

第2课时 沉淀溶解平衡的应用

[核心素养发展目标] 1.变化观念与平衡思想：能用平衡移动原理分析理解沉淀的溶解与生成、沉淀转化的实质。2.科学探究与创新意识：学会用沉淀溶解平衡的移动解决生产、生活中的实际问题，并设计实验探究方案，进行沉淀转化等实验探究。

一、沉淀的生成和溶解

1. 沉淀的生成

(1)沉淀生成的应用

在无机物的制备和提纯、废水处理等领域，常利用生成沉淀来达到分离或除去某些离子的目的。

(2)沉淀的方法

①调节 pH 法：如工业原料氯化铵中含杂质氯化铁，使其溶解于水，再加入氨水调节 pH 至 7~8，使 $Q[\text{Fe}(\text{OH})_3] \geq K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ 可使 Fe^{3+} 转变为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀而除去。反应如下： $\text{Fe}^{3+} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4^+$ 。

②加沉淀剂法：如以 Na_2S 、 H_2S 等作沉淀剂，使某些金属离子，如 Cu^{2+} 、 Hg^{2+} 等生成极难溶的硫化物 CuS 、 HgS 等沉淀，即离子积 $Q \geq K_{\text{sp}}$ 时，生成沉淀，也是分离、除去杂质常用的方法。

a. 通入 H_2S 除去 Cu^{2+} 的离子方程式： $\text{H}_2\text{S} + \text{Cu}^{2+} \rightleftharpoons \text{CuS} \downarrow + 2\text{H}^+$ 。

b. 加入 Na_2S 除去 Hg^{2+} 的离子方程式： $\text{Hg}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightleftharpoons \text{HgS} \downarrow$ 。

特别提醒 ①一般来说，当溶液中有多种可以沉淀的离子且生成相同类型的沉淀时，越难溶 (K_{sp} 越小) 的越先沉淀。

②当离子浓度小于 $1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，认为已完全沉淀。

2. 沉淀的溶解

(1)沉淀溶解的原理

根据平衡移动原理，对于在水中难溶的电解质，如果能设法不断地移去平衡体系中的相应离子，使平衡向沉淀溶解的方向移动，就可以使沉淀溶解。

(2)实验探究: Mg(OH)₂ 沉淀溶解

操作		
现象	①浑浊; ②澄清	
理论分析	$\text{Mg(OH)}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$ $2\text{HCl} = 2\text{Cl}^{-} + 2\text{H}^{+}$ \downarrow $2\text{H}_2\text{O}$	Mg(OH) ₂ 溶解平衡不断向右移动, 使Mg(OH) ₂ 完全溶解

(3)沉淀溶解的方法

①酸溶解法: 用强酸溶解的难溶电解质有 CaCO₃、FeS、Al(OH)₃、Ca(OH)₂ 等。

如 CaCO₃ 难溶于水, 却易溶于盐酸, 原因是: CaCO₃ 在水中存在沉淀溶解平衡为 CaCO₃(s) ⇌ Ca²⁺(aq) + CO₃²⁻(aq), 当加入盐酸后发生反应: CO₃²⁻ + 2H⁺ = H₂O + CO₂↑, c(CO₃²⁻)降低, 溶液中 CO₃²⁻与 Ca²⁺的离子积 Q(CaCO₃) < K_{sp}(CaCO₃), 沉淀溶解平衡向溶解方向移动。

②盐溶液溶解法: Mg(OH)₂ 难溶于水, 能溶于盐酸、NH₄Cl 溶液中。溶于 NH₄Cl 溶液反应的离子方程式为 Mg(OH)₂ + 2NH₄⁺ = Mg²⁺ + 2NH₃·H₂O。

【正误判断】

- (1)洗涤沉淀时, 洗涤次数越多越好(×)
- (2)为了减少 BaSO₄ 的损失, 洗涤 BaSO₄ 沉淀时可用稀硫酸代替水(√)
- (3)除废水中的某重金属离子如 Cu²⁺、Hg²⁺时, 常用 Na₂S 等, 是因为生成的 CuS、HgS 极难溶, 使废水中 Cu²⁺、Hg²⁺浓度降的很低(√)
- (4)CaCO₃ 溶解时常用盐酸而不用稀硫酸, 是因为稀硫酸不与 CaCO₃ 反应(×)
- (5)除去 MgCl₂ 溶液中的 Fe²⁺, 先加入双氧水, 再加入 MgO 即可(√)

【应用体验】

1. 当氢氧化镁固体在水中达到沉淀溶解平衡 Mg(OH)₂(s) ⇌ Mg²⁺(aq) + 2OH⁻(aq)时, 为使 Mg(OH)₂ 固体的量减少, 需加入少量的()

