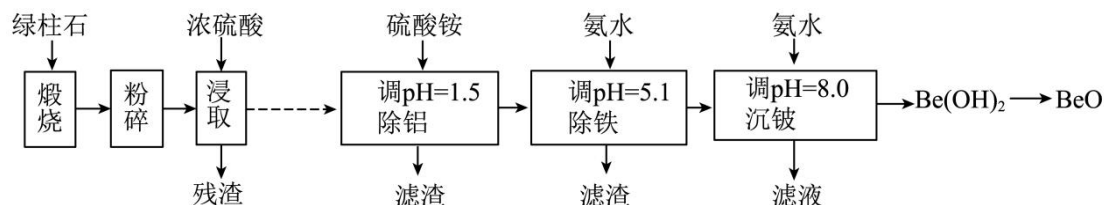


【核心考点 035】工艺流程题 | 循环利用的物质

综合题中相关考点已标蓝，可只做这一部分。

第一部分 典型例题

1. (2023 海南 15) 铍的氧化物广泛应用于原子能、航天、电子、陶瓷等领域，是重要的战略物资。利用绿柱石(主要化学成分为 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ，还含有一定量的 FeO 和 Fe_2O_3) 生产 BeO 的一种工艺流程如下。



回答问题：

(1) $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ 中 Be 的化合价为_____。

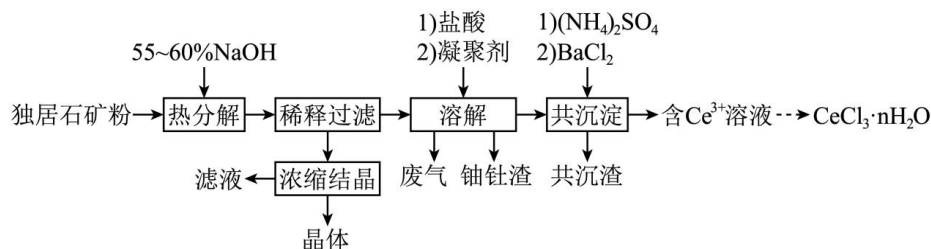
(2) 粉碎的目的是_____；残渣主要成分是_____ (填化学式)。

(3) 该流程中能循环使用的物质是_____ (填化学式)。

(4) 无水 BeCl_2 可用作聚合反应的催化剂。BeO、 Cl_2 与足量 C 在 $600\sim 800^\circ\text{C}$ 制备 BeCl_2 的化学方程式为_____。

(5) 沉铍时，将 pH 从 8.0 提高到 8.5，则铍的损失降低至原来的_____%。

2. (2024 江西, 15) 稀土是国家的战略资源之一。以下是一种以独居石【主要成分为 CePO_4 含有 $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$ 、 U_3O_8 和少量镭杂质】为原料制备 $\text{CeCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 的工艺流程图。



已知：i. $K_{\text{sp}}[\text{Th}(\text{OH})_4]=4.0 \times 10^{-45}$, $K_{\text{sp}}[\text{Ce}(\text{OH})_3]=1.6 \times 10^{-20}$, $K_{\text{sp}}[\text{Ce}(\text{OH})_4]=2.0 \times 10^{-48}$

ii. 镭为第 II A 族元素

回答下列问题：

(1) 关于独居石的热分解，以下说法正确的是 _____ (填标号)。

- a. 降低压强，分解速率增大 b. 降低温度，分解速率降低
c. 反应时间越长，分解速率越大 d. 提高搅拌速度，分解速率降低

(2) $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ 中铀元素的化合价为 _____，热分解阶段 U_3O_8 生成 $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ 的化学方程式为 _____。

(3) 浓缩结晶后，得到的晶体产物化学式为 _____，滤液可用于 _____ 阶段循环利用，避免产生大量的**高碱度废水**。

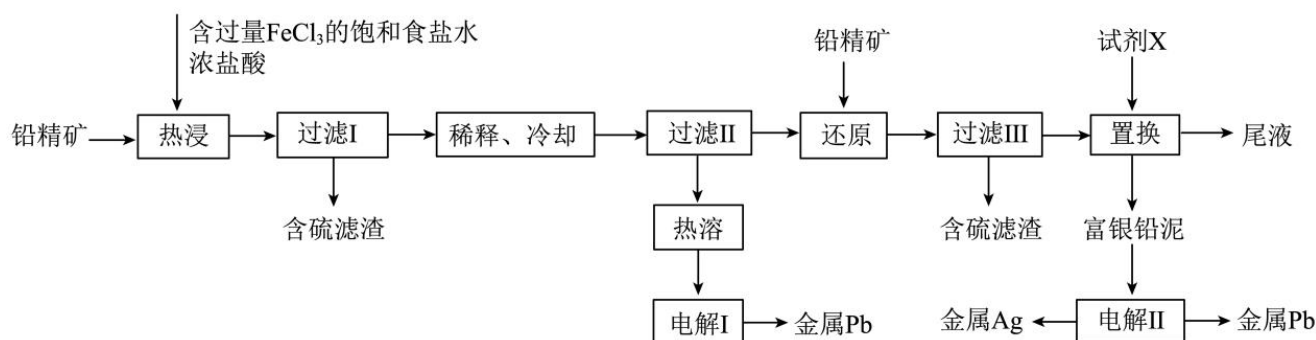
(4) 溶解阶段，将溶液 pH 先调到 1.5~2.0，反应后再回调至 4.5。

① 盐酸溶解 $\text{Ce}(\text{OH})_4$ 的离子方程式为 _____。

②当溶液 pH=4.5 时, $c(\text{Th}^{4+})=$ _____mol/L, 此时完全转化为氢氧化钍沉淀。

(5) 以 BaSO_4 为载体形成共沉淀, 目的是去除杂质 _____。

3. (2024 山东, 18) 以铅精矿(含 PbS , Ag_2S 等)为主要原料提取金属 Pb 和 Ag 的工艺流程如下:



回答下列问题:

(1) “热浸”时, 难溶的 PbS 和 Ag_2S 转化为 $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ 和 $[\text{AgCl}_2]^-$ 及单质硫。溶解等物质的量的 PbS 和 Ag_2S 时, 消耗 Fe^{3+} 物质的量之比为_____; 溶液中盐酸浓度不宜过大, 除防止“热浸”时 HCl 挥发外, 另一目的是防止产生_____ (填化学式)。

(2) 将“过滤 II”得到的 PbCl_2 沉淀反复用饱和食盐水热溶, 电解所得溶液可制备金属 Pb , “电解 I”阳极产物用尾液吸收后在工艺中循环使用, 利用该吸收液的操作单元为_____。

(3) “还原”中加入铅精矿的目的是_____。

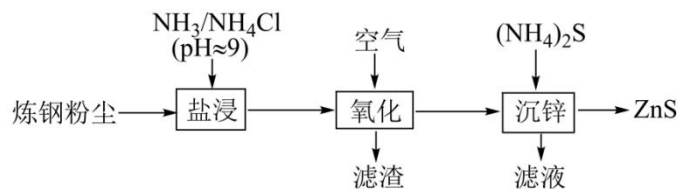
(4) “置换”中可选用的试剂 X 为_____ (填标号)。

A. Al B. Zn C. Pb D. Ag

“置换”反应的离子方程式为_____。

(5) “电解 II”中将富银铅泥制成电极板, 用作_____ (填“阴极”或“阳极”)。

4. (2023 福建 6) 从炼钢粉尘(主要含 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 和 ZnO)中提取锌的流程如下:



“盐浸”过程 ZnO 转化为 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, 并有少量 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 浸出。下列说法错误的是

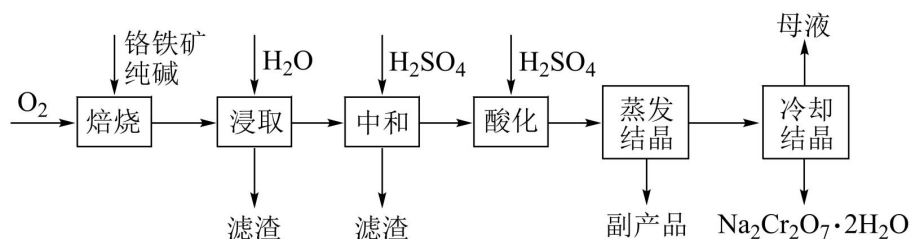
A. “盐浸”过程若浸液 pH 下降, 需补充 NH_3

B. “滤渣”的主要成分为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$

C. “沉锌”过程发生反应 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{S}^{2-} = \text{ZnS} \downarrow + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

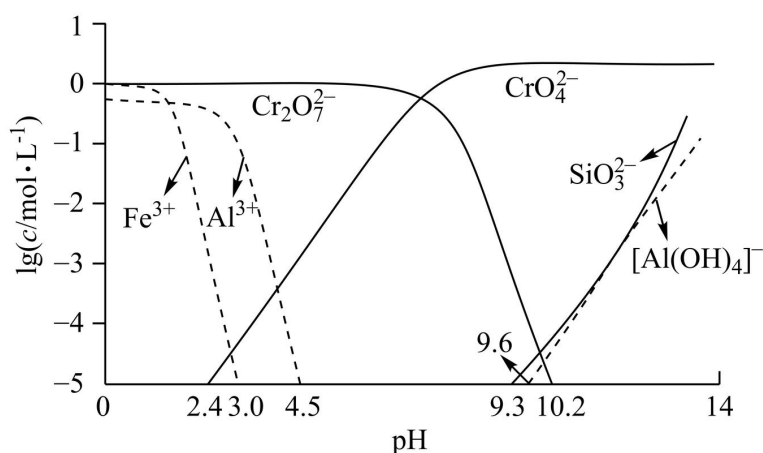
D. 应合理控制 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 用量, 以便滤液循环使用

5. (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__。

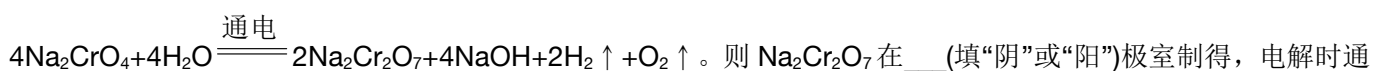
(2) 矿物中相关元素可溶性组分物质的量浓度 c 与 pH 的关系如图所示。当溶液中可溶组分浓度 $c \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 可认为已除尽。



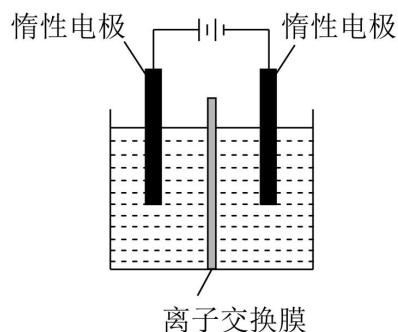
中和时 pH 的理论范围为__; 酸化的目的是__; Fe 元素在__(填操作单元的名称)过程中除去。

(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__。

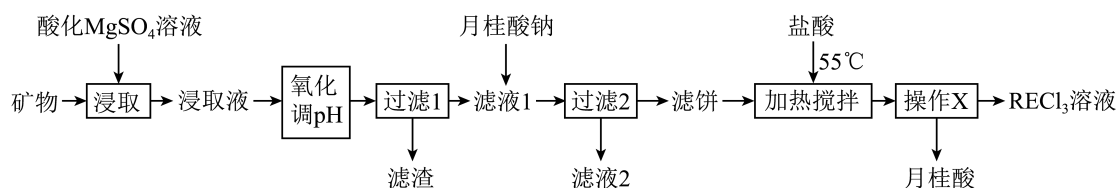
(4) 利用膜电解技术(装置如图所示), 以 Na_2CrO_4 为主要原料制备 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的总反应方程式为:



过膜的离子主要为__。



6. (2022·广东卷) 稀土(RE)包括镧、钇等元素, 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:

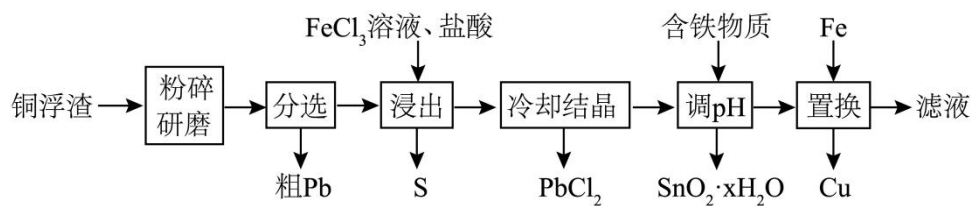


已知: 月桂酸($C_{11}H_{23}COOH$)熔点为 $44^{\circ}C$; 月桂酸和 $(C_{11}H_{23}COO)_3RE$ 均难溶于水。该工艺条件下, 稀土离子保持+3价不变; $(C_{11}H_{23}COO)_2Mg$ 的 $K_{sp}=1.8\times 10^{-8}$, $Al(OH)_3$ 开始溶解时的pH为8.8; 有关金属离子沉淀的相关pH见下表。

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_____。

7. (2025 贵州, 16)某铜浮渣主要成分为 Pb、PbS、Cu₂S、SnS, 分离和回收铅、锡、铜的工艺流程如图。



已知:

①部分物质的密度如表:

物质	Pb	PbS	Cu ₂ S	SnS
密度/g·cm ⁻³	11.3	7.5	5.6	5.2

②PbCl₂ 在冷水中溶解度很小, 但易溶于热水; $\text{PbCl}_2 + 2\text{Cl}^- = [\text{PbCl}_4]^{2-}$ 。

③25°C时, $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = 2.8 \times 10^{-39}$, $10^{-1.5} \approx 0.03$ 。

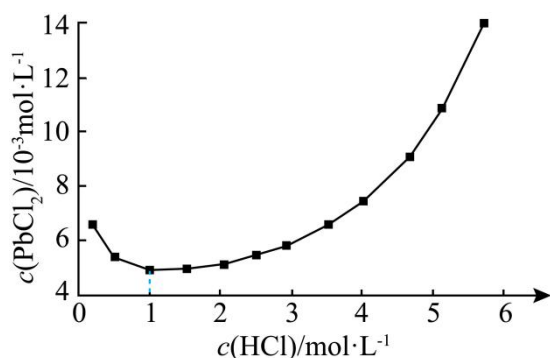
回答下列问题:

