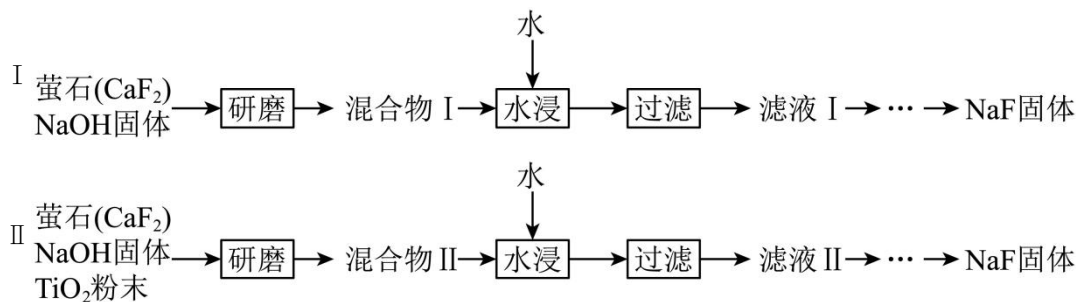


【每日考点 021】 K_{sp} 计算

第一类：单沉淀（浓度控制）

1. (2025·湖北卷)氟化钠是一种用途广泛的氟化试剂，通过以下两种工艺制备：



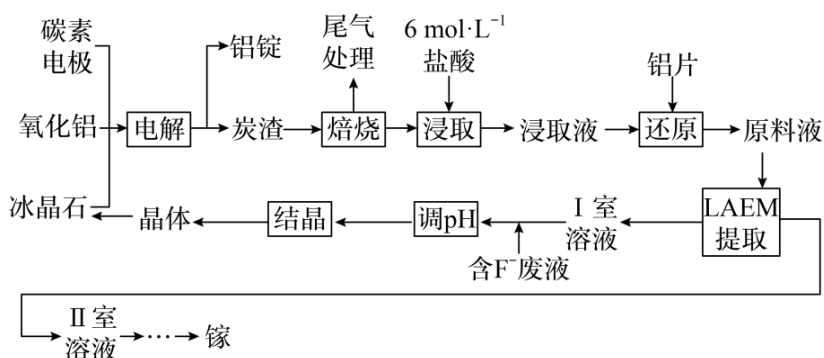
已知：室温下， TiO_2 是难溶酸性氧化物， CaTiO_3 的溶解度极低。

20°C 时， NaF 的溶解度为 $4.06\text{g}/100\text{g}$ 水，温度对其溶解度影响不大。

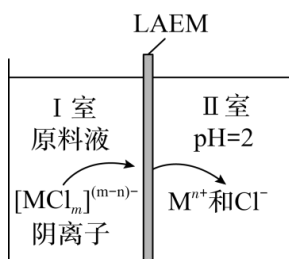
.....

(2) 20°C 时， CaF_2 饱和溶液的浓度为 $c\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，用 c 表示 CaF_2 的溶度积 $K_{sp} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

2. (2024·广东卷)镓(Ga)在半导体、记忆合金等高精尖材料领域有重要应用。一种从电解铝的副产品炭渣(含 C 、 Na 、 Al 、 F 和少量的 Ga 、 Fe 、 K 、 Ca 等元素)中提取镓及循环利用铝的工艺如下。



工艺中，LAEM是一种新型阴离子交换膜，允许带负电荷的配离子从高浓度区扩散至低浓度区。用LAEM提取金属离子 M^{n+} 的原理如图。已知：



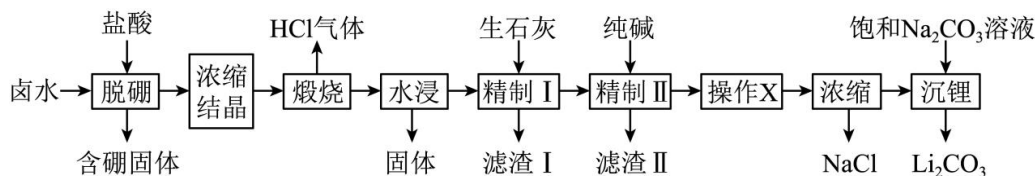
① $\text{p}K_a(\text{HF})=3.2$ 。

② $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ (冰晶石)的 K_{sp} 为 4.0×10^{-10} 。