- A. NH₄NO₃
- B. NaOH
- C. MgSO₄
- D. Na₂SO₄

答案 A

解析 要使 Mg(OH)₂ 固体的量减小, 应使 Mg(OH)₂ 的沉淀溶解平衡右移, 可减小 c(Mg²⁺)或 c(OH⁻)。NH₄NO₃ 电离出的 NH₄⁺能结合 OH⁻, 使平衡右移。

2. 已知 K_{sp}(AgCl) = 1.8 × 10⁻¹⁰, K_{sp}(AgBr) = 7.7 × 10⁻¹³, K_{sp}(Ag₂CrO₄) = 9.0 × 10⁻¹²。某溶液中含有 Cl⁻、Br⁻和 CrO₄²⁻的浓度均为 0.010 mol·L⁻¹, 向该溶液中逐滴加入 0.010 mol·L⁻¹的 AgNO₃ 溶液时, 三种阴离子产生沉淀的先后顺序为()

- A. Cl^- 、 Br^- 、 CrO_4^{2-} B. CrO_4^{2-} 、 Br^- 、 Cl^-
 C. Br^- 、 Cl^- 、 CrO_4^{2-} D. Br^- 、 CrO_4^{2-} 、 Cl^-

答案 C

解析 利用沉淀溶解平衡原理, 当 $Q > K_{\text{sp}}$ 时, 有沉淀析出。溶液中 Cl^- 、 Br^- 、 CrO_4^{2-} 的浓度均为 $0.010 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 向该溶液中逐滴加入 $0.010 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 AgNO_3 溶液时, 溶解度小的先满足 $Q > K_{\text{sp}}$, 有沉淀析出。比较 K_{sp} , AgBr 、 AgCl 同类型, 溶解度: $\text{AgBr} < \text{AgCl}$ 。再比较 AgCl 、 Ag_2CrO_4 沉淀所需 $c(\text{Ag}^+)$, Cl^- 沉淀时所需 $c(\text{Ag}^+) \geq \frac{K_{\text{sp}}(\text{AgCl})}{c(\text{Cl}^-)} = \frac{1.8 \times 10^{-10}}{0.010} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 1.8 \times 10^{-8} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, CrO_4^{2-} 沉淀时所需 $c(\text{Ag}^+) \geq \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)}{c(\text{CrO}_4^{2-})}} = \sqrt{\frac{9.0 \times 10^{-12}}{0.010}} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 3.0 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$,

故推知三种阴离子产生沉淀的先后顺序为 Br^- 、 Cl^- 、 CrO_4^{2-} 。

故推知三种阴离子产生沉淀的先后顺序为 Br^- 、 Cl^- 、 CrO_4^{2-} 。

■ 视野拓展 ■

沉淀溶解常用的方法

- (1) 酸溶解法: 如 CaCO_3 溶于盐酸, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 溶于强酸等。
- (2) 盐溶解法: 如 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 可溶于 NH_4Cl 溶液中。
- (3) 生成配合物法: 如 AgCl 可溶于氨水。
- (4) 氧化还原法: 如 CuS 、 HgS 等可溶于 HNO_3 中。

二、沉淀的转化

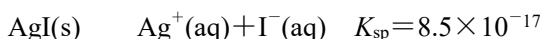
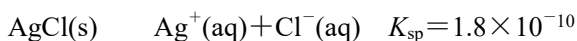
1. 沉淀转化的过程探究

(1) 实验探究 AgCl 、 AgI 、 Ag_2S 的转化

实验操作			
实验现象	有白色沉淀析出	白色沉淀转化为黄色沉淀	黄色沉淀转化为黑色沉淀
化学方程式	$\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 \rightleftharpoons \text{AgCl} \downarrow + \text{NaNO}_3$	$\text{AgCl} + \text{KI} \rightleftharpoons \text{AgI} + \text{KCl}$	$2\text{AgI} + \text{Na}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{S} + 2\text{NaI}$

实验结论: AgCl 沉淀转化为 AgI 沉淀, AgI 沉淀又转化为 Ag_2S 沉淀, 说明溶解度由小到大的顺序为 $\text{Ag}_2\text{S} < \text{AgI} < \text{AgCl}$ 。

理论分析:



由 K_{sp} 值可看出 AgI 的溶解度远比 AgCl 小得多。

当向 AgCl 沉淀中滴加 KI 溶液时, $Q(\text{AgI}) > K_{\text{sp}}(\text{AgI})$ 导致 AgCl 溶解, AgI 生成, 离子方程式可表示为: $\text{I}^{-}(\text{aq}) + \text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{AgI}(\text{s}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq})$,

$$K = \frac{c(\text{Cl}^{-})}{c(\text{I}^{-})} = \frac{c(\text{Ag}^{+}) \cdot c(\text{Cl}^{-})}{c(\text{Ag}^{+}) \cdot c(\text{I}^{-})} = \frac{1.8 \times 10^{-10}}{8.5 \times 10^{-17}} \approx 2.1 \times 10^6 > 1 \times 10^5。$$