(1)“分选”得到粗 Pb 的原因是_____。

(2)“浸出”时按一定比例加入 FeCl₃ 和盐酸的混合溶液, 控制温度为 80°C, 其中 Cu₂S、SnS 被氧化为 CuCl₂ 和 SnCl₄,

则 Cu₂S 被氧化的离子方程式为_____; “浸出”时分离 S 的操作为_____。

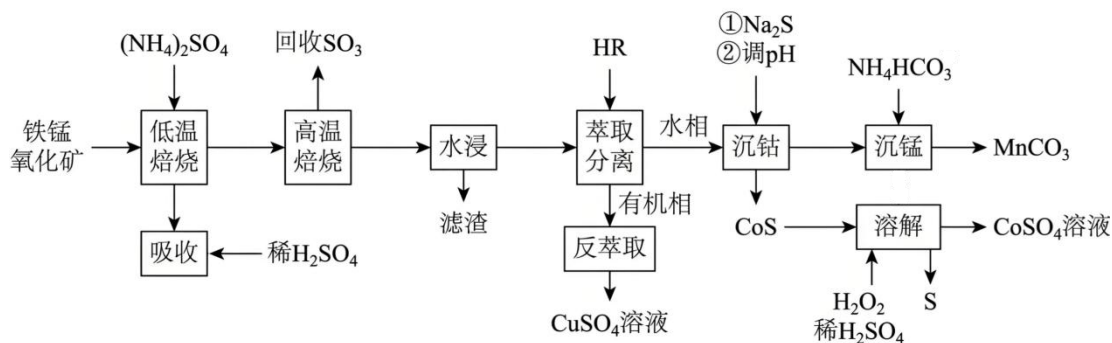
(3)25°C时, PbCl₂ 在不同浓度 HCl 溶液中的溶解度曲线如图, 当 $c(\text{HCl}) = 1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, PbCl₂ 溶解度最小的原因是_____。



(4)25°C时, “调 pH”控制 pH = 1.5, 则生成 SnO₂·xH₂O 的化学方程式为_____, 此时溶液中 $c(\text{Fe}^{3+})$ 的最大值约为_____ mol·L⁻¹。

(5)“置换”后滤液中溶质的主要成分为_____ (填化学式), 滤液进行“系列操作”后返回“浸出”操作循环利用并达到原浸出率, 则“系列操作”为_____。

8. (2025 山东, 17) 采用两段焙烧—水浸法从铁锰氧化矿(主要含 Fe_2O_3 、 MnO_2 及 Co 、 Cu 、 Ca 、 Si 等元素的氧化物)分离提取 Cu 、 Co 、 Mn 等元素, 工艺流程如下:



已知: 该工艺条件下, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 低温分解生成 NH_4HSO_4 , 高温则完全分解为气体; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 在 650°C 完全分解, 其他金属硫酸盐分解温度均高于 700°C 。

回答下列问题:

(1) “低温焙烧”时金属氧化物均转化为硫酸盐。 MnO_2 与 NH_4HSO_4 反应转化为 MnSO_4 时有 N_2 生成, 该反应的化学方程式为_____。 “高温焙烧”温度为 650°C , “水浸”所得滤渣主要成分除 SiO_2 外还含有_____(填化学式)。

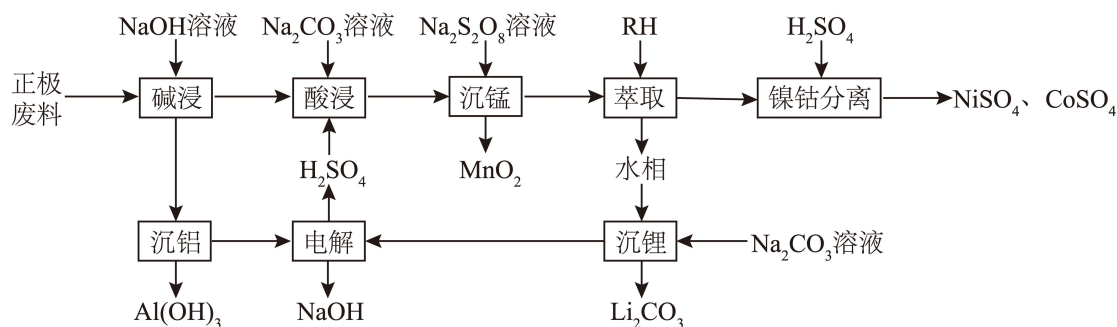
(2) 在 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 投料量不变的情况下, 与两段焙烧工艺相比, 直接“高温焙烧”, “水浸时金属元素的浸出率_____ (填“增大”“减小”或“不变”)。

(3) HR 萃取 Cu^{2+} 反应为: $2\text{HR}(\text{有机相}) + \text{Cu}^{2+}(\text{水相}) \rightleftharpoons \text{CuR}_2(\text{有机相}) + 2\text{H}^+(\text{水相})$ 。 “反萃取”时加入的试剂为_____ (填化学式)。

(4) “沉钴”中, $\text{pH} = 4$ 时 Co^{2+} 恰好沉淀完全 $[\text{c}(\text{Co}^{2+}) = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}]$, 则此时溶液中 $\text{c}(\text{H}_2\text{S}) = \text{_____ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。 已知: $K_{a1}(\text{H}_2\text{S}) = 1 \times 10^{-7}$, $K_{a2}(\text{HS}^-) = 1 \times 10^{-13}$, $K_{sp}(\text{CoS}) = 4 \times 10^{-21}$ 。
 CoS “溶解”时发生反应的离子方程式为_____。

(5) “沉锰”所得滤液并入“吸收”液中, 经处理后所得产品导入_____ (填操作单元名称) 循环利用。

9. (2026·湖北宜昌·二模) 电动汽车电池正极废料含铝箔和 Li、Ni、Co、Mn 等的氧化物。一种回收路线如下:



已知: 萃取时反应: $M^{2+}(\text{水相}) + 2RH(\text{有机相}) \rightleftharpoons MR_2(\text{有机相}) + 2H^+(\text{水相})$, (M^{2+} 表示 Ni^{2+} 或 Co^{2+})。

(1) Co 在元素周期表中的位置为第_____周期_____族。

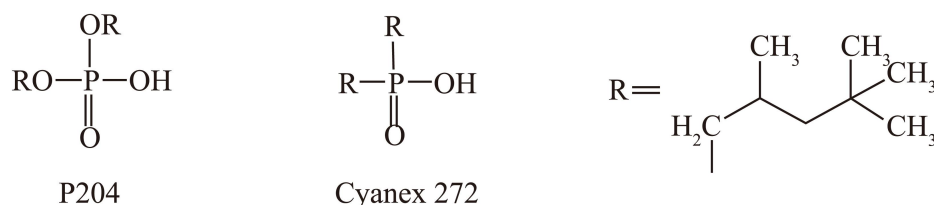
(2) “沉锰”时, Mn^{2+} 发生反应的离子方程式为_____。

(3) “沉铝”时调节 pH, 欲使铝元素完全转化为 $Al(OH)_3$ 沉淀, 应控制 pH 的范围是_____。
 _____ < pH < _____。

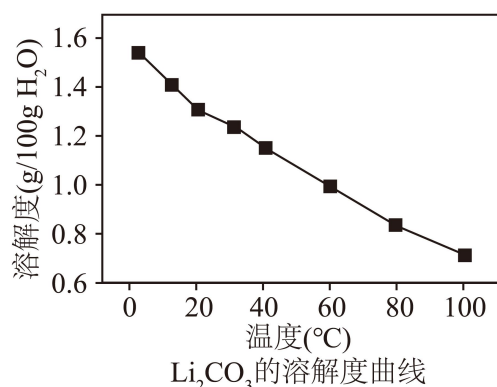
已知: $K_{sp}[Al(OH)_3] = 10^{-33.2}$ 。溶液中 Al^{3+} 、 $[Al(OH)_4]^-$ 浓度小于 10^{-5} mol/L 认为 Al^{3+} 沉淀完全。

$Al(OH)_3 + OH^- \rightleftharpoons [Al(OH)_4]^-$ $K = 10^{0.65}$ 。

(4) 工业上常用 P204 和 Cyanex 272 作“萃取”中的萃取剂(结构如下图所示), 金属离子与萃取剂通过配位键结合, 萃取剂酸性越强萃取能力越强, 则萃取能力强的萃取剂是_____, 从结构角度解释其原因是_____。

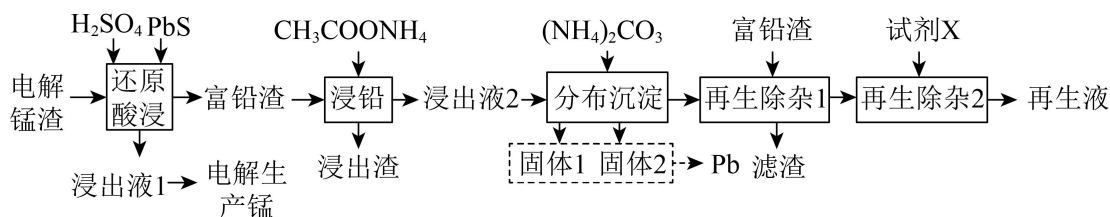


(5) Li_2CO_3 溶解度随温度的变化曲线如下图所示, 为提高 Li_2CO_3 的析出量和纯度, “操作 A”依次为蒸发结晶、_____、洗涤。



(6) 该工艺中能循环利用的物质有 H_2SO_4 、 $NaOH$ 、_____。

10. (2026 青岛一模) 电解锰渣主要成分为 MnO_2 、 PbSO_4 、 CaSO_4 和少量 SiO_2 ，实验室回收锰和铅的流程如图。



已知：①常温下， $K_{\text{sp}}(\text{PbSO}_4) = 2.5 \times 10^{-8}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{PbCO}_3) = 8.0 \times 10^{-14}$ ， $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3) = 2.5 \times 10^{-9}$ 。

② $\text{Pb}^{2+} + 3\text{CH}_3\text{COO}^- \rightleftharpoons (\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Pb}^-$ ； $K_{\text{稳}} = \frac{c[(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Pb}^-]}{c(\text{Pb}^{2+})^3 c(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = 2.5 \times 10^6$ 。回答下列问题：

(1) “还原酸浸”时 pH 控制在 2~4 之间， PbS 中的 S^{2-} 被氧化为 SO_4^{2-} ，反应的化学方程式为_____。pH 不能太小的原因为_____。

(2) “浸出渣”主要成分为_____。

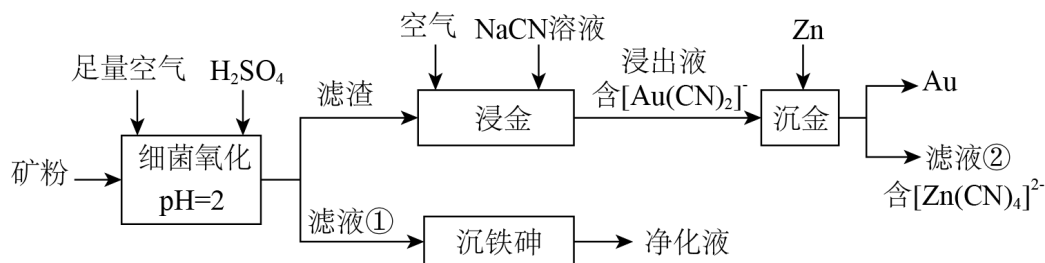
(3) “分步沉淀”中 $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Pb}^- + \text{CO}_3^{2-} = \text{PbCO}_3 \downarrow + 3\text{CH}_3\text{COO}^-$ 的平衡常数 $K =$ _____。“浸出液 2”含 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$ ，当出现 CaCO_3 沉淀时， $c(\text{Pb}^{2+}) =$ _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (忽略离子的水解作用及溶液体积变化)。

(4) “再生除杂 1”中加入富铅渣的目的是_____。

(5) 为实现“再生液”的循环利用，“试剂 X”最好为_____ (写化学式)。

第二部分 练习题

1. (2024 东三省, 16) 中国是世界上最早利用细菌冶金的国家。已知金属硫化物在“细菌氧化”时转化为硫酸盐, 某工厂用细菌冶金技术处理载金硫化矿粉(其中细小的 Au 颗粒被 FeS_2 、 FeAsS 包裹), 以提高金的浸出率并冶炼金, 工艺流程如下:



回答下列问题:

(1) 北宋时期我国就有多处矿场利用细菌氧化形成的天然“胆水”冶炼铜, “胆水”的主要溶质为_____ (填化学式)。

(2) “细菌氧化”中, FeS_2 发生反应的离子方程式为_____。

(3) “沉铁砷”时需加碱调节 pH, 生成_____ (填化学式) 胶体起絮凝作用, 促进了含 As 微粒的沉降。

(4) “培烧氧化”也可提高“浸金”效率, 相比“培烧氧化”, “细菌氧化”的优势为_____ (填标号)。

A. 无需控温

B. 可减少有害气体产生

C. 设备无需耐高温

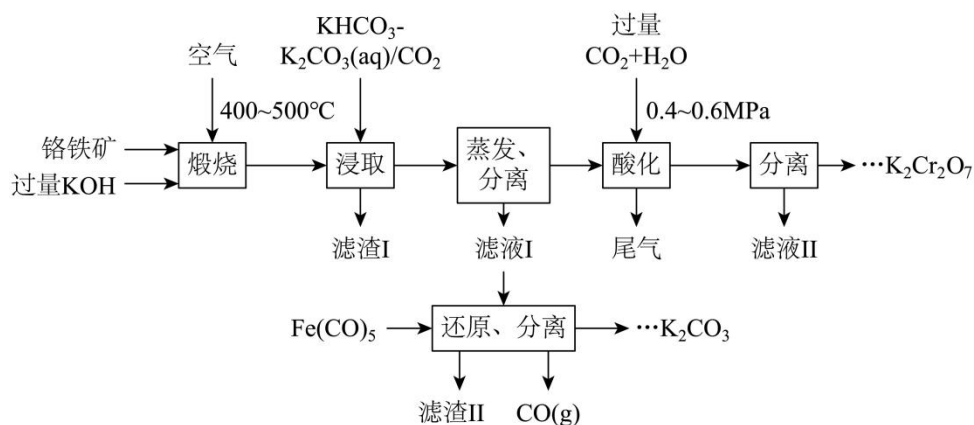
D. 不产生废液废渣

(5) “真金不怕火炼”, 表明 Au 难被 O_2 氧化, “浸金”中 NaCN 的作用为_____。

(6) “沉金”中 Zn 的作用为_____。

(7) 滤液②经 H_2SO_4 酸化, $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ 转化为 ZnSO_4 和 HCN 的化学方程式为_____。用碱中和 HCN 可生成_____ (填溶质化学式) 溶液, 从而实现循环利用。

2. (2025 河北, 16) 铬盐产品广泛应用于化工、医药、印染等领域。通过闭环生产工艺将铬铁矿转化为重铬酸钾同时回收利用钾资源, 可实现绿色化学的目标。过程如下:



已知: 铬铁矿主要成分是 $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{CrO}_2)_2$ 、 Al_2O_3 、 SiO_2 。

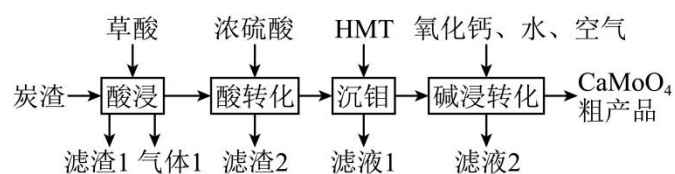
回答下列问题:

- (1) 基态铬原子的价层电子排布式: _____。
- (2) 煅烧工序中 $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 反应生成 K_2CrO_4 的化学方程式: _____。
- (3) 浸取工序中滤渣 I 的主要成分: Fe_2O_3 、 H_2SiO_3 、____、____(填化学式)。
- (4) 酸化工序中需加压的原因: _____。
- (5) 滤液 II 的主要成分: _____(填化学式)。
- (6) 补全还原、分离工序中发生反应的化学方程式_____。



