。黏土钒矿中，钒以+3、+4、+5 价的化合物存在，还包括钾、镁的铝硅酸盐，以及 SiO_2 、 Fe_3O_4 。采用以下工艺流程可由黏土钒矿制备 NH_4VO_3 。



该工艺条件下，溶液中金属离子开始沉淀和完全沉淀的 pH 如下表所示：

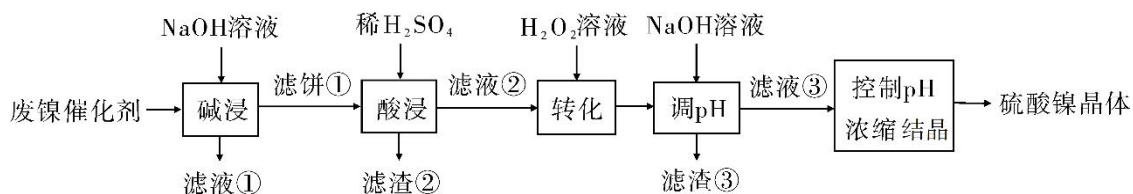
金属离子	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Al^{3+}	Mn^{2+}
------	------------------	------------------	------------------	------------------

开始沉淀 pH	1.9	7.0	3.0	8.1
完全沉淀 pH	3.2	9.0	4.7	10.1

回答下列问题：

- (1) “酸浸氧化”需要加热，其原因是_____。
- (2) “酸浸氧化”中， VO^+ 和 VO^{2+} 被氧化成 VO_2^+ ，同时还有_____离子被氧化。写出 VO^+ 转化为 VO_2^+ 反应的离子方程式_____。
- (3) “中和沉淀”中，钒水解并沉淀为 $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ，随滤液②可除去金属离子 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、_____，以及部分的_____。
- (4) “沉淀转溶”中， $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 转化为钒酸盐溶解。滤渣③的主要成分是_____。
- (5) “调 pH”中有沉淀生产，生成沉淀反应的化学方程式是_____。
- (6) “沉钒”中析出 NH_4VO_3 晶体时，需要加入过量 NH_4Cl ，其原因是_____。

4. (2020·新课标Ⅲ) 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($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)：



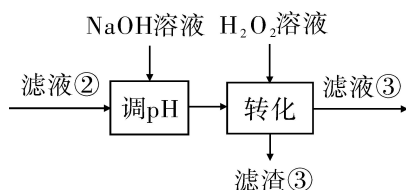
溶液中金属离子开始沉淀和完全沉淀的 pH 如下表所示：

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_____。为回收金属，用稀硫酸将“滤液①”调为中性，生成沉淀。写出该反应的离子方程式_____。
- (2) “滤液②”中含有的金属离子是_____。

(3) “转化”中可替代 H_2O_2 的物质是_____。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) 利用上述表格数据，计算 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 的 $K_{\text{sp}} = \underline{\hspace{2cm}}$ (列出计算式)。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) 将分离出硫酸镍晶体后的母液收集、循环使用，其意义是_____。

5. (2020·江苏卷) 实验室由炼钢污泥(简称铁泥，主要成份为铁的氧化物)制备软磁性材料 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 。

其主要实验流程如下：



(1) 酸浸：用一定浓度的 H_2SO_4 溶液浸取铁泥中的铁元素。若其他条件不变，实验中采取下列措施能提高铁元素浸出率的有_____ (填序号)。

- A. 适当升高酸浸温度
- B. 适当加快搅拌速度
- C. 适当缩短酸浸时间

(2) 还原：向“酸浸”后的滤液中加入过量铁粉，使 Fe^{3+} 完全转化为 Fe^{2+} 。“还原”过程中除生成 Fe^{2+} 外，还会生成_____ (填化学式)；检验 Fe^{3+} 是否还原完全的实验操作是_____。

(3) 除杂：向“还原”后的滤液中加入 NH_4F 溶液，使 Ca^{2+} 转化为 CaF_2 沉淀除去。若溶液的 pH 偏低、将会导致 CaF_2 沉淀不完全，其原因是_____ [$K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2) = 5.3 \times 10^{-9}$, $K_{\text{a}}(\text{HF}) = 6.3 \times 10^{-4}$]。

