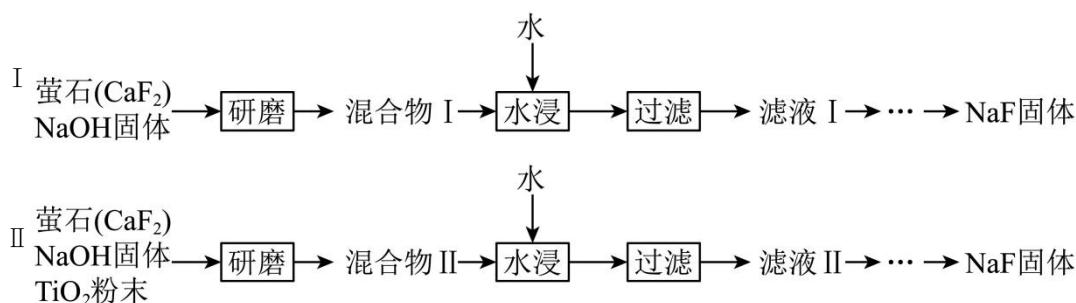


【每日考点 021】 K_{sp} 计算

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。

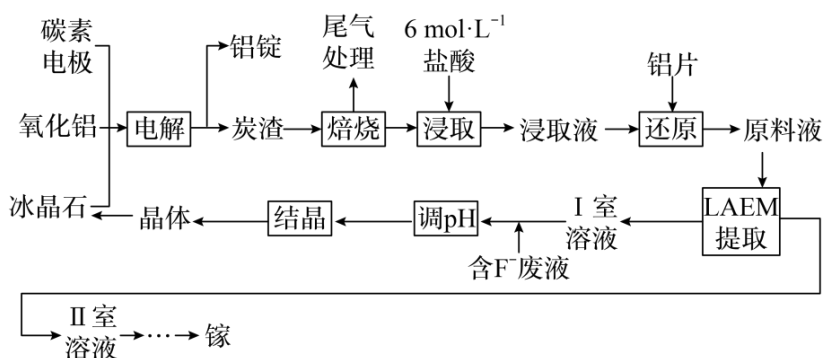
20°C 时，NaF的溶解度为 $4.06\text{g}/100\text{g}$ 水，温度对其溶解度影响不大。

.....

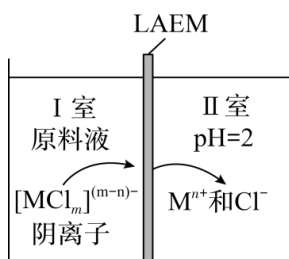
(2) 20°C 时， CaF_2 饱和溶液的浓度为 $c\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，用 c 表示 CaF_2 的溶度积 $K_{sp} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

【答案】 $4c^3$

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 $\text{p}K_a(\text{HF})=3.2$ 。

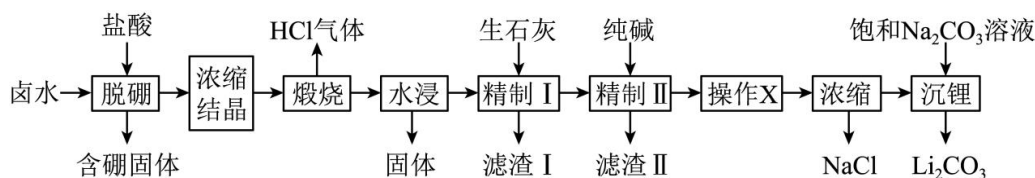
② $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ (冰晶石)的 K_{sp} 为 4.0×10^{-10} 。