- (7) 滤渣 II 可返回_____工序。(填工序名称)

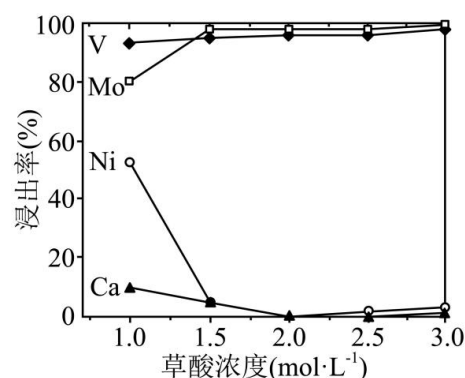
4. (2025 福建, 11) 从炼油厂焙烧炭渣(主要含炭、 MoO_3 和 V_2O_5 , 以及少量 NiO 、 CaO) 中提取钼的工艺流程如下:



已知: VO_2^+ 和 $(\text{MoO})_2(\text{SO}_4)_3$ 均易溶于水; 草酸($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)在水中溶解度见下表。

温度 $^{\circ}\text{C}$	20	40	60	80
溶解度(g/100 g)	9.5	21.5	44.3	84.5

(1) “酸浸”中钼和钒分别转化为 MoO^{3+} 和 VO^{2+} 。100 $^{\circ}\text{C}$ 下各元素浸出率与草酸浓度的关系如图。



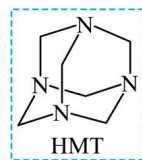
①最佳草酸浓度为_____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

② VO^{2+} 中钒的价电子排布式为_____。

③生成 $(\text{MoO})_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ 的化学方程式为_____。

(2) “酸转化”中加浓硫酸后, 过滤前的操作为_____; “滤渣 2”为_____ (填名称)。

(3) “沉钼”中, HMT(结构如图)在溶液中转变为 $(\text{HMT-H})^+$, 一个 $(\text{HMT-H})^+$ 有_____个可形成氢键的位点; 沉淀为 $[\text{MoO}(\text{OH})_3]_4(\text{HMT-H})_2\text{SO}_4$ 。



(4) “碱浸转化”中, $[\text{MoO}(\text{OH})_3]_4(\text{HMT-H})_2\text{SO}_4$ 在碱作用下分解出 $\text{MoO}(\text{OH})_3$, 后者转化为 CaMoO_4 的化学方程式为_____; “滤液 2”中可循环利用的物质为_____。

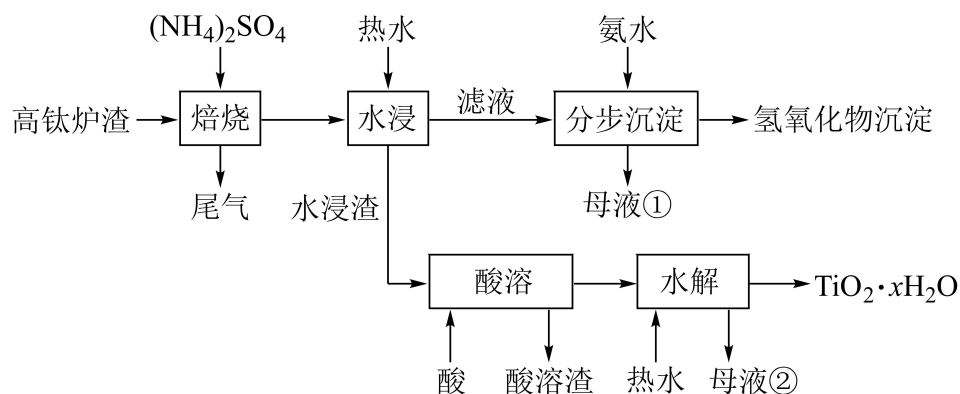
(5) 关于该工艺流程, 下列说法错误的是_____。(填标号)

a. “气体 1”为 CO b. “滤渣 1”主要含炭、 NiO 和 CaC_2O_4

c. “滤液 1”含 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ d. CaMoO_4 粗产品含 CaSO_4

5. (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_____。

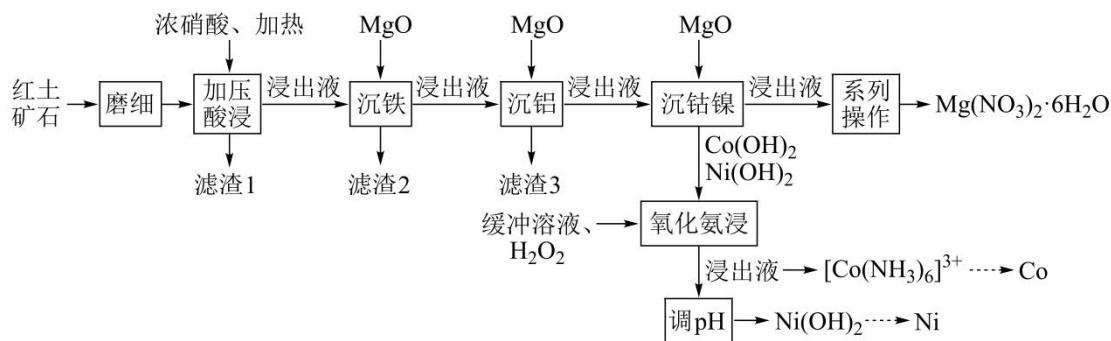
(3)“母液①”中 Mg^{2+} 浓度为_____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(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。

6. (2026·达州二模) 镍、钴元素广泛应用在高性能合金、催化剂、电池材料等领域。一种从红土矿石(主要含铁、铝、镁的化合物及 NiO、CoO、SiO₂ 等)中提取镍和钴的工艺流程如下:



已知: ① $\text{Co}(\text{OH})_2 + 6\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\text{OH}^-$; $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\text{OH}^-$; $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 易被氧化为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 不易被氧化, 强碱性时转化为 $\text{Ni}(\text{OH})_2$;

② 稳定常数 K_a 衡量金属离子与配体形成配合物的稳定性. $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + \text{NH}_3$

$$\text{对应 } K_a = \frac{c\{[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}\}}{c^6(\text{NH}_3) \cdot c(\text{Co}^{2+})} = 1.0 \times 10^6 \quad [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} \text{ 对应 } K_{\text{稳}} = 1.0 \times 10^9;$$

③ 常温下, $K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2] = 10^{-14.2}$.

回答下列问题:

(1) 基态 Ni^{2+} 的价电子排布图为_____。

(2) “加压酸浸”时硝酸初始浓度为 330 kg/t、保温时间 60 min, 不同浸出温度、液固比条件下金属离子的浸出率如下图 1、2 所示, 应选择的最佳条件是_____ (填选项)。

A. 180°C、1.8 mL/g B. 190°C、1.6 mL/g C. 170°C、2.0 mL/g D. 200°C、1.4 mL/g

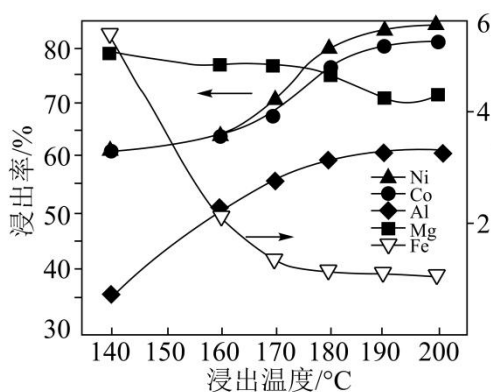


图1

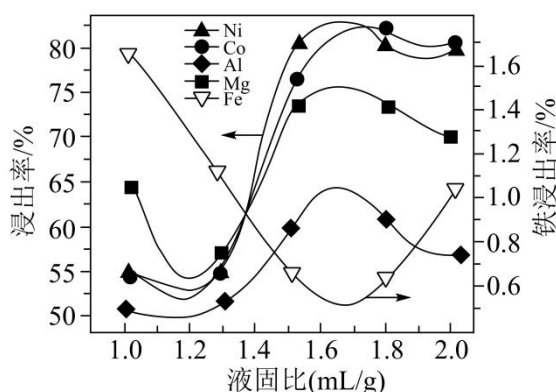


图2

所得滤渣 1 的主要成分是_____ (写化学式)。

(3) “氧化氨浸”时加入浓氨水与铵盐组成的缓冲溶液, 使 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 溶解为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, 计算该溶解转化反应的

平衡常数 $K =$ _____, 并结合转化反应解释加入上述缓冲溶液的作用是_____。 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 与 H_2O_2 反

应的离子方程式为_____。

(4)“系列操作”为蒸发浓缩、_____、过滤、洗涤、干燥，所得 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 经高温分解所得气体产物经处理可返回到_____工序循环利用。

(5)已知 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 为正八面体形结构（如图 3），配合物中心离子 Co^{3+} 的杂化方式为_____（填序号）。

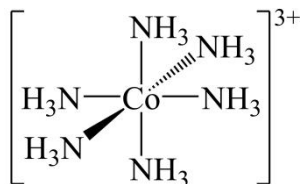
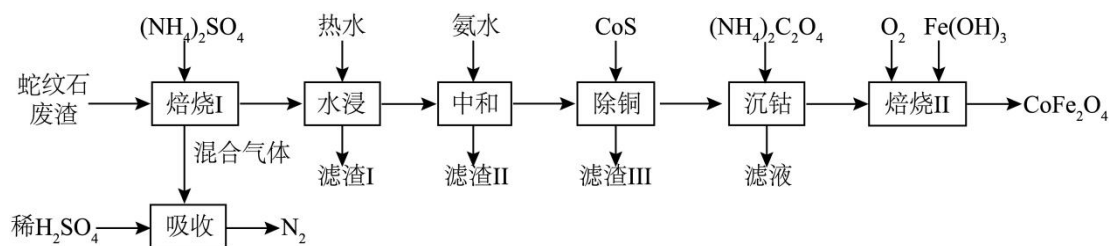


图3

- A. sp^2 B. sp^3 C. $d^2\text{sp}^3$ D. dsp^3

7. (2026 济南一模)工业上以蛇纹石废渣（主要含 Co_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CuO 、 PbO 、 SiO_2 等）制取铁酸钴（ CoFe_2O_4 ），

工艺流程如下：



已知：草酸（ $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ）为二元弱酸，具有还原性；常温下，相关物质的 K_{sp} 见下表；当溶液中某离子浓度 $c \leq 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，可认为该离子沉淀完全。

物质	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Co}(\text{OH})_3$	$\text{Co}(\text{OH})_2$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	CoS	CuS
K_{sp}	$1 \times 10^{-37.4}$	$1 \times 10^{-43.8}$	$1 \times 10^{-9.7}$	$1 \times 10^{-19.6}$	$1 \times 10^{-21.7}$	$1 \times 10^{-35.3}$

回答下列问题：

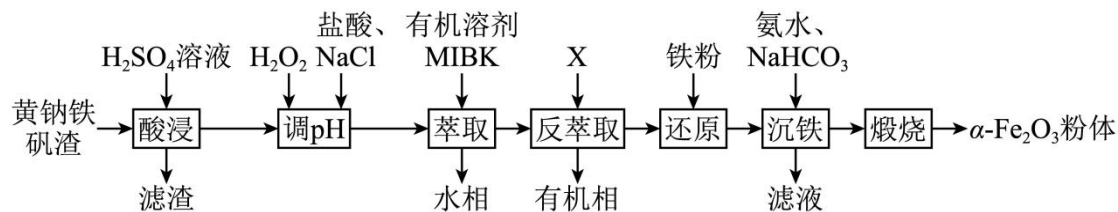
(1)“焙烧 I”时金属氧化物均转化为硫酸盐，其中 Co_2O_3 转化为 CoSO_4 的化学方程式为_____；“水浸”后滤液呈强酸性，滤渣 I 主要成分除 SiO_2 外还含有_____（填化学式）。

(2)“中和”在常温下进行，过程中需调节 pH 的理论最小值为_____；从原子经济的角度考虑，“中和”与“除铜”需分步产生沉淀，原因是_____。

(3)“除铜”时发生反应的离子方程式为_____；若将 CoS 改用 H_2S ，将增加_____的用量（填化学式）。

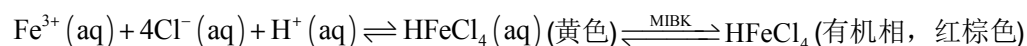
(4)“沉钴”所得滤液并入“吸收”液中，经处理后所得产品导入_____（填操作单元名称）循环利用。

8. (2026·成都模拟) α - Fe_2O_3 粉体具有广泛的用途。工业上用黄钠铁矾渣[主要成分为 $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ，还含有 Ba、Ni、Pb、Cu 等硫酸盐和亚碲酸钠(Na_2TeO_3)]制备高纯度的 α - Fe_2O_3 粉体的工艺流程如下。



已知：① NiSO_4 易溶于水；

②在盐酸介质中，有机溶剂 MIBK(无色)能萃取 Te(IV) ，不能萃取 Te(VI) 。MIBK 萃取 Fe^{3+} 的原理是：



回答下列问题：

(1) 镍元素位于元素周期表第四周期、第_____族。

(2) “酸浸”时， $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ 反应生成相应硫酸盐的化学方程式为_____，所得“滤渣”的主要成分有_____ (填化学式)。

(3) “调 pH”步骤中， H_2O_2 的作用是_____。

(4) “水相”中含有的金属阳离子有_____。

(5) “反萃取”时，最佳的反萃取剂 X 是_____ (填标号)。

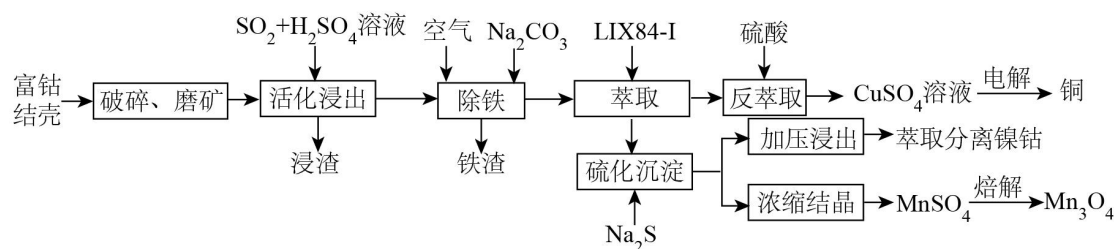
A. 蒸馏水 B. 浓盐酸 C. NaOH 溶液

多次“反萃取”后，若观察到有机相呈_____ (填颜色)，证明“反萃取”已基本完成。

(6) “沉铁”步骤生成 FeCO_3 的离子方程式为_____。

(7) 该流程中可以循环利用的物质是_____。

9. (2026·汕头·一模) 随着全球工业化发展, 开发深海矿产资源是人类可持续发展的重要选择。一种从深海富钴结壳(主要含 MnO_2 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 Co_2O_3 、 NiO 、 CuO) 中分离获得金属资源的工艺流程如下:



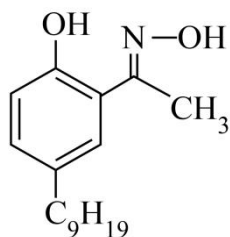
已知: “活化浸出”后得到的滤液中含有 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 。