(4) 沉铁：将提纯后的 FeSO_4 溶液与氨水- NH_4HCO_3 混合溶液反应，生成 FeCO_3 沉淀。

①生成 FeCO_3 沉淀的离子方程式为_____。

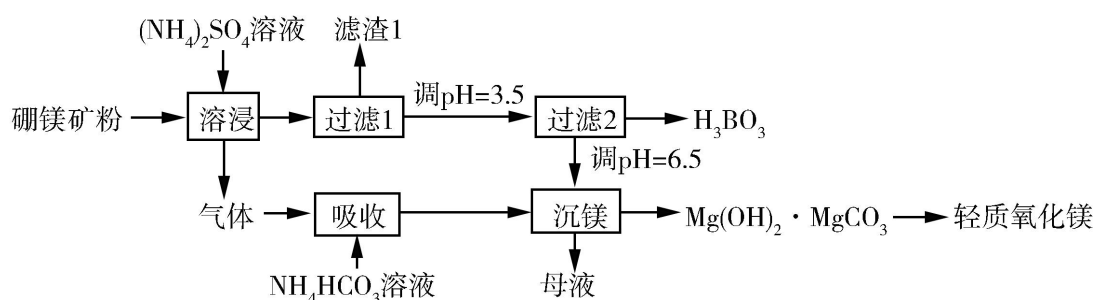
②设计以 FeSO_4 溶液、氨水- NH_4HCO_3 混合溶液为原料，制备 FeCO_3 的实验方案：

_____。

【 FeCO_3 沉淀需“洗涤完全”， $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 开始沉淀的 $\text{pH}=6.5$ 】。

【2019 年】

1. [2019·新课标I]硼酸 (H_3BO_3) 是一种重要的化工原料，广泛应用于玻璃、医药、肥料等工艺。一种以硼镁矿 (含 $\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2 及少量 Fe_2O_3 、 Al_2O_3) 为原料生产硼酸及轻质氧化镁的工艺流程如下：



回答下列问题：

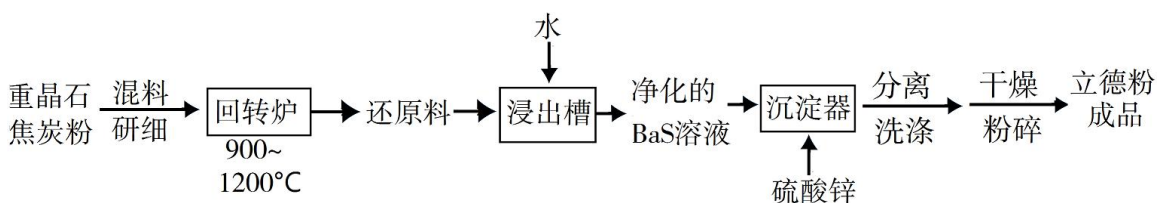
- (1) 在 $95\text{ }^\circ\text{C}$ “溶浸”硼镁矿粉，产生的气体在“吸收”中反应的化学方程式为_____。
- (2) “滤渣 1”的主要成分有_____。为检验“过滤 1”后的滤液中是否含有 Fe^{3+} 离子，可选用的化学试剂是_____。
- (3) 根据 H_3BO_3 的解离反应： $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{B}(\text{OH})_4^-$ ， $K_a = 5.81 \times 10^{-10}$ ，可判断 H_3BO_3 是_____酸；在“过滤 2”前，将溶液 pH 调节至 3.5，目的是_____。
- (4) 在“沉镁”中生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCO}_3$ 沉淀的离子方程式为_____，母液经加热后可返回_____工序循环使用。由碱式碳酸镁制备轻质氧化镁的方法是_____。