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。

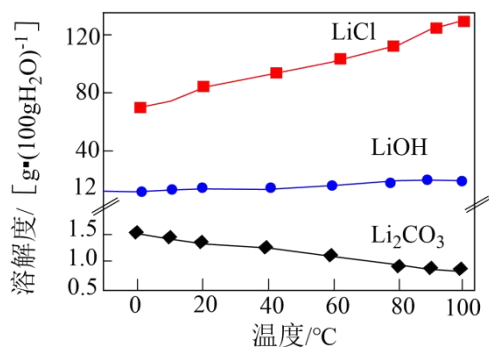
.....若“结晶”后溶液中 $c(\text{Na}^+)=0.10\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，则 $[\text{AlF}_6]^{3-}$ 浓度为 $\underline{\hspace{2cm}}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

【答案】 4.0×10^{-7}

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:



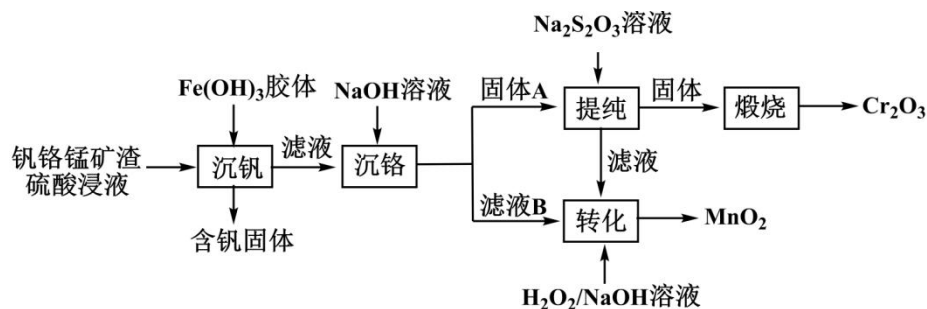
已知: 常温下, $K_{sp}(\text{Li}_2\text{CO}_3)=2.2\times 10^{-2}$ 。相关化合物的溶解度与温度的关系如图所示。



……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。

【答案】 CaSO_4 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 5.5×10^{-3} CaO

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[$\text{Mn}(\text{II})$](在空气中易被氧化)回答下列问题:

(4)某温度下, $\text{Cr}(\text{III})$ 、 $\text{Mn}(\text{II})$ 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} , $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 的 K_{sp} 近似为 1×10^{-30} 】。

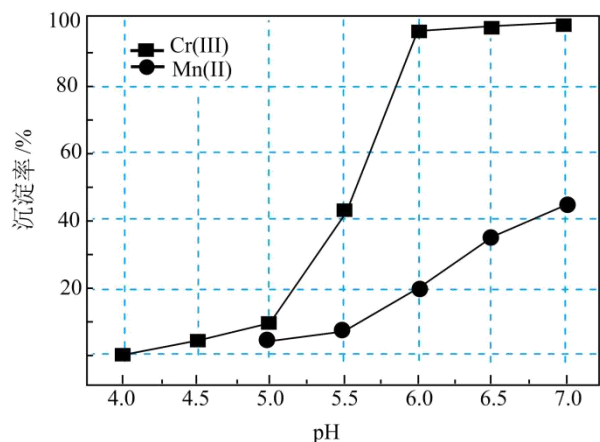


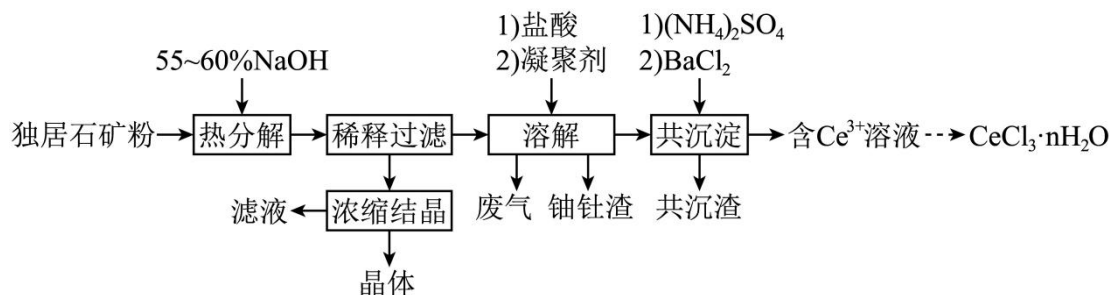
图 2

【答案】 6.0 1×10^{-6}

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

【镨杂质】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 . 镨为第 II A 族元素

.....