(1) “浸渣”的主要成分化学式为_____。

(2) 写出“活化浸出”过程中, SO_2 还原 Co_2O_3 的化学方程式为_____。

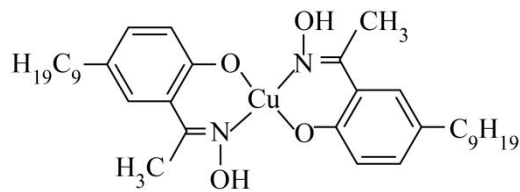
(3) “除铁”加入 Na_2CO_3 的主要目的为_____。

(4) LIX84-I (图 a) 为羟肟类铜特效萃取剂, 可从酸性或氨性溶液中萃取铜离子, 萃取率可达 98% 以上。



图a

①上述流程“萃取”过程中, Cu^{2+} 与萃取剂 LIX84-I 形成的配合物结构如图 b 所示, 1mol 该配合物的配位键数目为_____ N_A , 该有机物中 N 的杂化类型为_____。



图b

②工业上用 LIX84-I (用 HR 表示) 从氨性溶液中回收铜。反应如下: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{HR} (\text{有机}) \rightleftharpoons \text{CuR}_2 (\text{有机}) + 2\text{NH}_4^+ + 2\text{NH}_3$, 在实际操作中发现, 有机相在萃取铜的同时会溶解部分游离氨 (NH_3), 该现象称为“萃氨”。研究表明, 这是由于 LIX84-I 分子中的 $-\text{O}-\text{H}$ 或 $=\text{N}-\text{OH}$ 基团与 NH_3 分子之间能形成氢键。下列关于此工艺分析正确的是_____。

- A. LIX84-I 能取代 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 中的 NH_3 配体, 说明 Cu^{2+} 与 R^- 生成的配合物更稳定
- B. 氢键是 LIX84-I 分子与 NH_3 分子间的一种强化学键, 导致萃氨过程会消耗萃取剂, 影响主反应进行
- C. “萃氨”会使萃取剂失去与铜离子的配位能力, 降低了萃取剂 HR 的有效浓度, 导致铜萃取率下降

D. 为减少萃氨, 可向有机相中加入浓硫酸, 利用浓硫酸能与 NH_3 发生中和反应, 彻底消除氢键的形成

(5) 上述流程中除了萃取剂外能够循环利用的物质为_____。

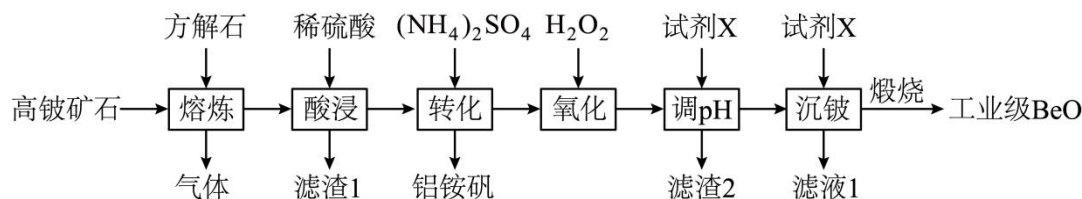
(6) 某含铜化合物在光电子学和太阳能电池领域有潜在应用, 其晶胞如图所示。



① 该化合物的化学式为_____。

② 若该晶胞的体积为 $V \text{ pm}^3$, 晶体密度为 $\rho \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 则阿伏加德罗常数 $N_A = \text{_____ mol}^{-1}$ 。

10. (2026·开封二模) 铍的氧化物广泛应用于原子能、航天、电子、陶瓷等领域, 是重要的战略物资。利用高铍矿石(主要成分为 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, 还含有一定量的 FeO 和 Fe_2O_3) 和方解石(主要成分是 CaCO_3) 生产 BeO 的一种工艺流程如下。



已知: i. $\text{Be}(\text{OH})_2$ 与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 性质相似, 能在强酸、强碱中溶解。

ii. 25°C 时, $\text{Be}(\text{OH})_2$ 的 $K_{sp} = 1.6 \times 10^{-22}$ 。

回答下列问题:

(1) “熔炼”过程中, 高铍矿石中的 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ 与方解石分解产物反应, 生成 BeO 、 CaSiO_3 和 Al_2O_3 , 反应的化学方程式为_____。

(2) 滤渣 1 中除含 SiO_2 及难溶性硅酸盐外, 还含有_____ (填化学式)。

(3) “氧化”过程中加入 H_2O_2 发生反应的离子方程式为_____; 工业上 H_2O_2 的实际消耗量多于理论用量, 原因是_____。

(4) 试剂 X 应选择_____ (填“ NaOH ”或“ $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ”), “沉铍”时选择试剂 X 的理由是_____。

(5) “沉铍”时, 将 pH 从 8.0 提高到 8.5, 则铍的损失降低至原来的_____ %。若将“沉铍”后的滤液 1 经处理后循环利用, 可返回流程中_____ 工序(填工序名称)。

第三部分 答案与解析

第一部分 典型例题

1. (2023 海南 15)

【答案】(1)+2

(2) 增大反应物的接触面积加快反应速率, 提高浸取率 SiO_2 (3) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (4) $\text{BeO} + \text{Cl}_2 + \text{C} \xrightarrow{600\sim 800^\circ\text{C}} \text{CO} + \text{BeCl}_2$

(5) 10

【分析】绿柱石煅烧生成氧化物, 浓硫酸浸取, SiO_2 不溶于硫酸, 残渣是 SiO_2 , 加硫酸铵调节 $\text{pH}=1.5$ 除去铝离子, 加入氨水调节 $\text{pH}=5.1$ 除去铁离子, 再加入氨水到 $\text{pH}=8.0$ 生成 $\text{Be}(\text{OH})_2$ 沉淀, 滤液硫酸铵循环利用。

【详解】(1) 按照正负化合价代数和为 0, Be 的化合价为 +2 价;

(2) 粉碎的目的是增大反应物接触面积, 加快浸取速率, 提高浸取率; 残渣的成分是不溶于酸的 SiO_2 ;

(3) 最后的滤液中的硫酸铵可以在除铝步骤中循环利用;

(4) BeO 、 Cl_2 与足量 C 在 $600\sim 800^\circ\text{C}$ 生成 BeCl_2 同时生成 CO, 化学方程式为 $\text{BeO} + \text{Cl}_2 + \text{C} \xrightarrow{600\sim 800^\circ\text{C}} \text{CO} + \text{BeCl}_2$;

(5) 设 $\text{Be}(\text{OH})_2$ 的溶度积常数为 K_{sp} , $K = c(\text{Be}^{2+}) \times c^2(\text{OH}^-)$, $c(\text{Be}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}}{c^2(\text{OH}^-)}$, 当 $\text{pH}=8.0$ 时, $c(\text{OH}^-) = 10^{-6} \text{mol/L}$, 铍损失浓度为 $c(\text{Be}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}}{10^{-12}} \text{mol/L}$, 当 $\text{pH}=8.5$ 时, $c(\text{OH}^-) = 10^{-5.5} \text{mol/L}$, 铍损失浓度为 $c(\text{Be}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}}{10^{-11}} \text{mol/L}$, 损失降低至原来的 10%。

2. (2024 江西, 15)

【答案】(1) b (2) ①. +6 ②. $2\text{U}_3\text{O}_8 + \text{O}_2 + 6\text{NaOH} = 3\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 + 3\text{H}_2\text{O}$ (3) ①. $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ②. 热分解(4) ①. $2\text{Ce}(\text{OH})_4 + 8\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- = 2\text{Ce}^{3+} + \text{Cl}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ ②. 4×10^{-7} (5) RaSO_4

【解析】

【分析】独居石的主要成分为 CePO_4 , 含有 $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$ 、 U_3O_8 和少量镭杂质, 加入 55~60% 的 NaOH 进行热分解, U_3O_8 发生反应: $2\text{U}_3\text{O}_8 + \text{O}_2 + 6\text{NaOH} = 3\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 + 3\text{H}_2\text{O}$, 转化为 $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$, CePO_4 中的 Ce 被氧化为 $\text{Ce}(\text{OH})_4$, 将热分解后的物质加水稀释后过滤, 得到的滤液中含有 Na^+ 、 PO_4^{3-} , 滤液浓缩结晶后, 得到的晶体化学式为: $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 滤液可用于热分解阶段循环利用, 避免产生大量的高碱度废水, 过滤得到的固体产物中加入盐酸和凝聚剂, $\text{Ce}(\text{OH})_4$ 具有氧化性, 与盐酸发生反应: $2\text{Ce}(\text{OH})_4 + 8\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- = 2\text{Ce}^{3+} + \text{Cl}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$, 废气为 Cl_2 , 调节 pH, 使铈和 Th 进入沉淀, 向滤液中加入硫酸铵和氯化钡, 使 BaSO_4 和 RaSO_4 形成共沉淀, 得到含有 Ce^{3+} 的溶液, 经过一系列操作, 得到 $\text{CeCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, 据此分析作答。

【小问 1 详解】

- a. 降低压强，分解速率降低，故 a 错误；
 b. 降低温度，分解速率降低，故 b 正确；
 c. 反应时间越长，分解速率逐渐变慢，故 c 错误；
 d. 提高搅拌速度，分解速率加快，故 d 错误；

故答案为 b；

【小问 2 详解】

$\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ 中 Na 为 +1 价，O 为 -2 价，根据化合价代数和为 0，则铀元素的化合价为 +6 价，热分解阶段 U_3O_8 生成 $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ 的化学反应方程式为： $2\text{U}_3\text{O}_8 + \text{O}_2 + 6\text{NaOH} = 3\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 + 3\text{H}_2\text{O}$

【小问 3 详解】

稀释过滤后的滤液中含有 Na^+ 、 PO_4^{3-} ，滤液浓缩结晶后，得到的晶体产物化学式为： $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，滤液可用于热分解阶段循环利用，避免产生大量的高碱度废水；

【小问 4 详解】

①根据后续流程可知，生成 +3 价 Ce，则盐酸溶解 $\text{Ce}(\text{OH})_4$ 发生氧化还原反应，其离子方程式为： $2\text{Ce}(\text{OH})_4 + 8\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- = 2\text{Ce}^{3+} + \text{Cl}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ ；

②当溶液 $\text{pH} = 4.5$ 时， $c(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-4.5} \text{ mol/L}$ ， $c(\text{OH}^-) = 1 \times 10^{-9.5} \text{ mol/L}$ ， $c(\text{Th}^{4+}) \times c^4(\text{OH}^-) = 4.0 \times 10^{-45}$ ，则 $c(\text{Th}^{4+}) = 4 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ ，此时完全转化为氢氧化钍沉淀；

【小问 5 详解】

以 BaSO_4 为载体形成共沉淀，目的是去除杂质 RaSO_4 ， RaSO_4 的溶解度更小。

3. (2024 山东, 18)

【答案】(1) ①. 1:1 ②. H_2S

(2) 热浸 (3) 将过量的 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+}

(4) ①. C ②. $\text{Pb} + 2[\text{AgCl}_2]^- = 2\text{Ag} + [\text{PbCl}_4]^{2-}$

(5) 阳极

【解析】

【分析】本题以铅精矿(含 PbS ， Ag_2S 等)为主要原料提取金属 Pb 和 Ag，“热浸”时，难溶的 PbS 和 Ag_2S 转化为 $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ 和 $[\text{AgCl}_2]^-$ 及单质硫， Fe^{3+} 被还原为 Fe^{2+} ，过滤 I 除掉单质硫滤渣，滤液中 $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ 在稀释降温的过程中转化为 PbCl_2 沉淀，然后用饱和食盐水热溶，增大氯离子浓度，使 PbCl_2 又转化为 $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ ，电解得到 Pb；过滤 II 后的滤液成分主要为 $[\text{AgCl}_2]^-$ 、 FeCl_2 、 FeCl_3 ，故加入铅精矿主要将 FeCl_3 还原为 FeCl_2 ，试剂 X 将 $[\text{AgCl}_2]^-$ 置换为 Ag，得到富银铅泥，试剂 X 为铅，尾液为 FeCl_2 。

【小问 1 详解】

“热浸”时， Fe^{3+} 将 PbS 和 Ag_2S 中 -2 价的硫氧化为单质硫， Fe^{3+} 被还原为 Fe^{2+} ，在这个过程中 Pb 和 Ag 的化合价保持不变，所以等物质的量的 PbS 和 Ag_2S 时， S^{2-} 物质的量相等，所以消耗 Fe^{3+} 的物质的量相等，比值为 $1:1$ ；溶液中盐酸浓度过大，这里主要考虑氢离子浓度会过大，会生成 H_2S 气体。

【小问 2 详解】

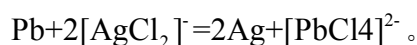
“过滤 II”得到的 PbCl_2 沉淀反复用饱和食盐水热溶，会溶解为 $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ ，电解 $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ 溶液制备金属 Pb ， Pb 在阴极产生，阳极 Cl^- 放电产生 Cl_2 ，尾液成分为 FeCl_2 ， FeCl_2 吸收 Cl_2 后转化为 FeCl_3 ，可以在热浸中循环使用。

【小问 3 详解】

过滤 II 所得的滤液中有过量的未反应的 Fe^{3+} ，根据还原之后可以得到含硫滤渣，“还原”中加入铅精矿的目的是将过量的 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} 。

【小问 4 详解】

“置换”中加入试剂 X 可以得到富银铅泥，为了防止引入其他杂质，则试剂 X 应为 Pb ，发生的反应为：



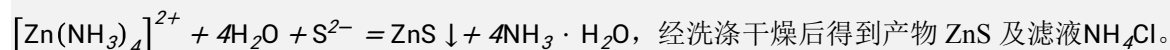
【小问 5 详解】

“电解 II”中将富银铅泥制成电极板，电解 II 得到金属银和金属铅，将银和铅分离出来，所以不可能作为阴极，应作为阳极板，阳极放电时，银变成阳极泥而沉降下来，铅失电子为 Pb^{2+} ，阴极得电子得到 Pb ，所以电极板应作阳极。

4. (2023 福建 6)

【答案】B

【分析】“盐浸”过程 ZnO 转化为 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ，发生反应 $\text{ZnO} + 2\text{NH}_3 + 2\text{NH}_4^+ = [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ ，根据题中信息可知， Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 只有少量溶解，通入空气氧化后 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ；“沉锌”过程发生反应为：



【详解】A. “盐浸”过程中消耗氨气，浸液 pH 下降，需补充 NH_3 ，A 正确；

B. 由分析可知，“滤渣”的主要成分为 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 ，只含少量的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，B 错误；

C. “沉锌”过程发生反应 $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{S}^{2-} = \text{ZnS} \downarrow + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，C 正确；

D. 应合理控制 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 用量，以便滤液循环使用，D 正确；

故答案选 B。

5. (2021·山东卷)

【答案】 增大反应物接触面积，提高化学反应速率 $4.5 \leq \text{pH} \leq 9.3$ 使

$2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ 平衡正向移动, 提高 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的产率 浸取 过度蒸发可导致重铬酸钠提前析出