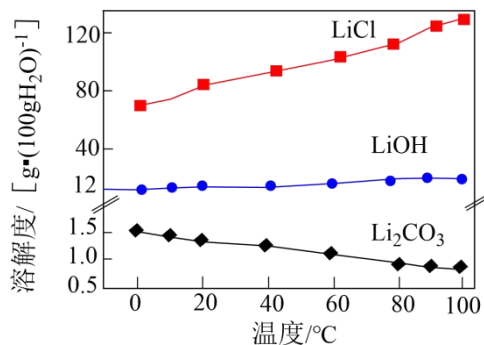
③浸取液中， Ga(III) 和 Fe(III) 以 $[\text{MCl}_m]^{(m-3)-}$ ($m=0\sim 4$)微粒形式存在， Fe^{2+} 最多可与2个 Cl^- 配位，其他金属离子与 Cl^- 的配位可忽略。

.....若“结晶”后溶液中 $c(\text{Na}^+)=0.10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，则 $[\text{AlF}_6]^{3-}$ 浓度为 $\underline{\hspace{2cm}}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

3. (2023·山东卷)盐湖卤水(主要含 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Li^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和硼酸根等)是锂盐的重要来源。一种以高镁卤水为原料经两段除镁制备 Li_2CO_3 的工艺流程如下:

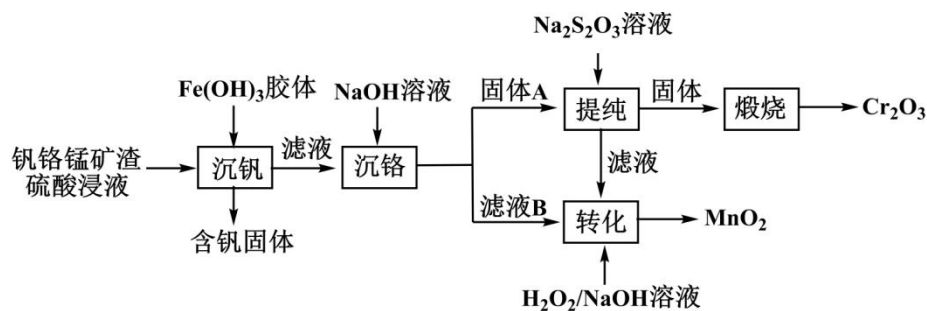


已知: 常温下, $K_{sp}(\text{Li}_2\text{CO}_3)=2.2\times 10^{-2}$ 。相关化合物的溶解度与温度的关系如图所示。



……精制 I 后溶液中 Li^+ 的浓度为 $2.0\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 则常温下精制 II 过程中 CO_3^{2-} 浓度应控制在_____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下。

4. (2021·辽宁卷)从钒铬锰矿渣(主要成分为 V_2O_5 、 Cr_2O_3 、 MnO)中提铬的一种工艺流程如下:



已知: pH 较大时, 二价锰 $[\text{Mn(II)}]$ (在空气中易被氧化.回答下列问题:

(4)某温度下, Cr(III) 、 Mn(II) 的沉淀率与 pH 关系如图 2。“沉铬”过程最佳 pH 为_____; 在该条件下滤液 B 中 $c(\text{Cr}^{3+})=$ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 【 K_w 近似为 1×10^{-14} , Cr(OH)_3 的 K_{sp} 近似为 1×10^{-30} 】。

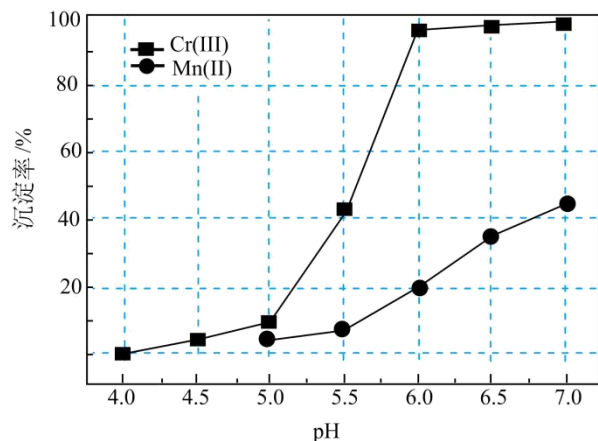
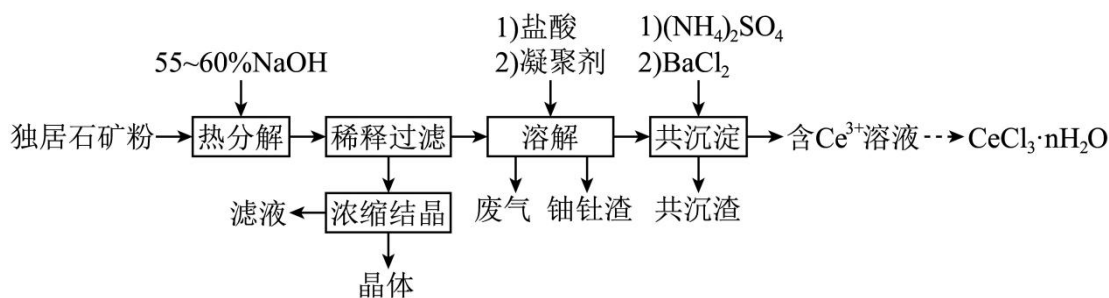