2. [2019·新课标II]立德粉 $\text{ZnS} \cdot \text{BaSO}_4$ (也称锌钡白)，是一种常用白色颜料。回答下列问题：

(1) 利用焰色反应的原理既可制作五彩缤纷的节日烟花，亦可定性鉴别某些金属盐。灼烧立德粉样品时，钡的焰色为_____ (填标号)。

A. 黄色 B. 红色 C. 紫色 D. 绿色

(2) 以重晶石 (BaSO_4) 为原料，可按如下工艺生产立德粉：



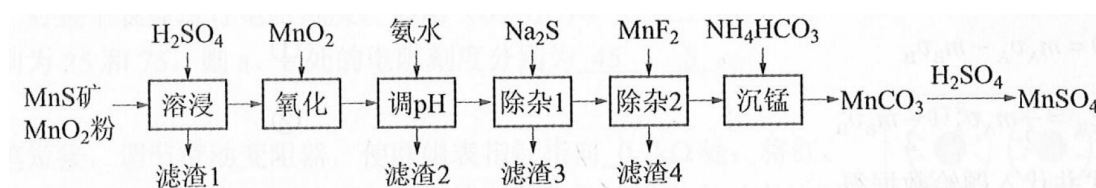
①在回转炉中重晶石被过量焦炭还原为可溶性硫化钡，该过程的化学方程式为_____。回转炉尾气中含有有毒气体，生产上可通过水蒸气变换反应将其转化为CO₂和一种清洁能源气体，该反应的化学方程式为_____。

②在潮湿空气中长期放置的“还原料”，会逸出臭鸡蛋气味的气体，且水溶性变差。其原因是“还原料”表面生成了难溶于水的_____（填化学式）。

③沉淀器中反应的离子方程式为_____。

(3)成品中S²⁻的含量可以用“碘量法”测得。称取 m g 样品，置于碘量瓶中，移取 25.00 mL 0.1000 mol·L⁻¹ 的 I₂-KI 溶液于其中，并加入乙酸溶液，密闭，置暗处反应 5 min，有单质硫析出。以淀粉为指示剂，过量的 I₂ 用 0.1000 mol·L⁻¹ Na₂S₂O₃ 溶液滴定，反应式为 $I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$ 。测定时消耗 Na₂S₂O₃ 溶液体积 V mL。终点颜色变化为_____，样品中 S²⁻ 的含量为_____（写出表达式）。

3. [2019·新课标III] 高纯硫酸锰作为合成镍钴锰三元正极材料的原料，工业上可由天然二氧化锰粉与硫化锰矿（还含Fe、Al、Mg、Zn、Ni、Si等元素）制备，工艺如下图所示。回答下列问题：



相关金属离子 [$c_0(M^{n+}) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$] 形成氢氧化物沉淀的 pH 范围如下：

金属离子	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺
开始沉淀的 pH	8.1	6.3	1.5	3.4	8.9	6.2	6.9
沉淀完全的 pH	10.1	8.3	2.8	4.7	10.9	8.2	8.9

(1) “滤渣1”含有S和_____；写出“溶浸”中二氧化锰与硫化锰反应的化学方程式_____。

(2) “氧化”中添加适量的MnO₂的作用是_____。

(3) “调pH”除铁和铝，溶液的pH范围应调节为_____~6之间。

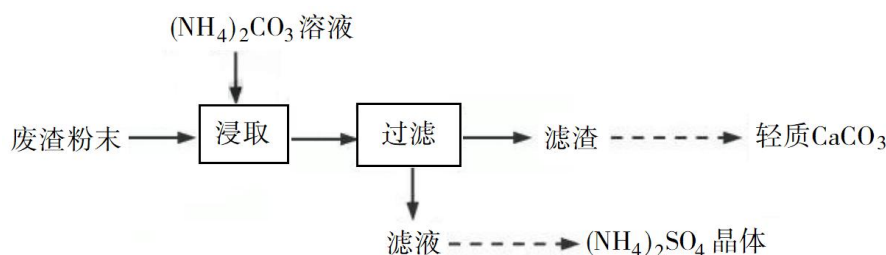
(4) “除杂1”的目的是除去Zn²⁺和Ni²⁺，“滤渣3”的主要成分是_____。