H_2SO_4 阳 Na^+

【分析】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($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)过程中, 向铬铁矿中加入纯碱和 O_2 进行焙烧, FeCr_2O_4 转化为 Na_2CrO_4 , Fe(II) 被 O_2 氧化成 Fe_2O_3 , Al、Si 氧化物转化为 NaAlO_2 、 Na_2SiO_3 , 加入水进行“浸取”, Fe_2O_3 不溶于水, 过滤后向溶液中加入 H_2SO_4 调节溶液 pH 使 AlO_2^- 、 SiO_3^{2-} 转化为沉淀过滤除去, 再向滤液中加入 H_2SO_4 , 将 Na_2CrO_4 转化为 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 将溶液蒸发结晶将 Na_2SO_4 除去, 所得溶液冷却结晶得到 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 晶体, 母液中还含有大量 H_2SO_4 。据此解答。

【详解】(1)焙烧时气体与矿料逆流而行, 目的是利用热量使 O_2 向上流动, 增大固体与气体的接触面积, 提高化学反应速率, 故答案为: 增大反应物接触面积, 提高化学反应速率。

(2)中和时调节溶液 pH 目的是将 AlO_2^- 、 SiO_3^{2-} 转化为沉淀过滤除去, 由图可知, 当溶液 $\text{pH} \geq 4.5$ 时, Al^{3+} 除尽, 当溶液 $\text{pH} > 9.3$ 时, H_2SiO_3 会再溶解生成 SiO_3^{2-} , 因此中和时 pH 的理论范围为 $4.5 \leq \text{pH} \leq 9.3$; 将 Al 元素和 Si 元素除去后, 溶液中 Cr 元素主要以 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 和 CrO_4^{2-} 存在, 溶液中存在平衡: $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$, 降低溶液 pH, 平衡正向移动, 可提高 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的产率; 由上述分析可知, Fe 元素在“浸取”操作中除去, 故答案为: $4.5 \leq \text{pH} \leq 9.3$; 使 $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ 平衡正向移动, 提高 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的产率; 浸取。

(3)蒸发结晶时, 过度蒸发可导致重铬酸钠提前析出。

(4)由 $4\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 4\text{NaOH} + 2\text{H}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$ 可知, 电解过程中实质是电解水, 阳极上水失去电子生成 H^+ 和 O_2 , 阴极上 H^+ 得到电子生成 H_2 , 由 $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ 可知, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 在氢离子浓度较大的电极室中制得, 即 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 在阳极室产生; 电解过程中, 阴极产生氢氧根离子, 氢氧化钠在阴极生成, 所以为提高制备 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的效率, Na^+ 通过离子交换膜移向阴极, 故答案为: 阳; Na^+ 。

6. (2022·广东卷)

【答案】(1) Fe^{2+}

(2) $4.7 \leq \text{pH} < 6.2$ $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$

(3) 4.0×10^{-4}

(4) 加热可以提高反应物粒子运动速度, 搅拌增加溶剂与溶质的接触面积, 使溶出更彻底, 提高溶出速度, 提高产率 冷却结晶

(5) MgSO_4

(6) 15 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$

【分析】由流程可知，该类矿(含铁、铝等元素)加入酸化 MgSO_4 溶液浸取，得到浸取液中含有 RE^{3+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 等离子，经氧化调 pH 使 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 形成沉淀，经过滤除去，滤液 1 中含有 RE^{3+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 等离子，加入月桂酸钠，使 RE^{3+} 形成 $(\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COO})_3\text{RE}$ 沉淀，滤液 2 主要含有 MgSO_4 溶液，可循环利用，滤饼加盐酸，经加热搅拌溶解后，再冷却结晶，析出月桂酸，再固液分离得到 RECl_3 溶液。

【详解】(1) 由分析可知，“氧化调 pH”目的是除去含铁、铝等元素的离子，需要将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ，以便后续除杂，所以化合价有变化的金属离子是 Fe^{2+} ，故答案为： Fe^{2+} ；

(2) 由表中数据可知， Al^{3+} 沉淀完全的 pH 为 4.7，而 RE^{3+} 开始沉淀的 pH 为 6.2~7.4，所以为保证 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 沉淀完全，且 RE^{3+} 不沉淀，要用 NaOH 溶液调 pH 至 $4.7 \leq \text{pH} < 6.2$ 的范围内，该过程中 Al^{3+} 发生反应的离子方程式为 $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ ，故答案为： $4.7 \leq \text{pH} < 6.2$ ； $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ ；

(3) 滤液 2 中 Mg^{2+} 浓度为 $2.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，即 0.1125mol/L ，根据 $K_{\text{sp}}[(\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COO})_2\text{Mg}] = c(\text{Mg}^{2+}) \cdot c^2(\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COO}^-)$ ，若要加入月桂酸钠后只生成 $(\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COO})_3\text{RE}$ ，而不产生 $(\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COO})_2\text{Mg}$ ，则

$$c(\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COO}^-) < \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}[(\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COO})_2\text{Mg}]}{c(\text{Mg}^{2+})}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-8}}{0.1125}} = 4.0 \times 10^{-4} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$
，故答案为： 4.0×10^{-4} ；

(4) ①“加热搅拌”有利于加快 RE^{3+} 溶出、提高产率，其原因是加热可以提高反应物粒子运动速度，搅拌增加溶剂与溶质的接触面积，使溶出更彻底，提高溶出速度，提高产率，故答案为：加热可以提高反应物粒子运动速度，搅拌增加溶剂与溶质的接触面积，使溶出更彻底，提高溶出速度，提高产率；

②“操作 X”的结果是分离出月桂酸，由信息可知，月桂酸($\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$)熔点为 44°C ，故“操作 X”的过程为：先冷却结晶，再固液分离，故答案为：冷却结晶；

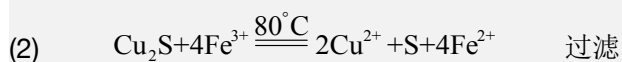
(5) 由分析可知，该工艺中，可再生循环利用的物质有 MgSO_4 ，故答案为： MgSO_4 ；

(6) ① YCl_3 中 Y 为 +3 价， PtCl_4 中 Pt 为 +4 价，而 Pt_3Y 中金属均为 0 价，所以还原 YCl_3 和 PtCl_4 熔融盐制备 Pt_3Y 时，生成 $1\text{mol Pt}_3\text{Y}$ 转移 15mol 电子，故答案为：15；

②碱性溶液中，氢氧燃料电池正极发生还原反应，发生的电极反应为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$ ，故答案为： $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$ 。

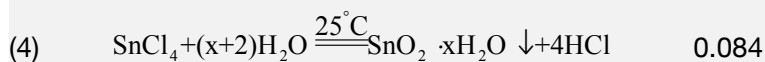
7. (2025 贵州, 16)

【答案】(1) Pb 的密度大于 PbS 、 Cu_2S 、 SnS



(3) 当 $c(\text{HCl}) < 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随着 Cl^- 浓度降低, 沉淀溶解平衡 $\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq})$ 正向移动, PbCl_2 溶解度增大

当 $c(\text{HCl}) > 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随着 Cl^- 浓度增大, 络合平衡 $\text{PbCl}_2 + 2\text{Cl}^- = [\text{PbCl}_4]^{2-}$ 正向移动, PbCl_2 溶解度增大



(5) FeCl_2 通入空气 (或加入 H_2O_2) 并补充 HCl

【分析】该流程以含 Pb 、 PbS 、 Cu_2S 、 SnS 的铜浮渣为原料, 通过“密度分选→浸出→冷却结晶→调 pH →置换”等步骤分离回收铅、锡、铜: 先利用 Pb 与其他物质的密度差异分选得到粗 Pb ; 剩余物料用 FeCl_3 和盐酸混合液浸出, 将 Cu_2S 、 SnS 氧化为 CuCl_2 、 SnCl_4 并分离出 S ; 浸出液冷却结晶得到 PbCl_2 , 调 pH 使 Sn^{4+} 水解为 $\text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 再用 Fe 置换出 Cu ; 最后滤液经处理循环回浸出工序, 实现资源回收与循环利用。

【详解】(1) 由密度表可知, Pb 的密度远大于 PbS 、 Cu_2S 、 SnS 的密度, 通过“分选”可将 Pb 与其他固体分离;

(2) Cu_2S 在 80°C 下被 FeCl_3 氧化, 铜、硫元素分别转化为 Cu^{2+} 、 S 单质, Fe^{3+} 被还原为 Fe^{2+} , 结合得失电子守恒及电荷、原子守恒得离子方程式为: $\text{Cu}_2\text{S} + 4\text{Fe}^{3+} \xrightarrow{80^\circ\text{C}} 2\text{Cu}^{2+} + \text{S} + 4\text{Fe}^{2+}$; S 为固体, 通过过滤分离;

(3) PbCl_2 存在溶解平衡 ($\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq})$) 和络合平衡 ($\text{PbCl}_2 + 2\text{Cl}^- = [\text{PbCl}_4]^{2-}$);

当 $c(\text{HCl}) < 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随着 Cl^- 浓度降低, 沉淀溶解平衡 $\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq})$ 正向移动, PbCl_2 溶解度增大;

当 $c(\text{HCl}) > 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随着 Cl^- 浓度增大, 络合平衡 $\text{PbCl}_2 + 2\text{Cl}^- = [\text{PbCl}_4]^{2-}$ 正向移动, PbCl_2 溶解度增大;

所以当 $c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, PbCl_2 溶解度最小;

(4) SnCl_4 水解生成 $\text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 反应为: $\text{SnCl}_4 + (x+2)\text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons{25^\circ\text{C}} \text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} \downarrow + 4\text{HCl}$; $\text{pH} = 1.5$ 时,

$c(\text{OH}^-) = 10^{-12.5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 由 $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] = c(\text{Fe}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-)$, 得: $c(\text{Fe}^{3+}) = \frac{2.8 \times 10^{-39}}{(10^{-12.5})^3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx 0.084 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

(5) Fe 置换 Cu^{2+} 生成 Fe^{2+} , 溶质主要为 FeCl_2 ; 为使该溶液能继续用作浸出液, 需要需将 FeCl_2 氧化为 FeCl_3 , 并补充适量盐酸, 使之恢复到原有的“浸出”条件后循环使用, 故系列操作是通入空气 (或加入 H_2O_2) 并补充 HCl 。

8. (2025 山东, 17)

【答案】(1) ①. $3\text{MnO}_2 + 3\text{NH}_4\text{HSO}_4 \xrightarrow{\text{低温焙烧}} 3\text{MnSO}_4 + \text{N}_2 \uparrow + \text{NH}_3 \uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ ②. Fe_2O_3 、 CaSO_4

(2) 减小 (3) H_2SO_4 (4) ①. 4×10^{-4} ②. $\text{CoS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Co}^{2+} + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$

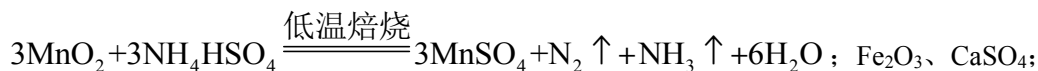
(5) 低温焙烧

【解析】

【分析】采用两段焙烧—水浸法从铁锰氧化矿中分离提取 Cu、Co、Mn 等元素，加入硫酸铵低温焙烧，金属氧化物均转化为硫酸盐，如硫酸锰、硫酸铁、硫酸钴、硫酸钙等，产生的气体有氨气，氮气等，氨气用稀硫酸吸收，得到硫酸铵溶液，得到的硫酸盐经 650°C 高温焙烧，只有硫酸铁发生了分解，产生三氧化硫气体和氧化铁，水浸后，过滤分离出滤渣，滤渣主要为二氧化硅，氧化铁，及硫酸钙，后续萃取分离，将铜元素萃取到有机相中，最终得到硫酸铜溶液，水相主要含有钴元素和锰元素，加入硫化钠，调节 pH，生成硫化钴，过滤分离最终得到硫酸钴溶液，滤液中加入碳酸氢铵，生成碳酸锰沉淀，据此解答。

【小问 1 详解】

低温焙烧，金属氧化物均转化为硫酸盐，二氧化锰与硫酸氢铵反应，转化为硫酸锰和氮气，根据电子得失守恒可知还有氨气生成，化学方程式为： $3\text{MnO}_2 + 3\text{NH}_4\text{HSO}_4 \xrightarrow{\text{低温焙烧}} 3\text{MnSO}_4 + \text{N}_2 \uparrow + \text{NH}_3 \uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ ；根据已知条件，高温焙烧的温度为 650°C ，只有硫酸铁发生分解，生成三氧化硫气体和氧化铁，二氧化硅，氧化铁，硫酸钙等在水中溶解度都较小，所以“水浸”所得滤渣的主要成分除了 SiO_2 外还含有， Fe_2O_3 、 CaSO_4 ；故答案为：

**【小问 2 详解】**

根据已知条件，硫酸铵低温分解成硫酸氢铵，高温则完全分解成气体，如果直接高温焙烧，则硫酸铵会分解，物质的量减少，导致金属元素的浸出率减小，故答案为：减小；

【小问 3 详解】

根据萃取的化学方程式： $2\text{HR}(\text{有机相}) + \text{Cu}^{2+}(\text{水相}) \rightleftharpoons \text{CuR}_2(\text{有机相}) + 2\text{H}^+(\text{水相})$ ，加入有机相将铜离子萃取到有机相中，反萃取时需要使平衡逆向移到，生成铜离子，而且为了不引入新的杂质，应加入的试剂为稀 H_2SO_4 ，故答案为： H_2SO_4 ；

【小问 4 详解】

沉钴时， $\text{pH}=4$ 时 Co^{2+} 恰好沉淀完全，其浓度为 $c(\text{Co}^{2+})=1 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ ，此时 $c(\text{H}^+)=1 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ ，根据 $K_{\text{sp}}(\text{CoS})=$

$$4 \times 10^{-21}, \text{推出 } c(\text{S}^{2-}) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CoS})}{c(\text{Co}^{2+})} = \frac{4 \times 10^{-21}}{1 \times 10^{-5}} = 4 \times 10^{-16} \text{mol/L}, \text{又因为 } K_{\text{a1}}(\text{H}_2\text{S}) = 1 \times 10^{-7}, K_{\text{a2}}(\text{H}_2\text{S}) = 1 \times 10^{-13},$$

$$K_{\text{a1}} \times K_{\text{a2}} = \frac{c(\text{H}^+) \times c(\text{HS}^-)}{c(\text{H}_2\text{S})} \times \frac{c(\text{H}^+) \times c(\text{S}^{2-})}{c(\text{HS}^-)} = \frac{c^2(\text{H}^+) \times c(\text{S}^{2-})}{c(\text{H}_2\text{S})}, \text{则 } c(\text{H}_2\text{S}) =$$

$\frac{c^2(\text{H}^+) \times c(\text{S}^{2-})}{K_{a1} \times K_{a2}} = \frac{(10^{-4})^2 \times 4 \times 10^{-16}}{10^{-7} \times 10^{-13}} = 4 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$; 由流程图可知, CoS 溶解时加入了过氧化氢, 稀硫酸, 生