图2

第二类：单沉淀（pH 控制）

1. (2024·江西卷)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 . $K_{sp}[\text{Th}(\text{OH})_4]=4.0 \times 10^{-45}$, $K_{sp}[\text{Ce}(\text{OH})_3]=1.6 \times 10^{-20}$, $K_{sp}[\text{Ce}(\text{OH})_4]=2.0 \times 10^{-48}$

ii . 镭为第 II A 族元素

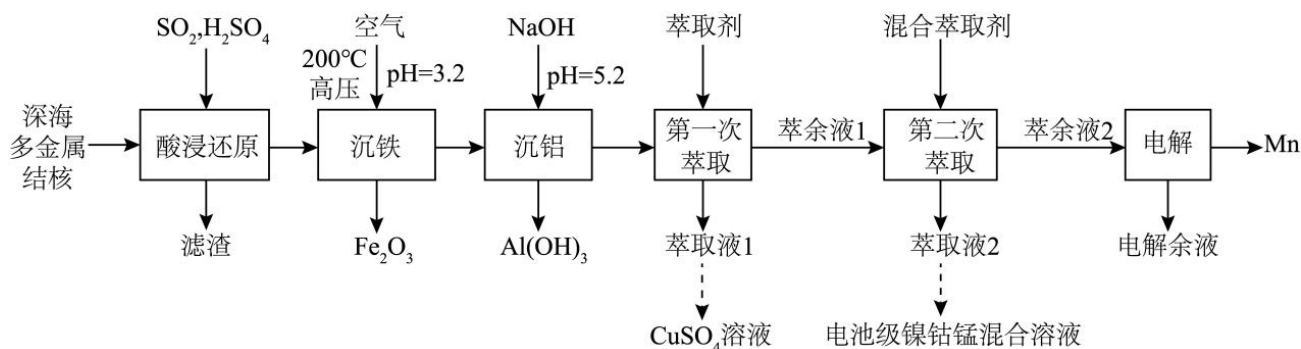
.....

(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.....

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

2. (2025·湖南卷)一种从深海多金属结核[主要含 MnO_2 、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 SiO_2 ，有少量的 Co_2O_3 、 Al_2O_3 、 NiO 、 CuO]中分离获得金属资源和电池级镍钴锰混合溶液(NiSO_4 、 CoSO_4 、 MnSO_4)的工艺流程如下：



已知：①金属氢氧化物胶体具有吸附性，可吸附金属阳离子。

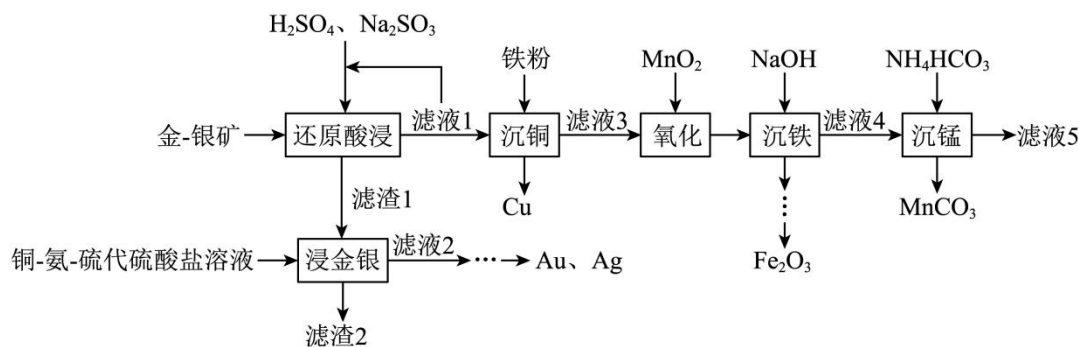
②常温下，溶液中金属离子(假定浓度均为 $0.1 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)开始沉淀和完全沉淀($c \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)的 pH：

	Fe^{3+}	Al^{3+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Co^{2+}	Mn^{2+}
开始沉淀的 pH	1.9	3.3	4.7	6.9	7.4	8.1
完全沉淀的 pH	3.2	4.6	6.7	8.9	9.4	10.1

.....