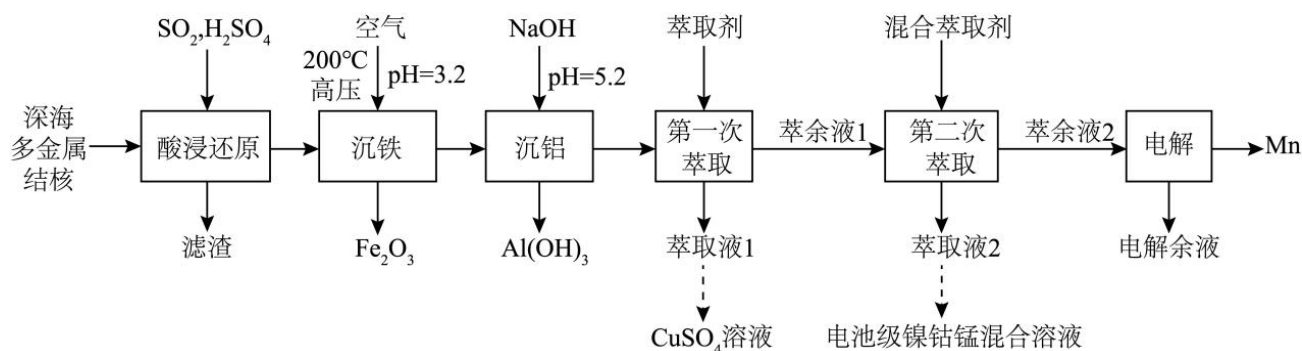
(4)溶解阶段，将溶液 pH 先调到 1.5~2.0，反应后再回调至 4.5。

①.....

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

【答案】 4×10^{-7}

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：

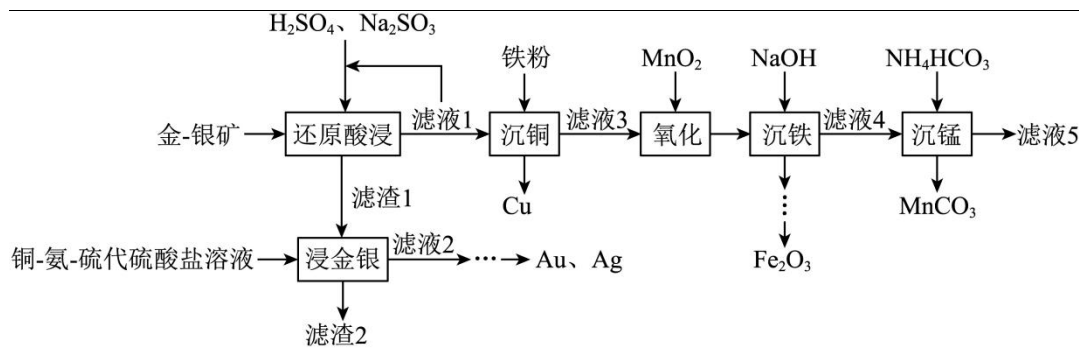
	Fe^{3+}	Al^{3+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Co^{2+}	Mn^{2+}
开始沉淀的 pH	1.9	3.3	4.7	6.9	7.4	8.1
完全沉淀的 pH	3.2	4.6	6.7	8.9	9.4	10.1

.....