反应向正方向进行完全, 即 AgCl 可转化为 AgI 沉淀。

(2) 实验探究 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 与 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的转化

实验操作		
实验现象	产生白色沉淀	白色沉淀转化为红褐色沉淀
化学方程式	$\text{MgCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightleftharpoons \underline{\text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow} + 2\text{NaCl}$	$3\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{FeCl}_3 \rightleftharpoons \underline{2\text{Fe}(\text{OH})_3} + 3\text{MgCl}_2$

实验结论: $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀, 说明溶解度: $\underline{\text{Fe}(\text{OH})_3 < \text{Mg}(\text{OH})_2}$ 。

2. 沉淀转化的实质与条件

(1) 实质: 沉淀的转化是指由一种难溶物转化为另一种难溶物的过程, 其实质是沉淀溶解平衡的移动。

(2) 条件: 两种沉淀的溶解度不同, 溶解度小的沉淀可以转化为溶解度更小的沉淀, 两者溶解度相差越大转化越容易。

3. 沉淀转化的应用

(1) 锅炉除水垢(含有 CaSO_4): $\text{CaSO}_4(\text{s}) \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 溶液}} \text{CaCO}_3(\text{s}) \xrightarrow{\text{加酸(如盐酸)}} \text{Ca}^{2+}(\text{aq})$, 反应为 $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$, $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightleftharpoons \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ 。

(2) 自然界中矿物的转化: 原生铜的硫化物 $\xrightarrow{\text{氧化、淋滤}} \text{CuSO}_4$ 溶液 $\xrightarrow{\text{渗透、遇闪锌矿(ZnS)和方铅矿(PbS)}} \text{铜蓝}(\text{CuS})$, 反应为 $\text{CuSO}_4 + \text{ZnS} \rightleftharpoons \text{CuS} + \text{ZnSO}_4$, $\text{CuSO}_4 + \text{PbS} \rightleftharpoons \text{CuS} + \text{PbSO}_4$ 。

(3) 工业废水处理

工业废水处理过程中, 重金属离子可利用沉淀转化原理用 FeS 等难溶物转化为 HgS、Ag₂S、PbS 等沉淀。

用 FeS 除去 Hg^{2+} 的离子方程式: $\text{FeS}(\text{s}) + \text{Hg}^{2+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{HgS}(\text{s}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ 。

【正误判断】

(1) 沉淀的转化只能由难溶的转化为更难溶的(×)

(2) 向 AgCl 沉淀中加入 KI 溶液, 由白色沉淀转变成黄色沉淀, 是由于 $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) < K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ (√)

(3) 可用 FeS 除去废水中的 Hg^{2+} 、 Ag^{+} 等, 是因为 HgS、Ag₂S 比 FeS 更难溶(√)

(4)验证 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的溶解度小于 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 可将 FeCl_3 溶液加入 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 悬浊液中, 振荡, 可观察到沉淀由白色变为红褐色(√)

(5)溶解度小的沉淀不能转化为溶解度比其大的沉淀(×)

【深度思考】

1. 已知 $K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)=1.0\times 10^{-10}$, $K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)=2.5\times 10^{-9}$, 解答下列问题:

(1)向等浓度的碳酸钠、硫酸钠的混合溶液中逐滴加入氯化钡溶液, 最先出现的沉淀是_____。

(2)某同学设想用下列流程得到 BaCl_2 溶液,



则①的离子方程式为_____ ,

该反应的平衡常数 $K=$ _____。

(3)向 BaCl_2 溶液中加入 AgNO_3 和 KBr , 当两种沉淀共存时, $\frac{c(\text{Br}^-)}{c(\text{Cl}^-)}=$ _____。 [$K_{\text{sp}}(\text{AgBr})=5.4\times 10^{-13}$, $K_{\text{sp}}(\text{AgCl})=1.8\times 10^{-10}$]

答案 (1) BaSO_4 (2) $\text{BaSO}_4(\text{s})+\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})\rightleftharpoons\text{BaCO}_3(\text{s})+\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 0.04 (3) 3×10^{-3}

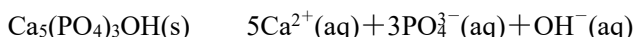
解析 (2) BaSO_4 转化为 BaCO_3 的离子方程式为 $\text{BaSO}_4(\text{s})+\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})\rightleftharpoons\text{BaCO}_3(\text{s})+\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 。

平衡常数 $K=\frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})}=\frac{K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)}=\frac{1.0\times 10^{-10}}{2.5\times 10^{-9}}=0.04$ 。