(4)“沉铝”时，未产生 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉淀，该溶液中 $c(\text{Cu}^{2+})$ 不超过 $\underline{\hspace{2cm}} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

3. (2025·云南卷)从褐铁矿型金-银矿(含 Au、Ag、Fe₂O₃、MnO₂、CuO、SiO₂等)中提取 Au、Ag, 并回收其它有价金属的一种工艺如下:



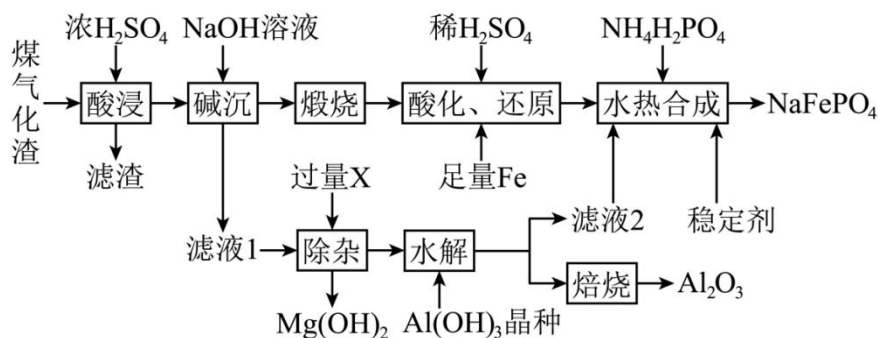
已知: ①金-银矿中 Cu、Mn 元素的含量分别为 0.19%、2.35%。

②25℃时, Mn(OH)₂ 的 K_{sp} 为 1.9×10⁻¹³。

.....

(6)25℃“沉铁”后, 调节“滤液 4”的 pH 至 8.0, 无 Mn(OH)₂ 析出, 则 c(Mn²⁺) ≤ _____ mol·L⁻¹。

4. (2024·贵州卷)煤气化渣属于大宗固废, 主要成分为 Fe₂O₃、Al₂O₃、SiO₂ 及少量 MgO 等。一种利用“酸浸—碱沉—充钠”工艺, 制备钠基正极材料 NaFePO₄ 和回收 Al₂O₃ 的流程如下:



已知:

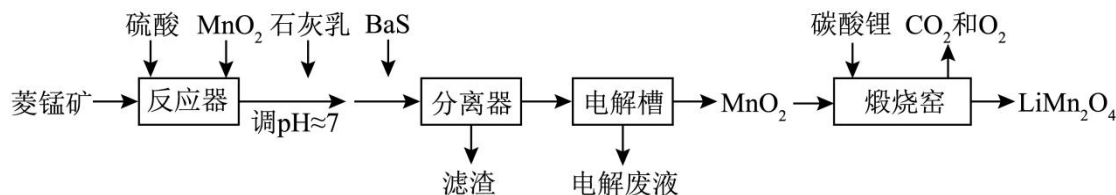
①25℃时, K_{sp}[Fe(OH)₃] = 2.8×10⁻³⁹, K_{sp}[Al(OH)₃] = 1.3×10⁻³³, K_{sp}[Mg(OH)₂] = 5.6×10⁻¹²;

② 2Na[Al(OH)₄](aq) $\xrightleftharpoons[\text{Al(OH)}_3\text{晶种}]{\text{加热溶出}}$ Al₂O₃·3H₂O(s) + 2NaOH(aq)。

.....

(2)25℃时, “碱沉”控制溶液 pH 至 3.0, 此时溶液中 c(Fe³⁺) = _____ mol·L⁻¹。

5. (2023·全国乙卷)LiMn₂O₄ 作为一种新型锂电池正极材料受到广泛关注。由菱锰矿(MnCO₃, 含有少量 Si、Fe、Ni、Al 等元素)制备 LiMn₂O₄ 的流程如下:

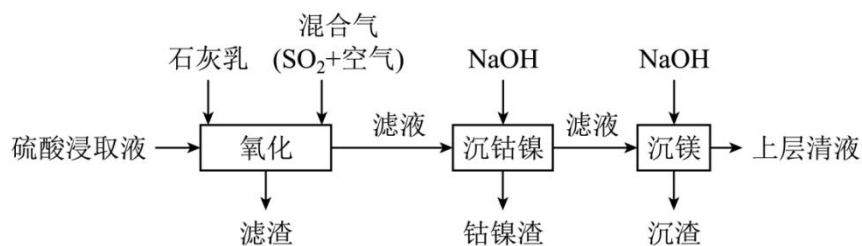


已知: K_{sp}[Fe(OH)₃] = 2.8×10⁻³⁹, K_{sp}[Al(OH)₃] = 1.3×10⁻³³, K_{sp}[Ni(OH)₂] = 5.5×10⁻¹⁶。

.....