(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_____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

【答案】 1×10^{-2}

3. (2025·云南卷)从褐铁矿型金-银矿(含 Au、Ag、 Fe_2O_3 、 MnO_2 、 CuO 、 SiO_2 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%。

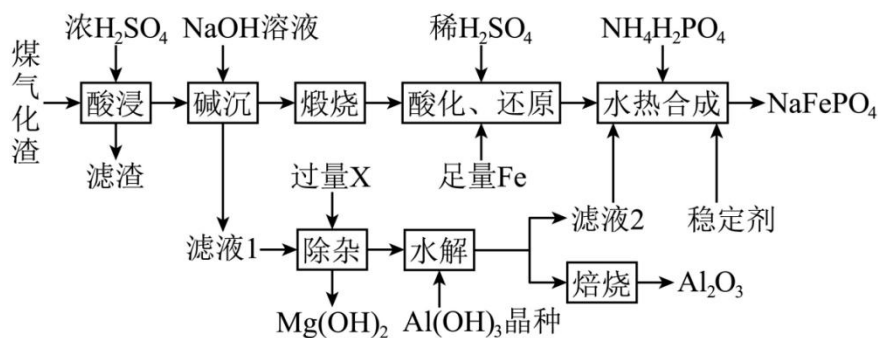
②25℃时， $Mn(OH)_2$ 的 K_{sp} 为 1.9×10^{-13} 。

.....

(6)25℃“沉铁”后，调节“滤液 4”的 pH 至 8.0，无 $Mn(OH)_2$ 析出，则 $c(Mn^{2+}) \leq$ _____ $mol \cdot L^{-1}$ 。

【答案】0.19

4. (2024·贵州卷)煤气化渣属于大宗固废，主要成分为 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 SiO_2 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 $NaFePO_4$ 和回收 Al_2O_3 的流程如下：



已知：

①25℃时， $K_{sp}[Fe(OH)_3] = 2.8 \times 10^{-39}$ ， $K_{sp}[Al(OH)_3] = 1.3 \times 10^{-33}$ ， $K_{sp}[Mg(OH)_2] = 5.6 \times 10^{-12}$ ；

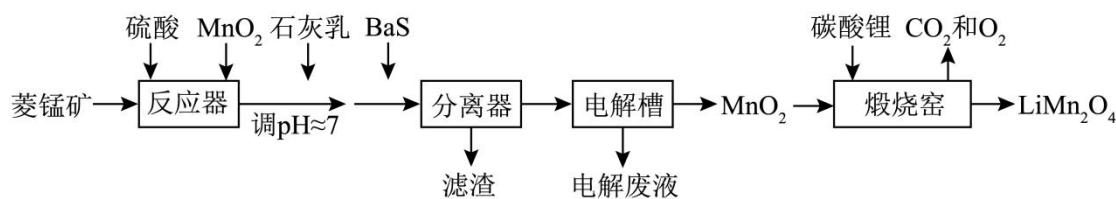
② $2Na[Al(OH)_4](aq) \xrightleftharpoons[\text{Al(OH)}_3\text{晶种}]{\text{加热溶出}} Al_2O_3 \cdot 3H_2O(s) + 2NaOH(aq)$ 。

.....

(2)25℃时，“碱沉”控制溶液 pH 至 3.0，此时溶液中 $c(Fe^{3+}) =$ _____ $mol \cdot L^{-1}$ 。

【答案】 2.8×10^{-6}

5. (2023·全国乙卷) $LiMn_2O_4$ 作为一种新型锂电池正极材料受到广泛关注。由菱锰矿($MnCO_3$ ，含有少量 Si、Fe、Ni、Al 等元素)制备 $LiMn_2O_4$ 的流程如下：



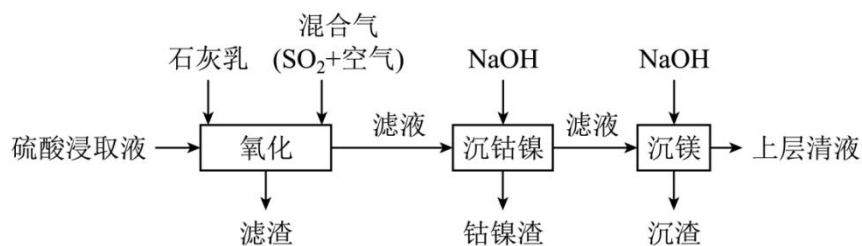
已知： $K_{sp}[Fe(OH)_3] = 2.8 \times 10^{-39}$ ， $K_{sp}[Al(OH)_3] = 1.3 \times 10^{-33}$ ， $K_{sp}[Ni(OH)_2] = 5.5 \times 10^{-16}$ 。

.....