(3) AgCl 、 AgBr 共存时 $\text{AgCl}(\text{s})+\text{Br}^-(\text{aq})\rightleftharpoons\text{AgBr}(\text{s})+\text{Cl}^-(\text{aq})$, 反应达到平衡, 所以 $\frac{c(\text{Br}^-)}{c(\text{Cl}^-)}=$

$$\frac{K_{\text{sp}}(\text{AgBr})}{K_{\text{sp}}(\text{AgCl})}=\frac{5.4\times 10^{-13}}{1.8\times 10^{-10}}=3\times 10^{-3}$$

2. 牙齿表面由一层硬的组成为 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 的难溶物质保护着, 它在唾液中存在下列平衡:



进食后, 细菌和酶作用于食物, 产生有机酸, 这时牙齿就会受到腐蚀, 其原因是:

_____。

已知 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ 的溶解度比 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 更小, 请用离子方程式表示使用含氟牙膏防止龋齿的原因:_____。

答案 发酵生成的有机酸能中和 OH^- , 使平衡向右移动, 加速牙齿腐蚀 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}+\text{F}^-$
 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}+\text{OH}^-$

随堂演练 知识落实

1. 已知: $K_{\text{sp}}(\text{ZnS})>K_{\text{sp}}(\text{CuS})$, 在有白色固体 ZnS 存在的饱和溶液中滴加适量 CuSO_4 溶液, 产生的实验现象是()

A. 固体逐渐溶解, 最后消失

- B. 固体由白色变为黑色
- C. 固体颜色变化但质量不变
- D. 固体逐渐增多，但颜色不变

答案 B

解析 ZnS 和 CuS 的阴、阳离子个数比为 1:1，且 $K_{sp}(\text{ZnS}) > K_{sp}(\text{CuS})$ ，可得 ZnS 溶解度大于 CuS，因此在 ZnS 饱和溶液中加入 CuSO₄ 会使 ZnS 沉淀转化生成黑色 CuS 沉淀。

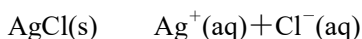
2. 实验：① 0.1 mol·L⁻¹ AgNO₃ 溶液和 0.1 mol·L⁻¹ NaCl 溶液等体积混合得到浊液 a，过滤得到滤液 b 和白色沉淀 c；

② 向滤液 b 中滴加 0.1 mol·L⁻¹ KI 溶液，出现浑浊；

③ 向沉淀 c 中滴加 0.1 mol·L⁻¹ KI 溶液，沉淀变为黄色。

下列分析不正确的是()

A. 浊液 a 中存在沉淀溶解平衡：



B. 滤液 b 中不含有 Ag⁺

C. ③ 中颜色变化说明 AgCl 转化为 AgI

D. 实验可以证明 AgI 比 AgCl 更难溶

答案 B

解析 A 项，在浊液 a 中，存在 AgCl 的沉淀溶解平衡，正确；B 项，在滤液 b 中，仍含有少量 Ag⁺，故在 b 中加入 KI 溶液生成了 AgI 沉淀，错误；由于 AgI 比 AgCl 更难溶解，向 c 中加入 0.1 mol·L⁻¹ KI 溶液，能发生沉淀的转化，生成黄色的 AgI，C 项和 D 项都正确。

3. 化工生产中常用 MnS 作为沉淀剂除去工业废水中的 Cu²⁺：Cu²⁺(aq) + MnS(s) ⇌ CuS(s) + Mn²⁺(aq)，下列说法正确的是()

A. 相同温度时，MnS 的 K_{sp} 比 CuS 的 K_{sp} 小

B. 该反应达到平衡时 c(Mn²⁺) = c(Cu²⁺)

C. 向平衡体系中加入少量 CuSO₄ 固体后，c(Cu²⁺) 减小，c(Mn²⁺) 增大

D. 设该反应的平衡常数为 K，则 $K \cdot K_{sp}(\text{CuS}) = K_{sp}(\text{MnS})$

答案 D

解析 一种沉淀易转化为更难溶的沉淀，则 $K_{sp}(\text{MnS}) > K_{sp}(\text{CuS})$ ，A 项错误；达到平衡时，

$\frac{c(\text{Cu}^{2+})}{c(\text{Mn}^{2+})} = \frac{K_{sp}(\text{CuS})}{K_{sp}(\text{MnS})} < 1$ ，B 项错误；加入少量 CuSO₄ 固体后，c(Cu²⁺) 增大，平衡正向移动，c(Mn²⁺)

增大，C 项错误；该反应的平衡常数 $K = \frac{c(\text{Mn}^{2+})}{c(\text{Cu}^{2+})} = \frac{K_{sp}(\text{MnS})}{K_{sp}(\text{CuS})}$ ，D 项正确。

4. 已知 25 ℃：

难溶电解质	CaCO ₃	CaSO ₄	MgCO ₃
-------	-------------------	-------------------	-------------------

K_{sp}	2.8×10^{-9}	9.1×10^{-6}	6.8×10^{-6}
----------	----------------------	----------------------	----------------------