(3)溶矿反应完成后, 反应器中溶液 pH=4, 此时 c(Fe³⁺) = _____ mol·L⁻¹。

6. (2023·辽宁卷)某工厂采用如下工艺处理镍钴矿硫酸浸取液(含 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 和 Mn^{2+})。实现镍、钴、镁元素的回收。



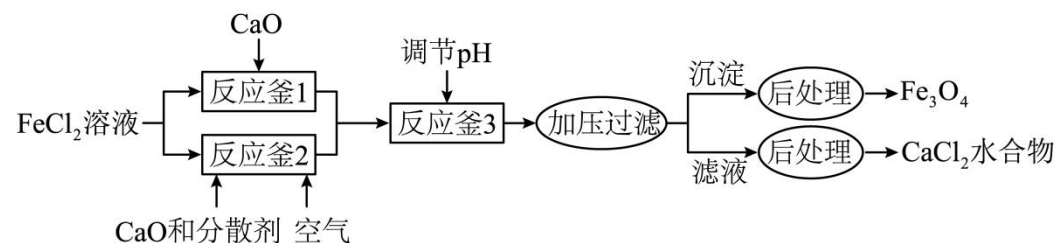
已知:

物质	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Co}(\text{OH})_2$	$\text{Ni}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
K_{sp}	$10^{-37.4}$	$10^{-14.7}$	$10^{-14.7}$	$10^{-10.8}$

.....

(6)“沉镁”中为使 Mg^{2+} 沉淀完全(25°C), 需控制 pH 不低于_____ (精确至 0.1)。

7. (2023·重庆卷) Fe_3O_4 是一种用途广泛的磁性材料, 以 FeCl_2 为原料制备 Fe_3O_4 并获得副产物 CaCl_2 水合物的工艺如下。



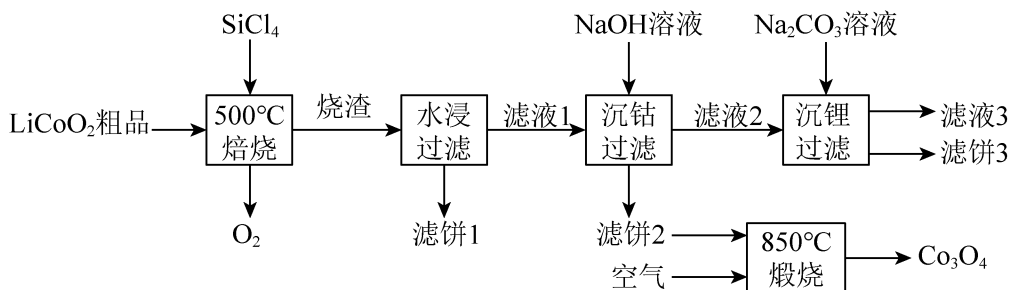
25°C时各物质溶度积见下表:

物质	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
溶度积(K_{sp})	4.9×10^{-17}	2.8×10^{-39}	5.0×10^{-6}

.....

反应釜 3 中, 25°C时, Ca^{2+} 浓度为 5.0mol/L, 理论上 pH 不超过_____。

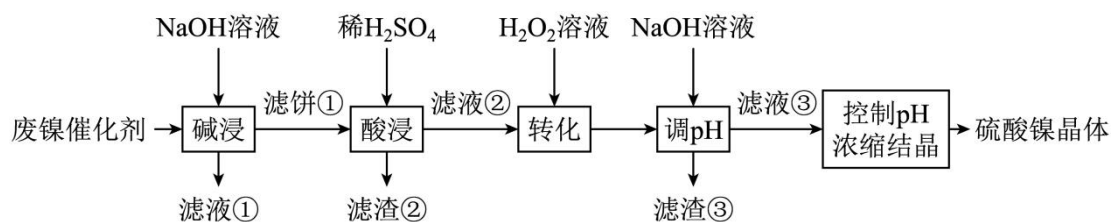
8. (2023·湖北卷) SiCl_4 是生产多晶硅的副产物。利用 SiCl_4 对废弃的锂电池正极材料 LiCoO_2 进行氯化处理以回收 Li、Co 等金属, 工艺路线如下:



.....

(4)已知 $K_{\text{sp}}[\text{Co}(\text{OH})_2]=5.9 \times 10^{-15}$, 若“沉钴过滤”的 pH 控制为 10.0, 则溶液中 Co^{2+} 浓度为_____ mol·L⁻¹。

9. (2020·全国 III 卷)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(NiSO₄·7H₂O):



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

.....