成了 CoSO_4 和 S, 化学方程式为: $\text{CoS} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CoSO}_4 + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$, 改写成离子方程式为:

$\text{CoS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Co}^{2+} + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。故答案为: 4×10^{-4} ; $\text{CoS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Co}^{2+} + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$;

【小问 5 详解】

由分析可知, 沉锰过程中, 加入碳酸氢铵, 生成碳酸锰, 二氧化碳, 硫酸铵等, 过滤后滤液中的硫酸铵可并入吸收液中, 经过处理后导入低温焙烧循环使用, 故答案为: 低温焙烧。

9. (2026·湖北宜昌·二模)

【答案】(1) 四 VIII

(2) $\text{Mn}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$

(3) $4.6 < \text{pH} < 8.35$

(4) P204 P204 中与 P 相连的烷氧基(-OR)吸电子能力强于烷基, 使羟基 O-H 键极性更强, 更易电离出 H^+ , 酸性更强

(5) 趁热过滤

(6) RH

【分析】正极废料含铝箔和 Li、Ni、Co、Mn 等的氧化物, 正极材料中加入 NaOH 溶液进行碱浸, Al 和 NaOH 溶液反应生成 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ 和 H_2 , Li、Ni、Co、Mn 的氧化物和 NaOH 溶液不反应, 过滤后滤液中加入稀硫酸沉铝可得到 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀, 滤液进行电解得到 NaOH 和稀硫酸, Li、Ni、Co、Mn 等的氧化物中加入稀硫酸、 Na_2SO_3 进行酸浸, 分别得到 Li_2SO_4 、 NiSO_4 、 CoSO_4 、 MnSO_4 , 溶液中加入 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 进行沉锰得到 MnO_2 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 得电子生成 Na_2SO_4 , 滤液中加入 RH 进行萃取, 水相中得到 Li_2SO_4 , 水相中加入 Na_2CO_3 沉锂得到 Li_2CO_3 , 同时生成 Na_2SO_4 , 有机相中加入稀硫酸进行反萃取得到 RH 和 NiSO_4 、 CoSO_4 , 据此分析;

【详解】(1) Co 原子序数为 27, 位于元素周期表第四周期第 VIII 族;

(2) 沉锰时 Mn^{2+} 被 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化为 MnO_2 , $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 被还原为 SO_4^{2-} , 离子方程式:

$\text{Mn}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$;

(3) 计算 pH 范围: 使 Al^{3+} 完全沉淀: $K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3] = c(\text{Al}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-)$, 代入 $c(\text{Al}^{3+}) = 10^{-5} \text{ mol/L}$ 得:

$c^3(\text{OH}^-) = \frac{10^{-33.2}}{10^{-5}} = 10^{-28.2}$, $\text{pH} = 14 - 9.4 = 4.6$, 即 pH 需大于 4.6; 防止 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 溶解: 由

$K = \frac{c([\text{Al}(\text{OH})_4]^-)}{c(\text{OH}^-)} = 10^{0.65}$, 要求 $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 不能发生, 则 $c(\text{OH}^-) = \frac{10^{-5}}{10^{0.65}} = 10^{-5.65}$,

$\text{pH} = 14 - 5.65 = 8.35$, 即 pH 需小于 8.35, 故 pH 范围为 $4.6 < \text{pH} < 8.35$;

(4) 题目说明萃取剂酸性越强萃取能力越强: P204 中 P 原子连接两个烷氧基 -OR, 氧的电负性大于碳, 烷氧

基吸电子能力比 Cyanex 272 的烷基更强，使羟基 O-H 键极性更大，更易电离出 H^+ ，酸性更强，因此 P204 萃取能力更强；

(5) 由碳酸锂的溶解度曲线可知，温度越高，碳酸锂的溶解度越小，越有利于析出，为提高碳酸锂的析出量和纯度，“沉锂”操作后应进行的操作为蒸发结晶、趁热过滤、洗涤；

(6) 萃取过程消耗萃取剂 RH，镍钴分离（反萃取）加入硫酸，使萃取平衡逆移，重新生成 RH，因此 RH 可循环利用。

10. (2026 青岛一模)

【答案】 (1) ①. $4MnO_2 + 4H_2SO_4 + PbS = 4MnSO_4 + PbSO_4 + 4H_2O$ ②. pH 太小会产生硫化氢有毒气体，污染空气

体，污染空气

(2) SiO_2 和 $CaSO_4$

(3) ①. 5×10^6 ②. 3.2×10^{-7}

(4) 除去 CO_3^{2-}

(5) $(CH_3COO)_2Ba$

【解析】

【分析】 该流程以含 MnO_2 、 $PbSO_4$ 、 $CaSO_4$ 和少量 SiO_2 的电解锰渣为原料，先经 H_2SO_4 、 PbS 还原酸浸，使 MnO_2 转化为 $MnSO_4$ 进入浸出液 1 用于电解产锰，同时得到含 $PbSO_4$ 等的富铅渣；富铅渣用 CH_3COONH_4 浸铅， $PbSO_4$ 转化为 $(CH_3COO)_3Pb^-$ 进入浸出液 2， SiO_2 、 $CaSO_4$ 成为浸出渣；浸出液 2 加 $(NH_4)_2CO_3$ 分步沉淀， $(CH_3COO)_3Pb^-$ 转化为 $PbCO_3$ （后续可制 Pb ），再经富铅渣除 CO_3^{2-} 、试剂 X（ $(CH_3COO)_2Ba$ ）除杂后得到可循环的再生液，最终实现锰、铅的回收与醋酸盐的循环利用。

【小问 1 详解】

在酸性条件下， MnO_2 作为氧化剂，将 PbS 中的 S^{2-} 氧化为 SO_4^{2-} ，自身被还原为 Mn^{2+} 。根据得失电子守恒和原子守恒，配平后的化学方程式为 $4MnO_2 + 4H_2SO_4 + PbS = 4MnSO_4 + PbSO_4 + 4H_2O$ 。

PbS 在强酸性条件下会发生反应： $PbS + 2H^+ = Pb^{2+} + H_2S \uparrow$ ，生成有毒的 H_2S 气体，污染空气，因此 pH 需控制在 2~4 之间，避免 H_2S 逸出。

【小问 2 详解】

根据分析，“浸出渣”主要成分为 SiO_2 和 $CaSO_4$ 。

【小问 3 详解】

计算平衡常数 K : 目标反应为: $(CH_3COO)_3Pb^- + CO_3^{2-} \rightleftharpoons PbCO_3 \downarrow + 3CH_3COO^-$, 该反应可以看作是以下

两个反应的相加: $(CH_3COO)_3Pb^- \rightleftharpoons Pb^{2+} + 3CH_3COO^-$, $K_1 = \frac{1}{K_{稳}} = \frac{1}{2.5 \times 10^6}$;

$Pb^{2+} + CO_3^{2-} \rightleftharpoons PbCO_3 \downarrow$, $K_2 = \frac{1}{K_{sp}(PbCO_3)} = \frac{1}{8.0 \times 10^{-14}}$; 因此, 总反应的平衡常

数 $K = K_1 \times K_2 = \frac{1}{2.5 \times 10^6} \times \frac{1}{8.0 \times 10^{-14}} = \frac{1}{20 \times 10^{-8}} = 5 \times 10^6$ 。

计算 $c(Pb^{2+})$: 当溶液中开始出现 $CaCO_3$ 沉淀时, 溶液中的离子浓度满足其溶度积:

$K_{sp}(CaCO_3) = c(Ca^{2+}) \cdot c(CO_3^{2-}) = 2.5 \times 10^{-9}$, 此时溶液

中 $c(CO_3^{2-}) = \frac{K_{sp}(CaCO_3)}{c(Ca^{2+})} = \frac{2.5 \times 10^{-9}}{0.01} = 2.5 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 在此 CO_3^{2-} 浓度下, $PbCO_3$ 的溶度积满足:

$K_{sp}(PbCO_3) = c(Pb^{2+}) \cdot c(CO_3^{2-}) = 8.0 \times 10^{-14}$, 所

以, $c(Pb^{2+}) = \frac{K_{sp}(PbCO_3)}{c(CO_3^{2-})} = \frac{8.0 \times 10^{-14}}{2.5 \times 10^{-7}} = 3.2 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

【小问 4 详解】

分步沉淀后, 溶液中残留 CO_3^{2-} , 富铅渣中含 $PbSO_4$ Pb^{2+} , 富铅渣中的 $PbSO_4$ 可与 CO_3^{2-} 反应生成 $PbCO_3$ 沉淀, 从而除去溶液中的 CO_3^{2-} , 避免 CO_3^{2-} 干扰后续流程。

【小问 5 详解】

“再生除杂 1”后, 溶液中主要含有 NH_4^+ 、 CH_3COO^- 和 SO_4^{2-} 等离子。为了实现“再生液”(即 CH_3COONH_4 溶液)的循环利用, 需要除去 SO_4^{2-} 杂质, 则试剂 X 为 $(CH_3COO)_2Ba$ 。加入后, 其中的 Ba^{2+} 会与溶液中的 SO_4^{2-} 反应生成难溶的硫酸钡沉淀, 从而除去 SO_4^{2-} 杂质。

第二部分 练习题

1. (2024 东三省, 16)

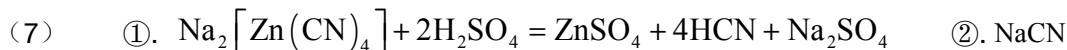
【答案】(1) $CuSO_4$

(2) $4FeS_2 + 15O_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{细菌}} 4Fe^{3+} + 8SO_4^{2-} + 4H^+$

(3) $Fe(OH)_3$ (4) BC

(5) 做络合剂, 将 Au 转化为 $[Au(CN)_2]^-$ 从而浸出

(6) 作还原剂, 将 $[Au(CN)_2]^-$ 还原为 Au



【解析】

【分析】矿粉中加入足量空气和 H_2SO_4 ，在 $\text{pH}=2$ 时进行细菌氧化，金属硫化物中的 S 元素转化为硫酸盐，过滤，滤液中主要含有 Fe^{3+} 、 SO_4^{2-} 、As(VI)，加碱调节 pH 值， Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体，可起到絮凝作用，促进含 As 微粒的沉降，过滤可得到净化液；滤渣主要为 Au，Au 与空气中的 O_2 和 NaCN 溶液反应，得到含 $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 的浸出液，加入 Zn 进行“沉金”得到 Au 和含 $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ 的滤液②。

【小问 1 详解】

“胆水”冶炼铜，“胆水”的主要成分为 CuSO_4 ；

【小问 2 详解】

“细菌氧化”的过程中， FeS_2 在酸性环境下被 O_2 氧化为 Fe^{3+} 和 SO_4^{2-} ，离子方程式为：



【小问 3 详解】

“沉铁砷”时，加碱调节 pH 值， Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体，可起到絮凝作用，促进含 As 微粒的沉降；

【小问 4 详解】

A. 细菌的活性与温度息息相关，因此细菌氧化也需要控温，A 不符合题意；

B. 焙烧氧化时，金属硫化物中的 S 元素通常转化为 SO_2 ，而细菌氧化时，金属硫化物中的 S 元素转化为硫酸盐，可减少有害气体的产生，B 符合题意；

C. 焙烧氧化需要较高的温度，因此所使用的设备需要耐高温，而细菌氧化不需要较高的温度就可进行，设备无需耐高温，C 符合题意；

D. 由流程可知，细菌氧化也会产生废液废渣，D 不符合题意；

故选 BC；

【小问 5 详解】

“浸金”中，Au 作还原剂， O_2 作氧化剂，NaCN 做络合剂，氰化钠能够与金离子形成稳定的络合物从而提升金单质的还原性，将 Au 转化为 $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 从而浸出；

【小问 6 详解】

“沉金”中 Zn 作还原剂，将 $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 还原为 Au；

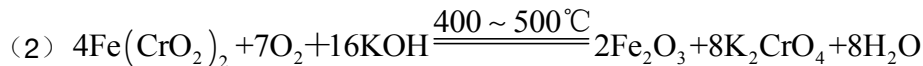
【小问 7 详解】

滤液②含有 $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ ，经过 H_2SO_4 的酸化， $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ 转化为 ZnSO_4 和 HCN，反应得化学方程式为：

$\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4] + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + 4\text{HCN} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ；用碱中和 HCN 得到的产物，可实现循环利用，即用 NaOH 中和 HCN 生成 NaCN，NaCN 可用于“浸金”步骤，从而循环利用。

2. (2025 河北, 16)

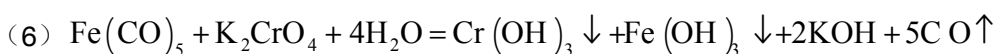
【答案】(1) $3d^5 4s^1$



(3) ①. $\text{Al}(\text{OH})_3$ ②. MgO

(4) 增大 CO_2 的溶解度，保证酸化反应充分进行

(5) KHCO_3



(7) 煅烧

【解析】

【分析】铬铁矿主要成分是 $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{CrO}_2)_2$ 、 Al_2O_3 、 SiO_2 ，与过量 KOH 在空气中煅烧，生成 K_2CrO_4 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 KAlO_2 、 K_2SiO_3 ；通入 KHCO_3 - $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{CO}_2$ 浸取，生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 H_2SiO_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 不反应，故滤渣 I 为： $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 H_2SiO_3 、 Fe_2O_3 、 MgO ，通过蒸发浓缩、冷却结晶、过滤分离出 K_2CrO_4 固体，滤液 I 中含有 K_2CrO_4 ；将 K_2CrO_4 中加水溶解，并通入过量 CO_2 酸化，将 K_2CrO_4 转化为 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ，同时副产物 KHCO_3 生成，将 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 与 KHCO_3 分离，滤液 II 的主要溶质为 KHCO_3 ； $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 做还原剂，将滤液 I 中剩余的 K_2CrO_4 还原为 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ，自身转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 进入滤渣 II，KOH 进一步处理得 K_2CO_3 ，循环使用，据此分析：

【小问 1 详解】

Cr 为 24 号元素，基态铬原子的价层电子排布式： $3d^5 4s^1$ ；

【小问 2 详解】

煅烧工序中 $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ 与过量 KOH、空气中氧气反应生成 K_2CrO_4 、 Fe_2O_3 、 H_2O ，根据得失电子守恒，原子

守恒，化学方程式： $4\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + 7\text{O}_2 + 16\text{KOH} \xrightarrow{400 \sim 500^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{K}_2\text{CrO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 3 详解】

根据分析可知，滤渣 I 的主要成分： Fe_2O_3 、 H_2SiO_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 MgO ；

【小问 4 详解】

向 K_2CrO_4 中加水溶解，并通入过量 CO_2 酸化，将 K_2CrO_4 转化为 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ，加大压强，可以增大 CO_2 的溶解度，使液体中 CO_2 浓度增大，保证酸化反应充分进行：

【小问 5 详解】

根据分析可知，滤液 II 的主要溶质为 KHCO_3 ；

【小问 6 详解】

$\text{Fe}(\text{CO})_5$ 做还原剂，将滤液 I 中剩余的 K_2CrO_4 还原为 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ，自身转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，铁元素由 0 价升高到 +3 价，Cr 由 +6 价降低到 +3 价，根据得失电子守恒，原子守恒，化学方程式：