某学习小组欲探究 CaSO_4 沉淀转化为 CaCO_3 沉淀的可能性，实验步骤如下。

①向 100 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CaCl_2 溶液中加入 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Na_2SO_4 溶液 100 mL，立即有白色沉淀生成。

②向上述悬浊液中加入固体 Na_2CO_3 3 g，搅拌，静置沉淀后弃去上层清液。

③再加入蒸馏水搅拌，静置后再弃去上层清液。

④_____。

(1)由题中信息可知， K_{sp} 越大表示电解质的溶解度越_____ (填“大”或“小”)。

(2)写出第②步发生反应的化学方程式：_____。

(3)设计第③步的目的是_____。

(4)请补充第④步操作及发生的现象：_____。

(5)请写出该原理在实际生活、生产中的一个应用：_____。

答案 (1)大 (2) $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{CaSO}_4(\text{s}) = \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ (3)洗去沉淀中附着的 SO_4^{2-}

(4)向沉淀中加入足量的盐酸，沉淀完全溶解，并放出无色无味的气体 (5)将锅炉水垢中的 CaSO_4 转化为 CaCO_3 ，再用盐酸除去

解析 K_{sp} 越大，表示电解质的溶解度越大，溶解度大的沉淀会向溶解度小的沉淀转化，要证明 CaSO_4 完全转化为 CaCO_3 ，可以加入盐酸，因为 CaSO_4 不和盐酸反应，而 CaCO_3 可完全溶于盐酸。在实际生活、生产中利用此反应可以将锅炉水垢中的 CaSO_4 转化为 CaCO_3 ，再用盐酸除去。

课时对点练

☑ 对点训练

题组一 沉淀的生成与溶解

1. (2019·济南质检)在 AgCl 悬浊液中存在平衡： $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ 。已知常温下， $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.6 \times 10^{-10}$ 。下列叙述中正确的是()

A. 常温下， AgCl 悬浊液中 $c(\text{Cl}^-) = 4 \times 10^{-5.5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

B. 温度不变，向 AgCl 悬浊液中加入少量 NaCl 粉末，平衡向左移动， $K_{sp}(\text{AgCl})$ 减小

C. 向 AgCl 悬浊液中加入少量 NaBr 溶液，白色沉淀转化为淡黄色沉淀，说明 $K_{sp}(\text{AgCl}) < K_{sp}(\text{AgBr})$

D. 常温下，将 $0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ AgNO_3 溶液与 $0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液等体积混合，无沉淀析出

答案 A

解析 AgCl 的溶度积 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) = 1.6 \times 10^{-10}$, 则 AgCl 悬浊液中 $c(\text{Cl}^-) = c(\text{Ag}^+) = 4 \times 10^{-5.5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, A 正确; $K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ 只与温度有关, 温度不变, 向 AgCl 悬浊液中加入少量 NaCl 粉末, 平衡向左移动, 但 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$ 不变, B 错误; 向 AgCl 悬浊液中加入少量 NaBr 溶液, 白色沉淀转化为淡黄色沉淀, 说明 AgBr 的溶解度小于 AgCl , 则有 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgBr})$, C 错误; $0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ AgNO}_3$ 溶液与 $0.001 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液等体积混合, 此时离子积 $Q = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) = 0.0005^2 = 2.5 \times 10^{-7} > K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$, 故生成 AgCl 沉淀, D 错误。

2. 某 $\text{pH}=1$ 的 ZnCl_2 和 HCl 的混合溶液中含有 FeCl_3 杂质, 为了除去 FeCl_3 杂质, 需将溶液调至 $\text{pH}=4$ 。在调节溶液 pH 时, 应选用的试剂是()

A. NaOH B. ZnO C. ZnSO_4 D. Fe_2O_3

答案 B

解析 溶液中含有 FeCl_3 杂质, 将溶液调至 $\text{pH}=4$, 可使 Fe^{3+} 水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀而除去, 注意不能引入新的杂质, 可加入 ZnO 和酸反应调节溶液 pH , 使铁离子全部沉淀。

3. 已知在 pH 为 $4 \sim 5$ 的环境中, Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 几乎不水解, 而 Fe^{3+} 几乎完全水解。工业上制 CuCl_2 溶液是将浓盐酸用蒸气加热到 80°C 左右, 再慢慢加入粗氧化铜(含少量杂质 FeO), 充分搅拌使之溶解。欲除去溶液中的杂质离子, 下述方法中可行的是()

- A. 向溶液中通入 Cl_2 , 再加入纯净的 CuO 粉末调节 pH 为 $4 \sim 5$
B. 向溶液中通入 H_2S 使 Fe^{2+} 沉淀
C. 向溶液中通入 Cl_2 , 再通入 NH_3 , 调节 pH 为 $4 \sim 5$
D. 加入纯 Cu 将 Fe^{2+} 还原为 Fe