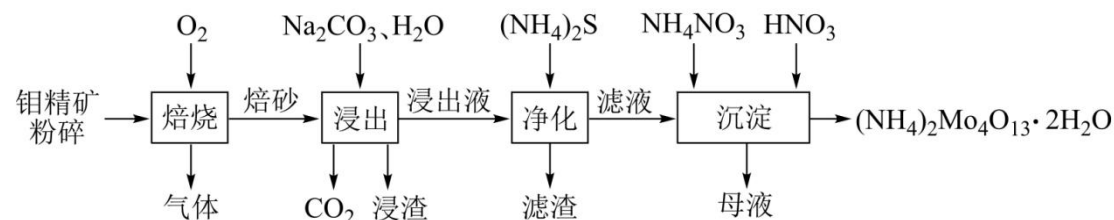
(4)利用上述表格数据, 计算 Ni(OH)₂ 的 $K_{sp}=\underline{\hspace{2cm}}$ (列出计算式)。如果“转化”后的溶液中 Ni²⁺浓度为 1.0 mol·L⁻¹, 则“调 pH”应控制的 pH 范围是_____。

10. (2015·江苏卷)软锰矿(主要成分 MnO₂, 杂质金属元素 Fe、Al、Mg 等)的水悬浊液与烟气中 SO₂ 反应可制备 MnSO₄·H₂O, 反应的化学方程式为: MnO₂+SO₂=MnSO₄

.....

(2)已知: $K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3]=1\times 10^{-33}$, $K_{sp}[\text{Fe}(\text{OH})_3]=3\times 10^{-39}$, pH=7.1 时 Mn(OH)₂ 开始沉淀。室温下, 除去 MnSO₄ 溶液中的 Fe³⁺、Al³⁺(使其浓度小于 $1\times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$), 需调节溶液 pH 范围为_____。

11. (2021·福建卷)四钼酸铵是钼深加工的重要中间产品具有广泛的用途。一种以钼精矿(主要含 MoS₂, 还有 Cu、Fe 的化合物及 SiO₂ 等)为原料制备四钼酸铵的工艺流程如下图所示。

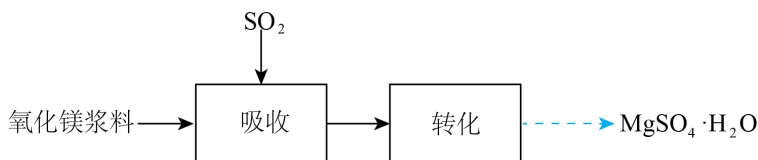


.....

(3)“净化”时, 浸出液中残留的 Cu²⁺、Fe²⁺ 转化为沉淀除去。研究表明, 该溶液中 $c(\text{S}^{2-})$ 和 pH 的关系为: $\lg c(\text{S}^{2-})=\text{pH}-15.1$ 。为了使溶液中的杂质离子浓度小于 $1.0\times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 应控制溶液的 pH 不小于_____。(已知: $\text{p}K_{sp}=-\lg K_{sp}$; CuS 和 FeS 的 $\text{p}K_{sp}$ 分别为 35.2 和 17.2)

第三类：单沉淀 (K_{sp} 与 $K_a/K_b/K_h/K_w/\dots$)

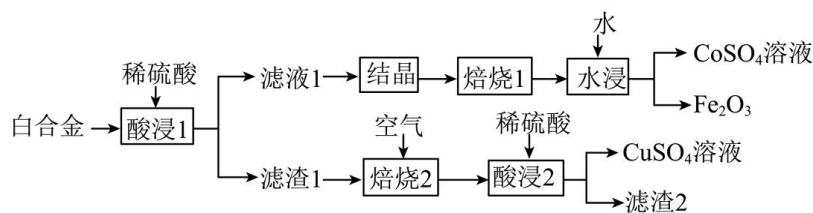
1. (2023·江苏卷)实验室模拟“镁法工业烟气脱硫”并制备 $MgSO_4 \cdot H_2O$ ，其实验过程可表示为



(1)在搅拌下向氧化镁浆料中匀速缓慢通入 SO_2 气体，生成 $MgSO_3$ ，反应为 $Mg(OH)_2 + H_2SO_3 = MgSO_3 + 2H_2O$ ，其平衡常数 K 与 $K_{sp}[Mg(OH)_2]$ 、 $K_{sp}(MgSO_3)$ 、 $K_{a1}(H_2SO_3)$ 、 $K_{a2}(H_2SO_3)$ 的代数关系式为 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ ；

.....