(3)溶矿反应完成后，反应器中溶液 pH=4，此时 $c(Fe^{3+}) =$ _____ $mol \cdot L^{-1}$ 。

【答案】 2.8×10^{-9}

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:

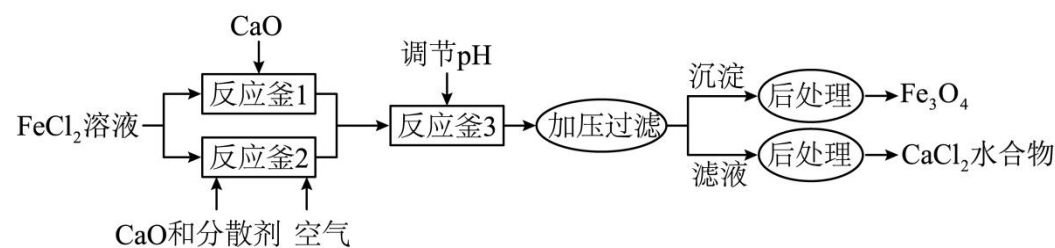
物质	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Co}(\text{OH})_2$	$\text{Ni}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
K_{sp}	$10^{-37.4}$	$10^{-14.7}$	$10^{-14.7}$	$10^{-10.8}$

.....

(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)。

【答案】11.1

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:

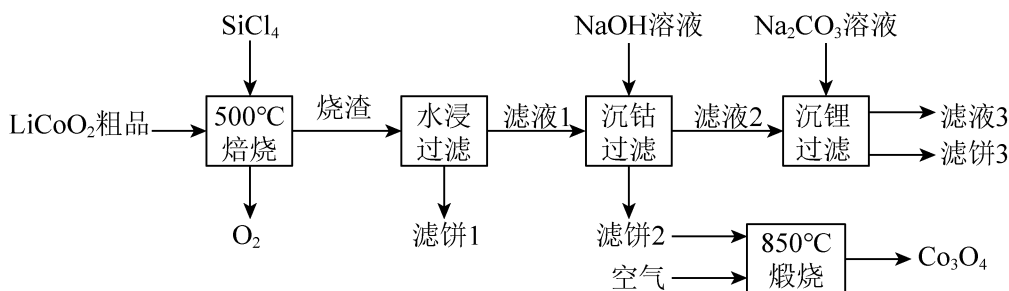
物质	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
溶度积(K_{sp})	4.9×10^{17}	2.8×10^{-39}	5.0×10^{-6}

.....

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

【答案】11

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:

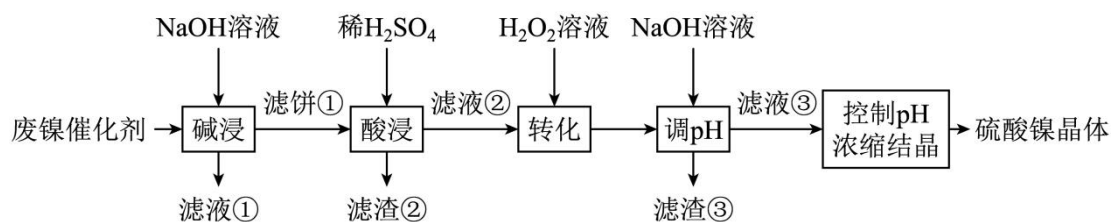


.....