(5) “除杂2”的目的是生成 MgF_2 沉淀除去 Mg^{2+} 。若溶液酸度过高， Mg^{2+} 沉淀不完全，原因是_____。

(6) 写出“沉锰”的离子方程式_____。

(7) 层状镍钴锰三元材料可作为锂离子电池正极材料，其化学式为 $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ ，其中Ni、Co、Mn的化合价分别为+2、+3、+4。当 $x=y=\frac{1}{3}$ 时， $z=$ _____。

4. [2019·江苏卷]实验室以工业废渣（主要含 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，还含少量 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 ）为原料制取轻质 CaCO_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 晶体，其实验流程如下：

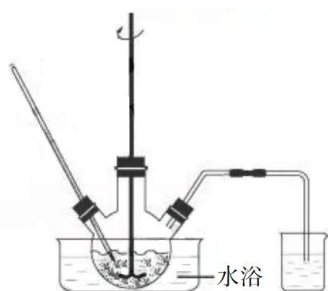


(1) 室温下，反应 $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 达到平衡，则溶液中 $\frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} =$

▲ $[K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)=4.8 \times 10^{-5}, K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)=3 \times 10^{-9}]$ 。

(2) 将氨水和 NH_4HCO_3 溶液混合，可制得 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 溶液，其离子方程式为▲；浸取废渣时，向 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 溶液中加入适量浓氨水的目的是▲。

(3) 废渣浸取在如图所示的装置中进行。控制反应温度在 $60 \sim 70^\circ\text{C}$ ，搅拌，反应3小时。温度过高将会导致 CaSO_4 的转化率下降，其原因是▲；保持温度、反应时间、反应物和溶剂的量不变，实验中提高 CaSO_4 转化率的操作有▲。



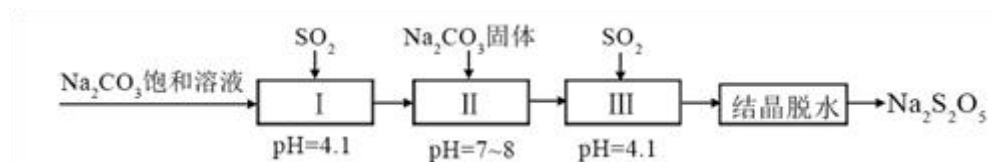
(4) 滤渣水洗后，经多步处理得到制备轻质 CaCO_3 所需的 CaCl_2 溶液。设计以水洗后的滤渣为原料，制取 CaCl_2 溶液的实验方案：▲[已知 $\text{pH}=5$ 时 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀完全； $\text{pH}=8.5$ 时 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 开始溶解。实验中必须使用的试剂：盐酸和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$]。

【2018 年】

1. (2018·全国卷I) 焦亚硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 在医药、橡胶、印染、食品等方面应用广泛。回答下列问题:

(1) 生产 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, 通常是由 NaHSO_3 过饱和溶液经结晶脱水制得。写出该过程的化学方程式_____。

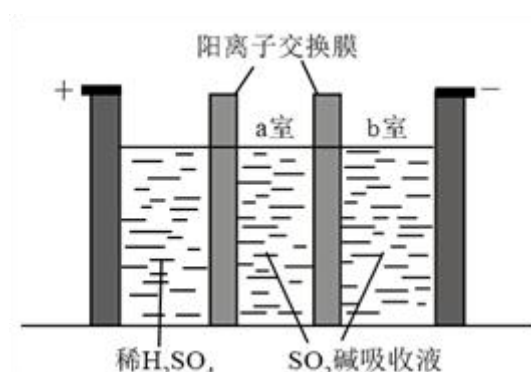
(2) 利用烟道气中的 SO_2 生产 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 的工艺为:



① pH=4.1 时, I 中为_____溶液 (写化学式)。

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

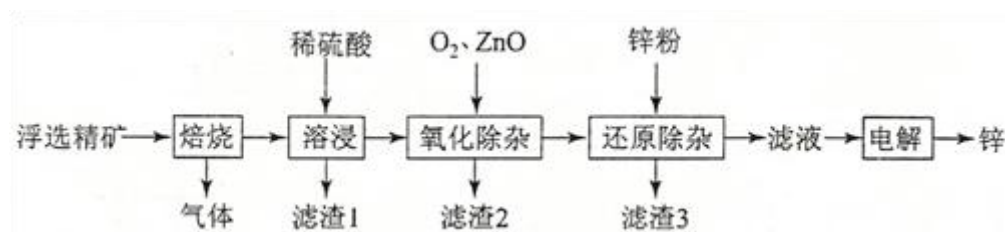
(3) 制备 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 也可采用三室膜电解技术, 装置如图所示, 其中 SO_2 碱吸收液中含有 NaHSO_3 和 Na_2SO_3 。阳极的电极反应式为_____。电解后, _____室的 NaHSO_3 浓度增加。将该室溶液进行结晶脱水, 可得到 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 。



(4) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 可用作食品的抗氧化剂。在测定某葡萄酒中 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 残留量时, 取 50.00 mL 葡萄酒样品, 用 $0.01000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的碘标准液滴定至终点, 消耗 10.00 mL。滴定反应的离子方程式为_____, 该样品中 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 的残留量为_____ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (以 SO_2 计)。

$$\frac{0.0001 \text{ mol} \times 64 \text{ g/mol}}{0.05 \text{ L}} = 0.128 \text{ g/L}.$$

(2018·全国卷 II) 我国是世界上最早制得和使用金属锌的国家, 一种以闪锌矿 (ZnS , 含有 SiO_2 和少量 FeS 、 CdS 、 PbS 杂质) 为原料制备金属锌的流程如图所示:



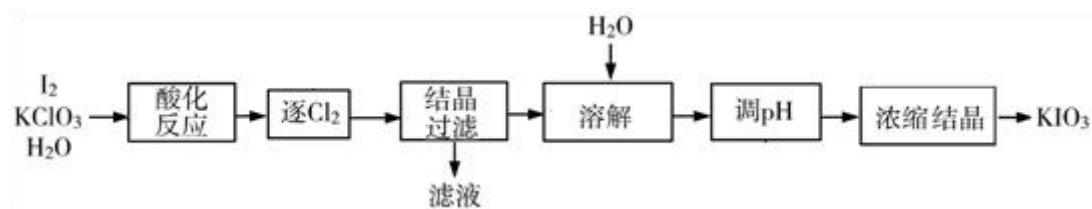
相关金属离子 $[c_0(M^{n+})=0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}]$ 形成氢氧化物沉淀的 pH 范围如下:

金属离子	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Cd^{2+}
开始沉淀的 pH	1.5	6.3	6.2	7.4
沉淀完全的 pH	2.8	8.3	8.2	9.4

回答下列问题:

- (1) 焙烧过程中主要反应的化学方程式为_____。
 - (2) 滤渣 1 的主要成分除 SiO_2 外还有_____；氧化除杂工序中 ZnO 的作用是_____，若不通入氧气，其后果是_____。
 - (3) 溶液中的 Cd^{2+} 可用锌粉除去，还原除杂工序中反应的离子方程式为_____。
 - (4) 电解硫酸锌溶液制备单质锌时，阴极的电极反应式为_____；沉积锌后的电解液可返回_____工序继续使用。
3. (2018·全国卷III) KIO_3 是一种重要的无机化合物，可作为食盐中的补碘剂。回答下列问题:

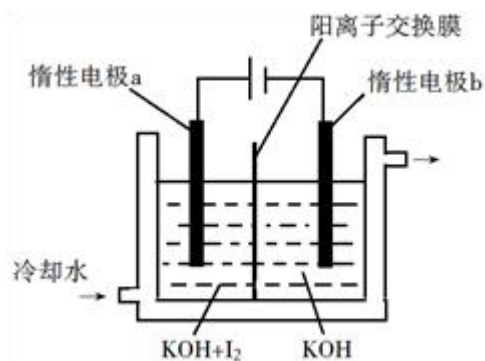
- (1) KIO_3 的化学名称是_____。
- (2) 利用“ KClO_3 氧化法”制备 KIO_3 工艺流程如下图所示:



“酸化反应”所得产物有 $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 、 Cl_2 和 KCl 。“逐 Cl_2 ”采用的方法是_____。“滤液”中的溶质主要是_____。“调 pH”中发生反应的化学方程式为_____。

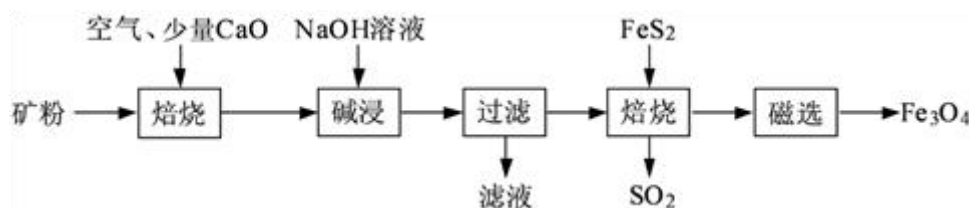
- (3) KIO_3 也可采用“电解法”制备，装置如图所示。

- ①写出电解时阴极的电极反应式_____。
- ②电解过程中通过阳离子交换膜的离子主要为_____，其迁移方向是_____。
- ③与“电解法”相比，“ KClO_3 氧化法”的主要不足之处有_____（写出一点）。



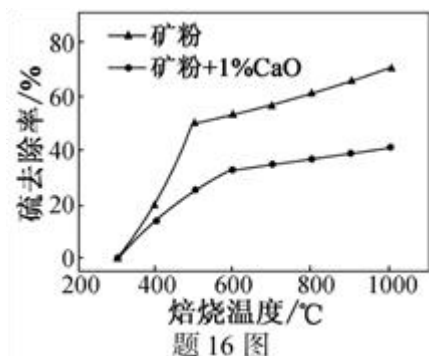
4. (2018·江苏卷)以高硫铝土矿(主要成分为 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 、

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 16 图所示。



已知: 多数金属硫酸盐的分解温度都高于 $600\text{ }^\circ\text{C}$

$$\text{硫去除率} = \left(1 - \frac{\text{焙烧后矿粉中硫元素总质量}}{\text{焙烧前矿粉中硫元素总质量}}\right) \times 100\%$$

①不添加 CaO 的矿粉在低于 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 焙烧时, 去除的硫元素主要来源于_____。

② $700\text{ }^\circ\text{C}$ 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 $n(\text{FeS}_2) : n(\text{Fe}_2\text{O}_3) =$ _____。

5. (2018·江苏卷)以 Cl_2 、 NaOH 、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (尿素) 和 SO_2 为原料可制备 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (水合肼) 和无水 Na_2SO_3 , 其主要实验流程如下:

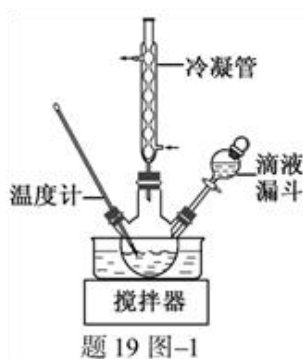


已知：① $\text{Cl}_2 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{ClO}^- + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ 是放热反应。

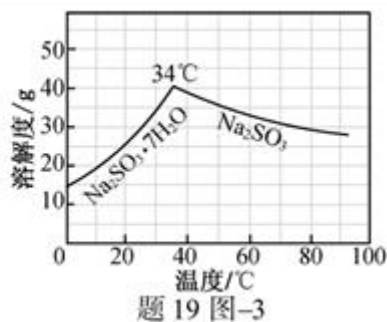
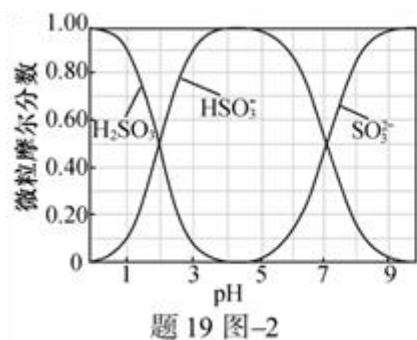
② $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 沸点约 118°C ，具有强还原性，能与 NaClO 剧烈反应生成 N_2 。