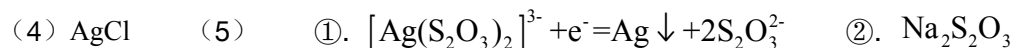


【小问 7 详解】

滤渣 II 含有 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 可返回煅烧工序。

3. (2024 安徽, 15)

【答案】(1) ①. 四 ②. I B



(6) 3: 4 (7) (a) 结构中电子云分布较均衡，结构较为稳定，(b) 结构中正负电荷中心不重合，极性较大，较不稳定，且存在过氧根，过氧根的氧化性大于 I_2 ，故 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 不能被 I_2 氧化成 (b) 结构

【解析】

【分析】精炼铜产生的铜阳极泥富含 Cu、Ag、Au 等元素，铜阳极泥加入硫酸、 H_2O_2 浸取，Cu 被转化为 Cu^{2+} 进入浸取液 1 中，Ag、Au 不反应，浸渣 1 中含有 Ag 和 Au；浸渣 1 中加入盐酸、 H_2O_2 浸取，Au 转化为 HAuCl_4 进入浸取液 2，Ag 转化为 AgCl ，浸渣 2 中含有 AgCl ；浸取液 2 中加入 N_2H_4 将 HAuCl_4 还原为 Au，同时 N_2H_4 被氧化为 N_2 ；浸渣 2 中加入 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ，将 AgCl 转化为 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ ，得到浸出液 3，利用电沉积法将 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 还原为 Ag。

【小问 1 详解】

Cu 的原子序数为 29，位于第四周期第 IB 族；

【小问 2 详解】

由分析可知，铜阳极泥加入硫酸、 H_2O_2 浸取，Cu 被转化为 Cu^{2+} 进入浸取液 1 中，故浸取液 1 中含有的金属离子主要是 Cu^{2+} ；

【小问 3 详解】

浸取 2 步骤中，Au 与盐酸、 H_2O_2 反应氧化还原反应，生成 HAuCl_4 和 H_2O ，根据得失电子守恒及质量守恒，可

得反应得化学方程式为： $2\text{Au}+8\text{HCl}+3\text{H}_2\text{O}_2=2\text{HAuCl}_4+6\text{H}_2\text{O}$ ；

【小问 4 详解】

根据分析可知，浸渣 2 中含有 AgCl ，与 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 反应转化为 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ ；

【小问 5 详解】

电沉积步骤中，阴极发生还原反应， $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 得电子被还原为 Ag ，电极反应式为：

$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} + \text{e}^- = \text{Ag} \downarrow + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ；阴极反应生成 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ，同时阴极区溶液中含有 Na^+ ，故电沉积步骤完成后，

阴极区溶液中可循环利用得物质为 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ；

【小问 6 详解】

还原步骤中， HAuCl_4 被还原为 Au ， Au 化合价由 +3 价变为 0 价，一个 HAuCl_4 转移 3 个电子， N_2H_4 被氧化为 N_2 ， N 的化合价由 -2 价变为 0 价，一个 N_2H_4 转移 4 个电子，根据得失电子守恒，被氧化的 N_2H_4 与产物 Au 的物质的量之比为 3: 4；

【小问 7 详解】

(a) 结构中电子云分布较均衡，结构较为稳定，(b) 结构中正负电荷中心不重合，极性较大，较不稳定，且存在过氧根，过氧根的氧化性大于 I_2 ，故 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 不能被 I_2 氧化成 (b) 结构。

4. (2025 福建, 11)

【答案】(1) ①. 2.0 ②. $3d^1$ ③. $2\text{MoO}_3 + 4\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \xrightarrow{100^\circ\text{C}} (\text{MoO})_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \uparrow$

(2) ①. 冷却结晶 ②. 草酸晶体

(3) 4 (4) ①. $4\text{MoO}(\text{OH})_3 + \text{O}_2 + 4\text{CaO} = 4\text{CaMoO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$ ②. HMT

(5) ab

【解析】

【分析】炭渣加入草酸浸取，钼和钒分别转化为 MoO^{3+} 和 VO^{2+} ， Mo 、 V 被还原为盐溶液，草酸被氧化为二氧化碳（气体 1），炭不反应、镍、钙转化为草酸镍沉淀、草酸钙沉淀，三者成为滤渣 1，过滤，滤液加入浓硫酸使得钼、钒的草酸盐转化为硫酸盐和草酸，较低温度时草酸溶解度较小得到草酸晶体成为滤渣 2，过滤得到含 VOSO_4 和 $(\text{MoO})_2(\text{SO}_4)_3$ 的滤液，“沉钼”过程中加入 HMT 得到沉淀为 $[\text{MoO}(\text{OH})_3]_4(\text{HMT-H})_2\text{SO}_4$ ，结合质量守恒，还生成 H_2SO_4 ，过滤，滤液 1 中含 H_2SO_4 和不反应的 VOSO_4 ，过滤后得到沉淀加入氧化钙、水、空气，碱浸转化过程中氧化钼元素得到 CaMoO_4 ；

【小问 1 详解】

①由图，最佳草酸浓度为 2.0，此时钼元素浸出率接近 100%，而钙、镍浸出率为 0；

② V 为 23 号元素， VO^{2+} 中钒为 +4 价， V 失去 4 个电子得到 +4 价钒，其价电子排布式为 $3d^1$ 。

③ MoO_3 和草酸发生氧化还原反应生成 $(\text{MoO})_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$, Mo 化合价由+6 变为+5、部分草酸中碳化合价由+3 变为+4 生成二氧化碳, 结合电子守恒, 化学方程式为 $2\text{MoO}_3 + 4\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \xrightarrow{100^\circ\text{C}} (\text{MoO})_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \uparrow$;

【小问 2 详解】

“酸转化”中加浓硫酸后, 转化生成 VOSO_4 和 $(\text{MoO})_2(\text{SO}_4)_3$ 及草酸, 此时温度升高, 根据表格, 低温有利于草酸析出, 则过滤前的操作为冷却结晶; 由分析, “滤渣 2”为草酸晶体;

【小问 3 详解】

结合 HMT 结构, HMT 中一个氮与氢离子形成配位键得到 $(\text{HMT-H})^+$, 可形成 $\text{N-H}\cdots\text{Y}$ 氢键 (作为氢键给体), 另有 3 个 N 原子, 均具有 1 对孤电子对, 可形成 $\text{N}\cdots\text{H-X}$ 氢键 (作为氢键受体), 故存在 4 个可形成氢键的位点;

【小问 4 详解】

$\text{MoO}(\text{OH})_3$ 被氧气氧化为 CaMoO_4 , 反应中钼化合价由+5 变为+6、氧气中氧化合价由 0 变为-2, 结合电子守恒, 反应为: $4\text{MoO}(\text{OH})_3 + \text{O}_2 + 4\text{CaO} = 4\text{CaMoO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$; $[\text{MoO}(\text{OH})_3]_4(\text{HMT-H})_2\text{SO}_4$ 在碱作用下

$(\text{HMT-H})^+$ 会转化生成 HMT, 则“滤液 2”中可循环利用的物质为 HMT;

【小问 5 详解】

- 由分析, “气体 1”为二氧化碳, 错误;
- “滤渣 1”主要含炭、 NiC_2O_4 和 CaC_2O_4 , 错误;
- 酸转化中通过冷却结晶所得滤液为草酸的饱和溶液, 则“滤液 1”含草酸, 正确;
- 硫酸钙微溶于水, 则碱浸转化得到 CaMoO_4 粗产品含 CaSO_4 , 正确;

故选 ab。

5. (2021·全国乙卷)

【答案】 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 + 6\text{NH}_3 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O} \uparrow$ Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 1.0×10^{-6}

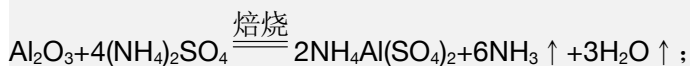
硫酸 SiO_2 CaSO_4 $\text{TiO}^{2+} + (\text{x}+1)\text{H}_2\text{O} \triangleq \text{TiO}_2 \cdot \text{xH}_2\text{O} \downarrow + 2\text{H}^+$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

【分析】由题给流程可知, 高钛炉渣与硫酸铵混合后焙烧时, 二氧化钛和二氧化硅不反应, 氧化铝、氧化镁、氧化钙、氧化铁转化为相应的硫酸盐, 尾气为氨气; 将焙烧后物质加入热水水浸, 二氧化钛、二氧化硅不溶于水, 微溶的硫酸钙部分溶于水, 硫酸铁、硫酸镁和硫酸铝铵溶于水, 过滤得到含有二氧化钛、二氧化硅、硫酸钙的水浸渣和含有硫酸铁、硫酸镁、硫酸铝铵和硫酸钙的滤液; 向 pH 约为 2.0 的滤液中加入氨水至 11.6, 溶液中铁离子、铝离子和镁离子依次沉淀, 过滤得到含有硫酸铵、硫酸钙的母液①和氢氧化物沉淀; 向水浸渣中加入浓硫酸加热到 160°C 酸溶, 二氧化硅和硫酸钙与浓硫酸不反应, 二氧化钛与稀硫酸反应得到 TiOSO_4 , 过滤得到含有二氧化硅、硫酸钙的酸溶渣和 TiOSO_4 溶液; 将 TiOSO_4 溶液加入热水稀释并适当加热, 使 TiOSO_4 完全水解生成

TiO₂·x H₂O 沉淀和硫酸，过滤得到含有硫酸的母液②和 TiO₂·x H₂O。

【详解】(1)氧化铝转化为硫酸铝铵发生的反应为氧化铝、硫酸铵在高温条件下反应生成硫酸铝铵、氨气和水，反

应的化学方程式为 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} 2\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 + 6\text{NH}_3 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O} \uparrow$ ，故答案为：



(2)由题给开始沉淀和完全沉淀的 pH 可知，将 pH 约为 2.0 的滤液加入氨水调节溶液 pH 为 11.6 时，铁离子首先沉淀、然后是铝离子、镁离子，钙离子没有沉淀，故答案为：Fe³⁺、Al³⁺、Mg²⁺；

(3)由镁离子完全沉淀时，溶液 pH 为 11.1 可知，氢氧化镁的溶度积为 $1 \times 10^{-5} \times (1 \times 10^{-2.9})^2 = 1 \times 10^{-10.8}$ ，当溶液 pH 为 11.6 时，溶液中镁离子的浓度为 $\frac{1 \times 10^{-10.8}}{(1 \times 10^{-2.4})^2} = 1 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ ，故答案为：1 × 10⁻⁶；

(4)增大溶液中硫酸根离子浓度，有利于使微溶的硫酸钙转化为沉淀，为了使微溶的硫酸钙完全沉淀，减少 TiOSO₄ 溶液中含有硫酸钙的量，应加入浓硫酸加热到 160°C 酸溶；由分析可知，二氧化硅和硫酸钙与浓硫酸不反应，则酸溶渣的主要成分为二氧化硅和硫酸钙，故答案为：硫酸；SiO₂、CaSO₄；

(5)酸溶后将 TiOSO₄ 溶液加入热水稀释并适当加热，能使 TiOSO₄ 完全水解生成 TiO₂·x H₂O 沉淀和硫酸，反应的离子方程式为 $\text{TiO}^{2+} + (x+1) \text{H}_2\text{O} \triangleq \text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ ，故答案为：TiO²⁺ + (x+1)H₂O \triangleq TiO₂·xH₂O + 2H⁺；

(6)由分析可知，尾气为氨气，母液①为硫酸铵、母液②为硫酸，将母液①和母液②混合后吸收氨气得到硫酸铵溶液，可以循环使用，故答案为：(NH₄)₂SO₄。

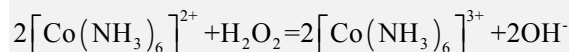
6. (2026·达州二模)

【答案】(1)

↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
3d				

(2) B SiO₂

(3) 10^{-9.2} 增大反应物 NH₃·H₂O 的浓度，NH₄⁺ 消耗反应生成的 OH⁻，均有利于 Co(OH)₂ 溶解

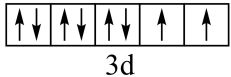


(4) 冷却结晶 加压酸浸

(5) C

【分析】红土矿石（主要含铁、铝、镁的化合物及 NiO、CoO、SiO₂ 等），磨细后浓硝酸加热加压酸浸，SiO₂ 不溶，滤渣 1 主要成分为 SiO₂；得到含 Fe³⁺、Al³⁺、Mg²⁺、Ni²⁺、Co²⁺ 的浸出液，加 MgO 调节 pH，依次得到滤渣 2 氢氧化铁沉淀、滤渣 3 氢氧化铝沉淀和氢氧化钴沉淀、氢氧化镍沉淀，最后得到含硝酸镁的浸出液，氢氧化钴沉淀、氢氧化镍沉淀氧化氨浸分离出含 [Co(NH₃)₆]³⁺ 的溶液和 Ni(OH)₂ 沉淀。

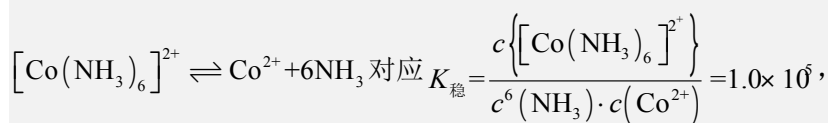
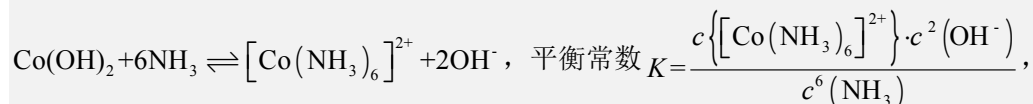
【详解】(1)

基态 Ni^{2+} 的价电子排布式为 $3d^8$ ，基态 Ni^{2+} 的价电子排布图为  ；

(2) “加压酸浸”时各元素的浸出率受到硝酸初始浓度、保温时间、浸出温度、液固比等因素的影响，图 1、2 所示为浸出温度和液固比对金属离子的浸出率的影响，浸出温度、液固比应选择铁的浸出率低，而其他金属浸出率高的温度，读图 1 可知浸出温度应选择 190°C ，读图 2 可知液固比应选择 $1.6\sim 1.7\text{ mL/g}$ ，故应选择 B 答案；

矿石经硝酸加压酸浸后仅 SiO_2 不溶，所得滤渣 1 的主要成分是 SiO_2 ；

(3) “氧化氨浸”时加入浓氨水与铵盐组成的缓冲溶液使 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 溶解为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ，溶解转化反应为



$K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2] = c(\text{Co}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-) = 10^{-14.2}$ ，则溶解转化反应的平衡常数

$K = K_{\text{稳}} \times K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2] = 1.0 \times 10^5 \times 10^{-14.2} = 10^{-9.2}$ 加入浓氨水与铵盐组成的缓冲溶液，增大反应物 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的浓度，

NH_4^+ 消耗反应生成的 OH^- ，均有利于 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 的溶解；根据已知信息 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 易被氧化为 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ，