答案 A

解析 根据题干信息, A 项中的操作可将 Fe^{2+} 先转化为 Fe^{3+} 再转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 而除去, A 项正确; 在酸性溶液中 H_2S 与 Fe^{2+} 不反应, 而 H_2S 与 Cu^{2+} 生成 CuS 沉淀, B 项错误; C 项中的操作会引入新的杂质离子 NH_4^+ , C 项错误; 由金属的活动性: $\text{Fe} > \text{Cu}$ 知, D 项错误。

4. 要使工业废水中的重金属 Pb^{2+} 沉淀, 可用硫酸盐、碳酸盐、硫化物等作沉淀剂, 已知 Pb^{2+} 与这些离子形成的化合物的溶解度如下:

化合物	PbSO_4	PbCO_3	PbS
溶解度/g	1.03×10^{-4}	1.81×10^{-7}	1.84×10^{-14}

由上述数据可知, 选用的沉淀剂最好为()

- A. 硫化物 . 硫酸盐
C. 碳酸盐 . 以上沉淀剂均可

答案 A

解析 要将 Pb^{2+} 沉淀, 就要形成溶解度更小的物质, 由表中数据可知, PbS 的溶解度最小,

故沉淀剂最好为硫化物。

题组二 沉淀的转化

5. 已知: 25 °C时, $K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2]=5.61 \times 10^{-12}$, $K_{sp}(\text{MgF}_2)=7.42 \times 10^{-11}$ 。下列说法正确的是 ()

- A. 25 °C时, 饱和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 溶液与饱和 MgF_2 溶液相比, 前者的 $c(\text{Mg}^{2+})$ 大
- B. 25 °C时, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的悬浊液加入少量的 NH_4Cl 固体, $c(\text{Mg}^{2+})$ 增大
- C. 25 °C时, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 固体在 20 mL $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氨水中的 K_{sp} 比在 20 mL $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4Cl 溶液中的 K_{sp} 小
- D. 25 °C时, 在 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的悬浊液中加入 NaF 溶液后, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 不可能转化为 MgF_2

答案 B

解析 A 项, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 与 MgF_2 同属于 AB_2 型沉淀, $K_{sp}[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 比 $K_{sp}(\text{MgF}_2)$ 小, 说明饱和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 溶液中的 $c(\text{Mg}^{2+})$ 更小; B 项, $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$, NH_4^+ 与 OH^{-} 反应, 而使平衡右移, $c(\text{Mg}^{2+})$ 增大; C 项, K_{sp} 只与温度有关; D 项, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的 K_{sp} 与 MgF_2 的 K_{sp} 数量级接近, 若 F^{-} 浓度足够大, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 也能转化为 MgF_2 。

6. 25 °C时, 已知下列三种金属硫化物的溶度积常数(K_{sp})分别为 $K_{sp}(\text{FeS})=6.3 \times 10^{-18}$; $K_{sp}(\text{CuS})=1.3 \times 10^{-36}$; $K_{sp}(\text{ZnS})=1.6 \times 10^{-24}$ 。下列关于常温时的有关叙述正确的是 ()

- A. 硫化锌、硫化铜、硫化亚铁的溶解度依次增大
- B. 将足量的 ZnSO_4 晶体加入 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Na_2S 溶液中, Zn^{2+} 的浓度最大只能达到 $1.6 \times 10^{-23} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- C. 除去工业废水中含有的 Cu^{2+} , 可采用 FeS 固体作为沉淀剂
- D. 向饱和的 FeS 溶液中加入 FeSO_4 溶液后, 混合液中 $c(\text{Fe}^{2+})$ 变大、 $c(\text{S}^{2-})$ 变小, 但 $K_{sp}(\text{FeS})$ 变大

答案 C

解析 化学式所表示的组成中阴、阳离子个数比相同时, K_{sp} 数值越大的难溶电解质在水中的溶解能力越强, 由 K_{sp} 可知, 常温下, CuS 的溶解度最小, 故 A 错; 将足量的 ZnSO_4 晶体加入 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Na_2S 溶液中, $c(\text{S}^{2-})$ 将减至非常小, 而 Zn^{2+} 的浓度远远大于 $1.6 \times 10^{-23} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 因 CuS 比 FeS 更难溶, FeS 沉淀可转化为 CuS 沉淀; 温度不变, $K_{sp}(\text{FeS})$ 不变。

7. 下列说法不正确的是 ()

- A. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 固体在溶液中存在平衡: $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$, 该固体可溶于 NH_4Cl 溶液
- B. 向 ZnS 沉淀上滴加 CuSO_4 溶液沉淀变为黑色, 可推知同温下 $K_{sp}(\text{ZnS}) < K_{sp}(\text{CuS})$
- C. 向 AgCl 悬浊液中滴加 Na_2S 溶液, 白色沉淀变成黑色, 反应的化学方程式为 $2\text{AgCl}(\text{s}) + \text{S}^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{S}(\text{s}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$
- D. 向 2 mL 浓度均为 $1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 、 KI 混合溶液中滴加 1~2 滴 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 AgNO_3