(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_____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

【答案】 5.9×10^{-7}

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 mol·L ⁻¹)的 pH	7.2	3.7	2.2	7.5
沉淀完全时(c=1.0×10 ⁻⁵ mol·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}=_____ (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_____。

【答案】 0.01×(10^{7.2-14})² 或 10⁻⁵×(10^{8.7-14})² 3.2~6.2

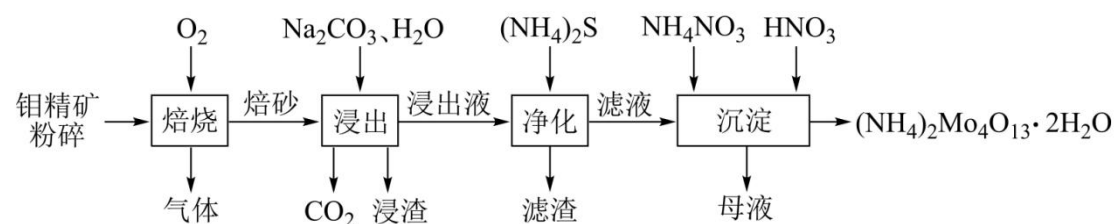
10. (2015·江苏卷)软锰矿(主要成分 MnO₂, 杂质金属元素 Fe、Al、Mg 等)的水悬浊液与烟气中 SO₂ 反应可制备 MnSO₄·H₂O, 反应的化学方程式为: MnO₂+SO₂=MnSO₄

.....

(2)已知: K_{sp}[Al(OH)₃]=1×10⁻³³, K_{sp}[Fe(OH)₃]=3×10⁻³⁹, 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 1×10⁻⁶mol·L⁻¹), 需调节溶液 pH 范围为_____。

【答案】 5.0<pH<7.1

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。



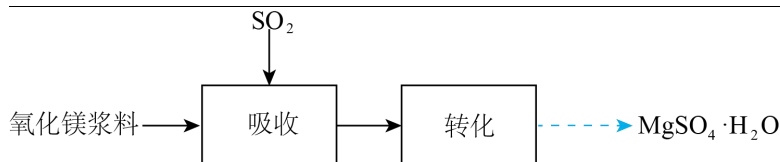
.....

(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(S²⁻) 和 pH 的关系为: lgc(S²⁻)=pH-15.1。为了使溶液中的杂质离子浓度小于 1.0×10⁻⁶ mol·L⁻¹, 应控制溶液的 pH 不小于_____。(已知: pK_{sp}=-lgK_{sp}; CuS 和 FeS 的 pK_{sp} 分别为 35.2 和 17.2)

【答案】 3.9

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

1. (2023·江苏卷)实验室模拟“镁法工业烟气脱硫”并制备 MgSO₄·H₂O, 其实验过程可表示为

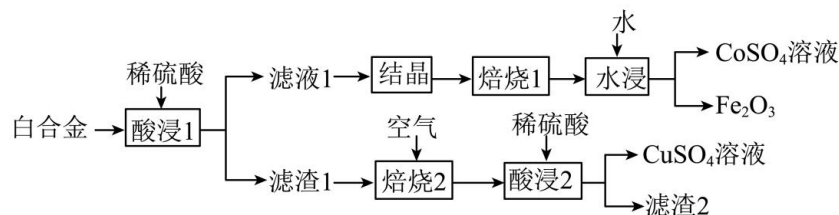


(1)在搅拌下向氧化镁浆料中匀速缓慢通入SO₂气体,生成MgSO₃,反应为 $Mg(OH)_2 + H_2SO_3 = MgSO_3 + 2H_2O$,其平衡常数 K 与 $K_{sp}[Mg(OH)_2]$ 、 $K_{sp}(MgSO_3)$ 、 $K_{a1}(H_2SO_3)$ 、 $K_{a2}(H_2SO_3)$ 的代数关系式为 $K=$ _____;

.....

【答案】 $\frac{K_{sp}[Mg(OH)_2] \times K_{a1}(H_2SO_3) \times K_{a2}(H_2SO_3)}{K_{sp}(MgSO_3) \times K_w^2}$

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Fe₃O₄、CoO、CuS、Cu₂S及少量SiO₂)中分离回收金属的流程如下:



.....