2. (2023·福建卷)白合金是铜钴矿冶炼过程的中间产物，一种从白合金(主要含 Fe_3O_4 、 CoO 、 CuS 、 Cu_2S 及少量 SiO_2) 中分离回收金属的流程如下：



.....

(3) $25^\circ C$ 时， $K_{sp}(CuS) = 6.3 \times 10^{-36}$ ， H_2S 的 $K_{a1} = 1.1 \times 10^{-7}$ ， $K_{a2} = 1.3 \times 10^{-13}$ 。反应

$CuS(s) + 2H^+(aq) = Cu^{2+}(aq) + H_2S(aq)$ 的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ (列出计算式即可)。经计算可判断 CuS 难溶于稀硫酸。

3. (2022·江苏卷)硫铁化合物(FeS 、 FeS_2 等)应用广泛。

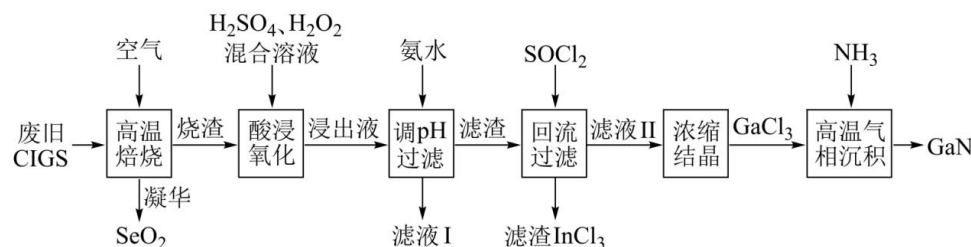
(1)纳米 FeS 可去除水中微量六价铬 [$Cr(VI)$]。在 $pH = 4 \sim 7$ 的水溶液中，纳米 FeS 颗粒表面带正电荷， $Cr(VI)$ 主要以 $HCrO_4^-$ 、 $Cr_2O_7^{2-}$ 、 CrO_4^{2-} 形式存在，纳米 FeS 去除水中 $Cr(VI)$ 主要经过“吸附→反应→沉淀”的过程。

已知： $K_{sp}(FeS) = 6.5 \times 10^{-18}$ ， $K_{sp}[Fe(OH)_2] = 5.0 \times 10^{-17}$ ； H_2S 电离常数分别为 $K_{a1} = 1.1 \times 10^{-7}$ 、 $K_{a2} = 1.3 \times 10^{-13}$ 。

.....

在弱酸性溶液中，反应 $FeS + H^+ \rightleftharpoons Fe^{2+} + HS^-$ 的平衡常数 K 的数值为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

4. (2021·湖北卷)废旧太阳能电池 CIGS 具有较高的回收利用价值，其主要组成为 $CuIn_{0.5}Ga_{0.5}Se_2$ 。某探究小组回收处理流程如图：



.....

(3) $25^\circ C$ 时，已知： $K_b(NH_3 \cdot H_2O) \approx 2.0 \times 10^{-5}$ ， $K_{sp}[Ga(OH)_3] \approx 1.0 \times 10^{-35}$ ， $K_{sp}[In(OH)_3] \approx 1.0 \times 10^{-33}$ ， $K_{sp}[Cu(OH)_2] \approx 1.0 \times 10^{-20}$ ，“浸出液”中 $c(Cu^{2+}) = 0.01 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 。当金属阳离子浓度小于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 时沉淀完全， In^{3+} 恰好完全沉淀时溶液的 pH 约为 $\underline{\hspace{2cm}}$ (保留一位小数)；若继续加入 $6.0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 氨水至过量，观察到的实验现象是先有蓝色沉淀，然后.....；为探究 $Ga(OH)_3$ 在氨水中能否溶解，计算反应 $Ga(OH)_3 + NH_3 \cdot H_2O \rightleftharpoons [Ga(OH)_4]^- + NH_4^+$ 的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

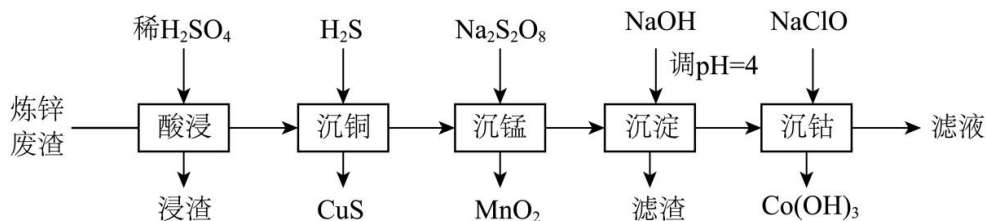
(已知： $Ga^{3+} + 4OH^- \rightleftharpoons [Ga(OH)_4]^-$ $K' = \frac{c([Ga(OH)_4^-])}{c(Ga^{3+}) \times c^4(OH^-)} \approx 1.0 \times 10^{34}$)