(1) 步骤I制备 NaClO 溶液时，若温度超过 40°C ， Cl_2 与 NaOH 溶液反应生成 NaClO_3 和 NaCl ，其离子方程式为_____；实验中控制温度除用冰水浴外，还需采取的措施是_____。

(2) 步骤II合成 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的装置如题 19 图-1 所示。 NaClO 碱性溶液与尿素水溶液在 40°C 以下反应一段时间后，再迅速升温至 110°C 继续反应。实验中通过滴液漏斗滴加的溶液是_____；使用冷凝管的目的是_____。

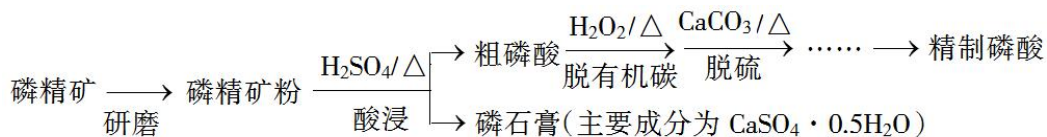


(3) 步骤IV用步骤III得到的副产品 Na_2CO_3 制备无水 Na_2SO_3 （水溶液中 H_2SO_3 、 HSO_3^- 、 SO_3^{2-} 随 pH 的分布如题 19 图-2 所示， Na_2SO_3 的溶解度曲线如题 19 图-3 所示）。



①边搅拌边向 Na_2CO_3 溶液中通入 SO_2 制备 NaHSO_3 溶液。实验中确定何时停止通 SO_2 的实验操作为_____。

②请补充完整由 NaHSO_3 溶液制备无水 Na_2SO_3 的实验方案：_____，用少量无水乙醇洗涤，干燥，密封包装。6. (2018·北京卷) 磷精矿湿法制备磷酸的一种工艺流程如下：

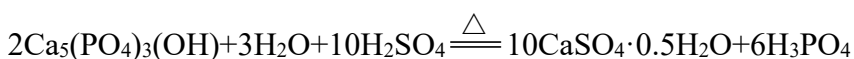


已知：磷精矿主要成分为 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ ，还含有 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ 和有机碳等。

溶解度： $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) < \text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$

(1) 上述流程中能加快反应速率的措施有_____。

(2) 磷精矿粉酸浸时发生反应：



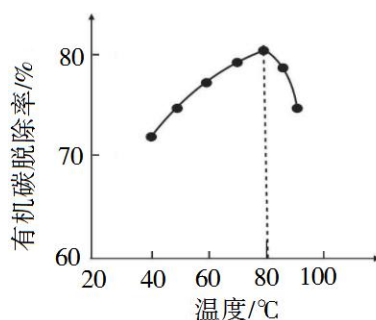
①该反应体现出酸性关系： H_3PO_4 _____ H_2SO_4 (填“>”或“<”)。

②结合元素周期律解释①中结论：P和S电子层数相同，_____。

(3) 酸浸时，磷精矿中 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ 所含氟转化为 HF ，并进一步转化为 SiF_4 除去。写出生成 HF 的化学方程式：_____。

(4) H_2O_2 将粗磷酸中的有机碳氧化为 CO_2 脱除，同时自身也会发生分解。相同投料比、相同反应时间，不同温度下的有机碳脱除率如图所示。80°C后脱除率变化的原因：

_____。



(5) 脱硫时， CaCO_3 稍过量，充分反应后仍有残留，原因是_____；加入 BaCO_3 可进一步提高硫的脱除率，其离子方程式是_____。

(6) 取 $a \text{ g}$ 所得精制磷酸，加适量水稀释，以百里香酚酞作指示剂，用 $b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 溶液滴定至终点时生成 Na_2HPO_4 ，消耗 NaOH 溶液 $c \text{ mL}$ 精制磷酸中 H_3PO_4 的质量分数是_____。

(已知： H_3PO_4 摩尔质量为 $98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$)