(3)25°C时, $K_{sp}(CuS)=6.3 \times 10^{-36}$, H₂S 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 $K=$ _____ (列出计算式即可)。经计算可判断 CuS 难溶于稀硫酸。

【答案】 $\frac{K_{sp}(CuS)}{K_{a1} \times K_{a2}}$ 或 $\frac{6.3 \times 10^{-36}}{1.1 \times 10^{-7} \times 1.3 \times 10^{-13}}$ 或 $(4.4 \sim 4.5) \times 10^{-16}$ 之间任一数字

3. (2022·江苏卷)硫铁化合物(FeS、FeS₂等)应用广泛。

(1)纳米 FeS 可去除水中微量六价铬[Cr(VI)]。在 pH=4~7 的水溶液中,纳米 FeS 颗粒表面带正电荷,Cr(VI)主要以 HCrO₄⁻、CrO₂⁷⁻、CrO₄²⁻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。

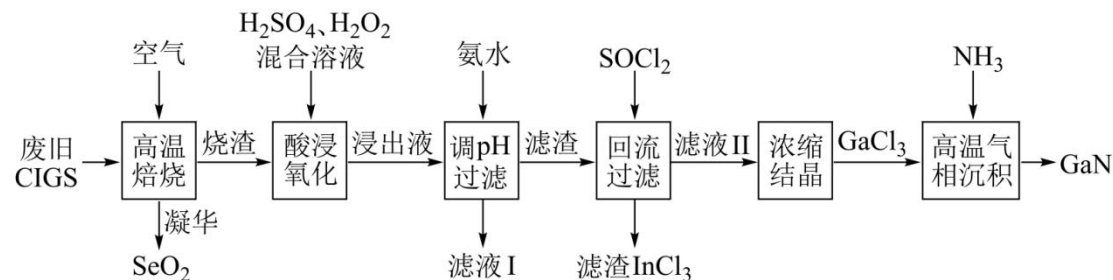
已知: $K_{sp}(FeS)=6.5 \times 10^{-18}$, $K_{sp}[Fe(OH)_2]=5.0 \times 10^{-17}$; H₂S 电离常数分别为 $K_{a1}=1.1 \times 10^{-7}$ 、 $K_{a2}=1.3 \times 10^{-13}$ 。

.....

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_____。

【答案】 5×10^{-5}

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}Se₂。某探究小组回收处理流程如图:



.....

(3)25°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 $c(Cu^{2+})=0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。当金属阳离子浓度小于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时沉淀完全, In³⁺恰好完全沉淀时溶液的 pH 约为_____ (保留一位小数);若继续加入 $6.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 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 $\text{Ga}(\text{OH})_3 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Ga}(\text{OH})_4]^- + \text{NH}_4^+$ 的平衡常数 $K =$ _____。

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

【答案】 4.7 2.0×10^{-6}

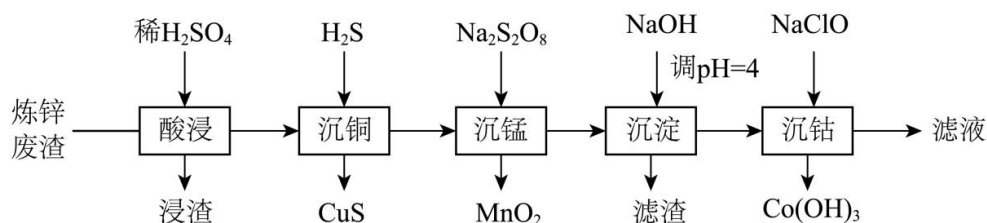
第四类：多沉淀

1. (2024·江苏)贵金属银应用广泛。Ag 与稀 HNO_3 制得 AgNO_3 ，常用于循环处理高氯废水。

(1)沉淀 Cl^- 。在高氯水样中加入 K_2CrO_4 使 CrO_4^{2-} 浓度约为 $5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，当滴加 AgNO_3 溶液至开始产生 Ag_2CrO_4 沉淀(忽略滴加过程的体积增加)，此时溶液中 Cl^- 浓度约为 _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。[已知: $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$, $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 2.0 \times 10^{-12}$]