第四类：多沉淀

1. (2024·江苏)贵金属银应用广泛。Ag 与稀 HNO₃ 制得 AgNO₃，常用于循环处理高氯废水。

(1)沉淀 Cl⁻。在高氯水样中加入 K₂CrO₄ 使 CrO₄²⁻ 浓度约为 5×10⁻³ mol·L⁻¹，当滴加 AgNO₃ 溶液至开始产生 Ag₂CrO₄ 沉淀(忽略滴加过程的体积增加)，此时溶液中 Cl⁻ 浓度约为_____ mol·L⁻¹。[已知：K_{sp}(AgCl)=1.8×10⁻¹⁰，K_{sp}(Ag₂CrO₄)=2.0×10⁻¹²]

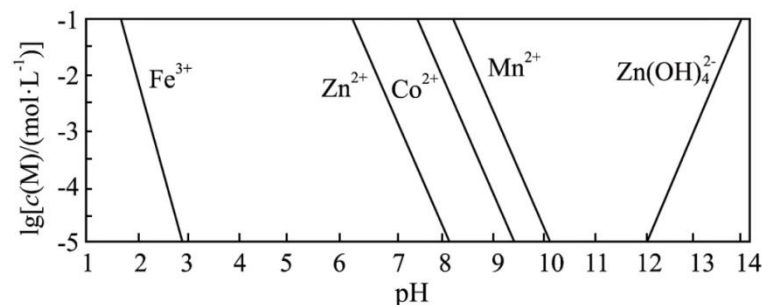
2. (2024·全国甲卷)钴在新能源、新材料领域具有重要用途。某炼锌废渣含有锌、铅、铜、铁、钴、锰的 +2 价氧化物及锌和铜的单质。从该废渣中提取钴的一种流程如下。



注：加沉淀剂使一种金属离子浓度小于等于 10⁻⁵ mol·L⁻¹，其他金属离子不沉淀，即认为完全分离。

已知：① K_{sp}(CuS)=6.3×10⁻³⁶, K_{sp}(ZnS)=2.5×10⁻²², K_{sp}(CoS)=4.0×10⁻²¹。

②以氢氧化物形式沉淀时，lg[c(M)/(mol·L⁻¹)] 和溶液 pH 的关系如图所示。



.....

(3)假设“沉铜”后得到的滤液中 c(Zn²⁺) 和 c(Co²⁺) 均为 0.10 mol·L⁻¹，向其中加入 Na₂S 至 Zn²⁺ 沉淀完全，此时溶液中 c(Co²⁺)=_____ mol·L⁻¹，据此判断能否实现 Zn²⁺ 和 Co²⁺ 的完全分离_____(填“能”或“不能”)。

3. (2016·新课标 I 卷)元素铬(Cr)在溶液中主要以 Cr³⁺(蓝紫色)、Cr(OH)₄⁻(绿色)、Cr₂O₇²⁻(橙红色)、CrO₄²⁻(黄色)等形式存在，Cr(OH)₃ 为难溶于水的灰蓝色固体，回答下列问题：

.....

(3)在化学分析中采用 K₂CrO₄ 为指示剂，以 AgNO₃ 标准溶液滴定溶液中 Cl⁻，利用 Ag⁺ 与 CrO₄²⁻ 生成砖红色沉淀，指示到达滴定终点。当溶液中 Cl⁻ 恰好沉淀完全(浓度等于 1.0×10⁻⁵ mol·L⁻¹)时，溶液中 c(Ag⁺)为_____ mol·L⁻¹，此时溶液中 c(CrO₄²⁻)等于_____ mol·L⁻¹。(已知 Ag₂CrO₄、AgCl 的 K_{sp} 分别为 2.0×10⁻¹² 和 2.0×10⁻¹⁰)。

4. (2021·江苏卷)以软锰矿粉(含 MnO₂ 及少量 Fe、Al、Si、Ca、Mg 等的氧化物)为原料制备电池级 MnO₂。

.....

(2)除杂。向已经除去 Fe、Al、Si 的 MnSO₄ 溶液(pH 约为 5)中加入 NH₄F 溶液，溶液中的 Ca²⁺、Mg²⁺ 形成氟化物沉淀。

若沉淀后上层清液中 c(F⁻)=0.05 mol·L⁻¹，则 $\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Mg}^{2+})}$ = _____。[K_{sp}(MgF₂)=5×10⁻¹¹，K_{sp}(CaF₂)=5×10⁻⁹]