所以加入 H_2O_2 后反应的离子方程式为： $2[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 = 2[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + 2\text{OH}^-$ ；

(4) 从浸出液中获得 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体的一系列操作为“蒸发浓缩、冷却结晶，过滤，洗涤，干燥”；所得 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体经高温分解能得到 NO_2 ，再与 O_2 和 H_2O 作用后生成 HNO_3 ，可返回到“加压酸浸”工序循环利用；

(5) 已知 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 为正八面体形结构（如图 3），配合物中心离子 Co^{3+} 的配位数为 6， Co^{3+} 的价层电子对数为 6，则杂化方式不可能为 sp^2 、 sp^3 、 dsp^3 杂化，所以中心离子 Co^{3+} 的杂化方式为 d^2sp^3 ，故选 C。

7. (2026 济南一模)



(2) ①. 3.2 ②. 保证 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 纯净，进而循环利用

(3) ①. $\text{CoS} + \text{Cu}^{2+} = \text{CuS} + \text{Co}^{2+}$ ②. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$

(4) 焙烧 I

【解析】

【分析】蛇纹石废渣中加入硫酸铵进行“焙烧 I”，金属氧化物均转化为硫酸盐，并产生混合气，含氨气、氮气等，用稀硫酸对氨气进行吸收；加入热水对渣滓进行“水浸”，过滤得到滤渣 I（含 SiO_2 、不溶于水的 PbSO_4 ）和滤液；滤液中加入氨水进行“中和”得到滤渣 II $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、在焙烧 II 中可进行循环使用；将得到的滤液中加入 CoS 进行“除铜”得到滤渣 III CuS 和滤液；滤液中加入草酸铵进行“沉钴”处理，过滤得到滤液和滤渣，滤渣在氧气和氢氧化铁的作用下进行“焙烧 II”最终得到铁酸钴（ CoFe_2O_4 ）

【小问 1 详解】

“焙烧 I”在硫酸铵作用下 Co_2O_3 转化为 CoSO_4 ，钴元素被硫酸铵还原，氮元素被氧化为氮气，根据得失电子守

恒、元素守恒可得化学方程式为： $3\text{Co}_2\text{O}_3 + 6(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{焙烧}} 6\text{CoSO}_4 + \text{N}_2 \uparrow + 10\text{NH}_3 \uparrow + 9\text{H}_2\text{O}$ ；由分析

可知，滤渣 I 主要成分除 SiO_2 外还含有 PbSO_4 ；

【小问 2 详解】

由分析可知，“中和”得到 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀， $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 恰好完全沉淀时，

$$c(\text{OH}^-) = \sqrt[3]{\frac{K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3]}{c(\text{Fe}^{3+})}} \text{mol/L} = \sqrt[3]{\frac{1 \times 10^{-37.4}}{10^{-5}}} \text{mol/L} = 10^{-10.8} \text{mol/L},$$

$$c(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c(\text{OH}^-)} = \frac{10^{-14}}{10^{-10.8}} \text{mol/L} = 10^{-3.2} \text{mol/L}, \quad \text{pH} = -\lg c(\text{H}^+) = -\lg 10^{-3.2} = 3.2, \quad \text{因此该过程中需调}$$

节 pH 的理论最小值为 3.2；从原子经济的角度考虑，“中和”与“除铜”需分步产生沉淀，保证 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 纯净，进而循环利用

【小问 3 详解】

由分析可知，除铜时加入硫化钴得到硫化铜沉淀，反应的离子方程式为： $\text{CoS} + \text{Cu}^{2+} = \text{CuS} + \text{Co}^{2+}$ ，若将 CoS

改用 H_2S ，反应会释放氢离子，使酸性增强，因此为了维持溶液的酸碱性、保证沉钴效果，需要增加 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 的用量；

【小问 4 详解】

“沉钴”所得滤液中含有 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、氨水等，将其并入“吸收”液中，经处理后得到 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，导入“焙烧 I”循环利用。

8. (2026·成都模拟)

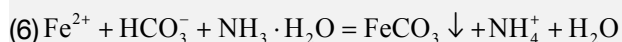
【答案】(1)VIII



(3) 将 Te(IV) 氧化为 Te(VI)，避免 Te 元素进入有机相

(4) Ni^{2+} 、 Na^+ 、 Cu^{2+}

(5) A 无色



(7) 有机溶剂 MIBK

【分析】酸浸（加入稀硫酸）时黄钠铁矾和硫酸反应生成可溶性硫酸盐，杂质中 BaSO_4 、 PbSO_4 难溶于酸，因此滤渣主要成分为 BaSO_4 、 PbSO_4 ； Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Na^+ 、 TeO_3^{2-} 进入浸出液；调 pH（加入 H_2O_2 、盐酸、 NaCl ）根据已知信息：MIBK 能萃取 Te(IV)，不能萃取 Te(VI)，我们需要让 Te 杂质留在水相除去，因此 H_2O_2 的作用是将 Te(IV) 氧化为 Te(VI)，避免 Te 被萃取进入有机相，实现 Te 杂质分离；同时可能存在氧化 Fe^{2+} 为 Fe^{3+} ，利于后续萃取；加入盐酸和 NaCl 是为了提供萃取反应需要的 H^+ 、 Cl^- ，促进 Fe^{3+} 转化为 HFeCl_4 ，利于后续萃取。萃取（加入有机溶剂 MIBK）后， HFeCl_4 （含铁组分）进入有机相，Te(VI)、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Na^+ 这些不被萃取的杂质阳离子留在水相，分液除去水相，实现铁和杂质的分离；反萃取（加入反萃取剂 X）要让铁重新进入水相；还原加入铁粉，铁粉将反萃取得到的 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ；沉铁（加入氨水、 NaHCO_3 ）时， Fe^{2+} 和碳酸氢钠反应生成 FeCO_3 沉淀； FeCO_3 在空气中煅烧氧化分解，最终得到目标产物 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 。

【详解】(1) 镍元素位于元素周期表第四周期、第 VIII 族；

(2) 根据题中信息， $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ 生成相应硫酸盐的化学方程式为：

$2\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 12\text{H}_2\text{O}$ ，黄钠铁矾渣中 BaSO_4 、 PbSO_4 难溶于水，故“滤渣”的主要成分是 BaSO_4 、 PbSO_4 ；

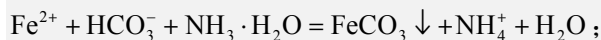
(3) 根据题中信息，在盐酸介质中，有机溶剂 MIBK 能同时萃取 Fe(III) 和 Te(IV)，不能萃取 Te(VI)，而黄钠铁矾渣中 Na_2TeO_3 为 Te(IV)，故 H_2O_2 的作用是将 Te(IV) 氧化为 Te(VI)，避免 Te 元素进入有机相；

(4) 有机溶剂 MIBK 萃取出 Fe(III)，黄钠铁矾渣中 Na、Ni、Cu 元素及“调 pH”时加入的 Na 元素进入“水相”，故“水相”中含有的金属阳离子有 Ni^{2+} 、 Na^+ 、 Cu^{2+} ；

(5) 根据 MIBK 萃取 Fe^{3+} 的原理 $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 4\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{HFeCl}_4(\text{aq})$ (黄色) $\xrightleftharpoons{\text{MIBK}} \text{HFeCl}_4$ (有机相，红棕色)，需要使平衡左移：浓盐酸会提高 H^+ 、 Cl^- 浓度，平衡右移，不利于反萃取； NaOH 会使铁沉淀，引入杂

质；蒸馏水稀释可以降低 H^+ 、 Cl^- 浓度，使平衡左移，因此最佳反萃取剂选蒸馏水；故选 A；有机相中 $HFeCl_4$ 为红棕色，MIBK 本身为无色，因此多次反萃取后，若有机相变为无色，证明反萃取基本完成；

(6) “还原”产生的 Fe^{2+} 与氨水、 $NaHCO_3$ 溶液生成 $FeCO_3$ ，故“沉铁”的离子方程式为



(7) 反萃取后， $HFeCl_4$ 回到水相，有机相的 MIBK 可返回“萃取”步骤循环利用。

9. (2026·汕头·一模)

【答案】(1) SiO_2



(3) 调节溶液的 pH，使溶液中的 Fe^{2+} 被空气氧化为 Fe^{3+} 后，水解生成 $Fe(OH)_3$ 沉淀，从而除去铁元素

(4) 4 sp^2 AC

(5) H_2SO_4

(6) $CuAlS_2$ $\frac{6.2 \times 10^{32}}{\rho V}$

【分析】深海富钴结壳主要含 MnO_2 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 Co_2O_3 、 NiO 、 CuO ，破碎、磨矿、加 SO_2 和硫酸溶液浸出， SiO_2 不溶，为浸渣主要成分，滤液通入空气，加碳酸钠调 pH 除铁(Fe^{2+} 被空气氧化，碳酸钠加入后提供碱性环境)，铁元素转化为 $Fe(OH)_3$ 沉淀，滤液中加入 LIX84-I 萃取，有机相： CuR_2 ，加硫酸反萃取得到硫酸铜溶液，再经电解得到 Cu；水相： Mn^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} ，加入硫化钠生成硫化沉淀，加硫酸加压浸取得到 $MnSO_4$ 溶液，加入有机溶剂萃取分离镍钴，焙解 $MnSO_4$ 溶液得到 Mn_3O_4 。

【详解】(1) 根据分析，“浸渣”主要为 SiO_2 ；

(2) “活化浸出”滤液中含有 Co^{2+} ， Co_2O_3 被 SO_2 还原为 Co^{2+} ， SO_2 被氧化为 SO_4^{2-} ，化学方程式为：



(3) Fe^{3+} 碱性条件下转化为 $Fe(OH)_3$ 沉淀，“除铁”加入 Na_2CO_3 的主要目的为调节溶液的 pH，使溶液中的 Fe^{2+} 被空气氧化为 Fe^{3+} 后，水解生成 $Fe(OH)_3$ 沉淀，从而除去铁元素。

(4) ①配合物中 Cu^{2+} 为中心离子，从结构可知，它与配体 (LIX84-I) 之间通过 4 个配位键结合 (2 个 O 原子配位、2 个 N 原子配位)，因此 1 mol 该配合物的配位键数目为 $4N_A$ ；图中每个 N 原子形一个 π 键和 3 个 σ 键，为 sp^2 杂化；

②A. LIX84-I 能取代中的配体，说明 Cu^{2+} 与 R 形成的配合物更稳定，A 正确；

B. 氢键是分子间作用力，并非化学键，“萃氨”是氢键作用导致 NH_3 溶解，不会消耗萃取剂 HR，也不会破坏

其结构，B 错误；

C. “萃氨”会占用部分萃取剂分子，使其无法与 Cu^{2+} 配位，降低了 HR 的有效浓度，使其与的配位能力减弱，导致铜萃取率下降，表述无误，C 正确；

D. 浓硫酸具有强氧化性和脱水性，会破坏萃取剂结构，同时浓硫酸与 NH_3 反应生成的盐会进入有机相，引入新杂质，无法“彻底消除氢键”，D 错误；

故选 AC；

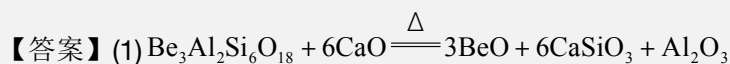
(5) 除了萃取剂外能够循环利用的物质为 H_2SO_4 ，电解得到的硫酸铜溶液经电解生成铜和硫酸，生成的硫酸可循环用于“活化浸出”或“反萃取”环节。

(6) ①均摊法计算各原子数目，Cu(位于顶点、面上、体内)： $8 \times \frac{1}{8} + 4 \times \frac{1}{2} + 1 = 4$ ，Al(位于棱上、面上)： $4 \times \frac{1}{4} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ ，

S 全部位于晶胞内部，一共 8 个，该化合物的化学式为 CuAlS_2 ；

$$\textcircled{2} \rho = \frac{m}{V} = \frac{NM}{VN_A}, \text{ 则 } N_A = \frac{NM}{\rho V} = \frac{4 \times (64 + 27 + 2 \times 32)}{\rho V \times 10^{-30}} = \frac{6.2 \times 10^{32}}{\rho V} \text{ mol}^{-1}。$$

10. (2026·开封二模)



(2) CaSO_4

(3) $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ Fe^{3+} 可以催化 H_2O_2 分解

(4) $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Be}(\text{OH})_2$ 可溶于强碱，弱碱可避免 $\text{Be}(\text{OH})_2$ 溶解

(5) 10 转化

【分析】高铍矿石和方解石在熔炼过程中， $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ 与方解石分解产物 CaO 反应，生成 BeO 、 CaSiO_3 和 Al_2O_3 ；高铍矿石还含有一定量的 FeO 和 Fe_2O_3 ，则酸浸时生成 Be^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 和 Fe^{3+} ，同时得到的滤渣 1 中含有 SiO_2 及难溶性硅酸盐和 CaSO_4 ；加入硫酸铵把铝元素转化为铝铵矾，加入 H_2O_2 将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ，通过调 pH 使 Fe^{3+} 转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀而除去；最后使用弱碱沉铍，使 Be^{2+} 转化为 $\text{Be}(\text{OH})_2$ ，得到的滤液硫酸铵可以循环利用，最后煅烧得到 BeO 。

【详解】(1) 方解石主要成分是 CaCO_3 ，则分解产物为二氧化碳和 CaO ，熔炼过程中 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ 与 CaO 反应，生成 BeO 、 CaSiO_3 和 Al_2O_3 ，则化学方程式为 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18} + 6\text{CaO} \xrightarrow{\Delta} 3\text{BeO} + 6\text{CaSiO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 。

(2) 酸浸时加入稀硫酸，则滤渣 1 中除含 SiO_2 及难溶性硅酸盐外，还含有 CaSO_4 。

(3) 氧化过程中加入 H_2O_2 将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ，则离子方程式为 $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ ； H_2O_2 不稳

定， Fe^{3+} 催化作用下易分解，则工业上 H_2O_2 的实际消耗量多于理论用量。

(4) $\text{Be}(\text{OH})_2$ 与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 性质相似，能在强酸、强碱中溶解，试剂 X 应选择弱碱 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，选用弱碱可避免 $\text{Be}(\text{OH})_2$ 溶解。

(5) 25°C 时， $\text{Be}(\text{OH})_2$ 的 $K_{\text{sp}} = 1.6 \times 10^{-22}$ ，pH 为 8.0 时，铍离子的浓度为

$$c(\text{Be}^{2+}) = \frac{1.6 \times 10^{-22}}{(10^{-6})^2} \text{ mol/L} = 1.6 \times 10^{-10} \text{ mol/L} , \text{ pH 为 } 8.5 \text{ 时}, c(\text{Be}^{2+}) = \frac{1.6 \times 10^{-22}}{(10^{-5.5})^2} \text{ mol/L} = 1.6 \times 10^{-11} \text{ mol/L} , \text{ 因此}$$

沉铍时将 pH 从 8.0 提高到 8.5，则铍的损失降低至原来的 10%；若将“沉铍”后的滤液为硫酸铵，经处理后循环利用，可返回流程中转化工序。