【答案】 9×10^{-6}

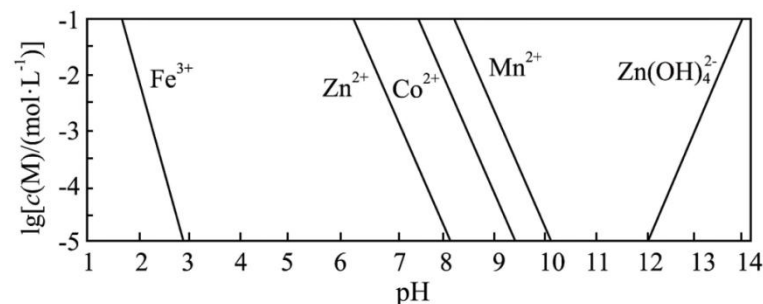
2. (2024·全国甲卷)钴在新能源、新材料领域具有重要用途。某炼锌废渣含有锌、铅、铜、铁、钴、锰的 +2 价氧化物及锌和铜的单质。从该废渣中提取钴的一种流程如下。



注：加沉淀剂使一种金属离子浓度小于等于 $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，其他金属离子不沉淀，即认为完全分离。

已知：① $K_{\text{sp}}(\text{CuS}) = 6.3 \times 10^{-36}$, $K_{\text{sp}}(\text{ZnS}) = 2.5 \times 10^{-22}$, $K_{\text{sp}}(\text{CoS}) = 4.0 \times 10^{-21}$ 。

②以氢氧化物形式沉淀时， $\lg\left[\frac{c(\text{M})}{(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})}\right]$ 和溶液 pH 的关系如图所示。



.....

(3)假设“沉铜”后得到的滤液中 $c(\text{Zn}^{2+})$ 和 $c(\text{Co}^{2+})$ 均为 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，向其中加入 Na_2S 至 Zn^{2+} 沉淀完全，此时溶液中 $c(\text{Co}^{2+}) =$ _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，据此判断能否实现 Zn^{2+} 和 Co^{2+} 的完全分离 _____ (填“能”或“不能”)。

【答案】 1.6×10^{-4} 不能

3. (2016·新课标 I 卷)元素铬(Cr)在溶液中主要以 Cr^{3+} (蓝紫色)、 $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ (绿色)、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (橙红色)、 CrO_4^{2-} (黄色)等形式存在， $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 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 K_2CrO_4 为指示剂，以 AgNO_3 标准溶液滴定溶液中 Cl^- ，利用 Ag^+ 与 CrO_4^{2-} 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 $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)时，溶液中 $c(\text{Ag}^+)$ 为 _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，此时溶液中 $c(\text{CrO}_4^{2-})$ 等于 _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。(已知 Ag_2CrO_4 、 AgCl 的 K_{sp} 分别为 2.0×10^{-12} 和 2.0×10^{-10})。

【答案】 2.0×10^{-5} 5×10^{-3}

4. (2021·江苏卷)以软锰矿粉(含 MnO_2 及少量 Fe、Al、Si、Ca、Mg 等的氧化物)为原料制备电池级 MnO_2 。

.....

(2)除杂。向已经除去 Fe、Al、Si 的 MnSO_4 溶液(pH 约为 5)中加入 NH_4F 溶液,溶液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 形成氟化物沉淀。

若沉淀后上层清液中 $c(\text{F}^-) = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $\frac{c(\text{Ca}^{2+})}{c(\text{Mg}^{2+})} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。 [$K_{\text{sp}}(\text{MgF}_2) = 5 \times 10^{-11}$, $K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2) = 5 \times 10^{-9}$]

【答案】 100