溶液，振荡沉淀呈黄色，说明 $K_{sp}(\text{AgCl}) > K_{sp}(\text{AgI})$

答案 B

8. (2019·吉林高二检测)已知 25 °C 时，FeS、CuS 的溶度积常数(K_{sp})分别为 6.3×10^{-18} 、 6.3×10^{-36} 。下列有关说法正确的是()

- A. 0.1 mol FeS 和 0.1 mol CuS 混合后加入 1 L 水中，所得溶液中 $c(\text{Fe}^{2+}) \neq c(\text{Cu}^{2+})$
- B. 将足量 CuSO_4 溶解在 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{S}$ 溶液中， Cu^{2+} 的最大浓度为 $6.3 \times 10^{-35} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- C. 因为 H_2SO_4 是强酸，所以反应 $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{S} = \text{CuS} \downarrow + \text{H}_2\text{SO}_4$ 不能发生
- D. 向 H_2S 的饱和溶液中通入少量 SO_2 气体，溶液的酸性增强

答案 A

解析 A 项，由于 $K_{sp}(\text{CuS}) \ll K_{sp}(\text{FeS})$ ，所以 0.1 mol FeS 和 0.1 mol CuS 混合后加入 1 L 水中，所得溶液中 $c(\text{Fe}^{2+}) \neq c(\text{Cu}^{2+})$ ，正确；B 项， CuSO_4 是易溶物质，则溶液中 Cu^{2+} 的最大浓度远比 $6.3 \times 10^{-35} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 大，错误；C 项，CuS 不溶于 H_2SO_4 ，该反应能发生，错误；D 项， $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 = 3\text{S} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ，酸性应减弱，错误。

9. (2020·苏州调研)25 °C 时有关物质的颜色和溶度积(K_{sp})如下表：

物质	AgCl	AgBr	AgI	Ag ₂ S
颜色	白	淡黄	黄	黑
K_{sp}	1.8×10^{-10}	7.7×10^{-13}	1.5×10^{-16}	1.8×10^{-50}

下列叙述中不正确的是()

- A. 向 AgCl 的白色悬浊液中加入 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KI}$ 溶液，有黄色沉淀产生
- B. 25 °C 时，AgCl、AgBr、AgI、Ag₂S 饱和水溶液中 Ag^+ 的浓度相同
- C. 25 °C，AgCl 固体在等物质的量浓度 NaCl、CaCl₂ 溶液中的溶度积相同
- D. 在 5 mL $1.8 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaCl}$ 溶液中，加入 1 滴(20 滴约为 1 mL) $1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$ 溶液，不能产生白色沉淀

答案 B

解析 由 $K_{sp}(\text{AgCl}) > K_{sp}(\text{AgI})$ 可知，A 项正确；由四种物质的溶度积常数计算可知，其饱和水溶液中 $c(\text{Ag}^+)$ 的大小关系为 $\text{AgCl} > \text{AgBr} > \text{AgI} > \text{Ag}_2\text{S}$ ，B 项错误；由于溶度积常数是温度常数，温度不变其值不变，C 项正确；加入一滴硝酸银溶液后， $c(\text{Cl}^-)$ 可认为保持不变，即 $c(\text{Cl}^-) = 1.8 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，而 AgNO_3 溶液相当于稀释 100 倍，故 $c(\text{Ag}^+) = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $c(\text{Cl}^-) \cdot c(\text{Ag}^+) = 1.8 \times 10^{-11} < K_{sp}(\text{AgCl})$ ，故没有沉淀生成，D 项正确。

10. 工业上用化学法除锅炉的水垢时，先向锅炉中注入饱和 Na_2CO_3 溶液浸泡，将水垢中的 CaSO_4 转化为 CaCO_3 ，再用盐酸除去[已知： $K_{sp}(\text{CaCO}_3) = 1 \times 10^{-10}$ ， $K_{sp}(\text{CaSO}_4) = 9 \times 10^{-6}$]，下列说法错误的是()

- A. 升高温度， Na_2CO_3 溶液的 K_w 和 $c(\text{OH}^-)$ 均会增大

B. 沉淀转化的离子方程式为 $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + \text{CaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$

C. 该条件下, CaCO_3 溶解度约为 $1 \times 10^{-3} \text{ g}$

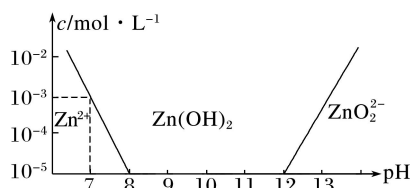
D. CaSO_4 和 CaCO_3 共存的悬浊液中, $\frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} = 9 \times 10^4$

答案 C

解析 升高温度, 水的电离平衡正向移动, K_w 增大, Na_2CO_3 水解平衡正向移动, $c(\text{OH}^-)$ 增大, 故 A 项正确; 沉淀由难溶物质转变为更难溶的物质, 故 B 项正确; 由 $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)$ 可知饱和 CaCO_3 溶液的浓度为 $1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 100 mL 饱和 CaCO_3 溶液中含有 CaCO_3 为 $1 \times 10^{-4} \text{ g}$, 溶解度约为 $1 \times 10^{-4} \text{ g}$, 故 C 项错误; CaSO_4 和 CaCO_3 共存的悬浊液中, $\frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)} = 9 \times 10^4$, 故 D 项正确。

题组三 沉淀溶解平衡图像分析

11. 已知锌及其化合物的性质与铝及其化合物相似。如图, 横坐标为溶液的 pH, 纵坐标为 Zn^{2+} 或 ZnO_2^{2-} 的物质的量浓度(假设 Zn^{2+} 浓度为 $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, Zn^{2+} 已沉淀完全)。下列说法不正确的是()



A. 往 ZnCl_2 溶液中加入足量的氢氧化钠溶液, 反应的离子方程式可表示为 $\text{Zn}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

B. 从图中数据计算可得 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 的溶度积 $K_{\text{sp}} = 10^{-17}$

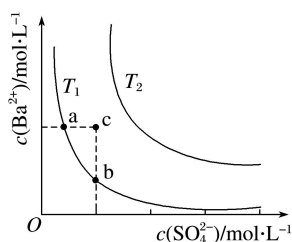
C. 某废液中含 Zn^{2+} , 沉淀 Zn^{2+} 可以控制溶液 pH 的范围是 8~12

D. 向 1 L $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ZnCl_2 溶液中加入 NaOH 固体至 pH=6, 需 NaOH 0.2 mol

答案 D

解析 A 项, 当溶液 pH>12 时, Zn^{2+} 就转化成 ZnO_2^{2-} , 正确; B 项, 依据 pH=7 时, $c(\text{Zn}^{2+}) = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 计算, 此时有沉淀溶解平衡存在, $K_{\text{sp}} = 10^{-3} \times (10^{-7})^2 = 10^{-17}$, 正确; C 项, 当 $c(\text{Zn}^{2+}) = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时认为废液中 Zn^{2+} 已完全沉淀, 所以控制 pH 在 8~12 范围内可将 Zn^{2+} 沉淀完全, 正确; D 项, 当 pH=6 即 $c(\text{OH}^-) = 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 由 K_{sp} 可知此时 $c(\text{Zn}^{2+}) = 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 即有 0.9 mol Zn^{2+} 转化为 $\text{Zn}(\text{OH})_2$, 需 NaOH 为 1.8 mol, 不正确。

12. 不同温度(T_1 和 T_2)时, 硫酸钡在水中的沉淀溶解平衡曲线如图所示, 已知硫酸钡在水中溶解时吸收热量。下列说法正确的是()

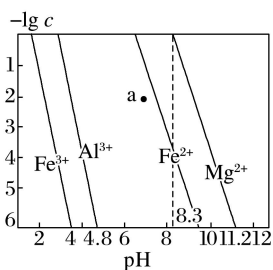


- A. $T_1 > T_2$
- B. 加入 BaCl_2 固体, 可使溶液由 a 点变到 c 点
- C. c 点时, 在 T_1 、 T_2 两个温度下均有固体析出
- D. a 点和 b 点的 K_{sp} 相等

答案 D

解析 因为硫酸钡在水中溶解时吸收热量, 则温度升高硫酸钡的 K_{sp} 增大, T_2 时硫酸钡的 K_{sp} 大于 T_1 时硫酸钡的 K_{sp} , 故 $T_2 > T_1$, A 错误; 硫酸钡溶液中存在着沉淀溶解平衡, a 点在平衡曲线上, 加入 BaCl_2 , $c(\text{Ba}^{2+})$ 增大, 平衡左移, $c(\text{SO}_4^{2-})$ 应降低, 所以不能使溶液由 a 点变到 c 点, B 错误; 在 T_1 时 c 点溶液的 $Q > K_{\text{sp}}$, 有沉淀析出, 在 T_2 时 c 点溶液的 $Q < K_{\text{sp}}$, 没有沉淀析出, C 错误; 温度不变, K_{sp} 不变, 同一温度下, 在曲线上的任意一点 K_{sp} 都相等, D 正确。

13. 常温下, 几种难溶氢氧化物的饱和溶液中金属离子浓度的负对数与溶液的 pH 关系如图所示。



下列说法正确的是()

- A. a 点代表 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 饱和溶液
- B. $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] < K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3] < K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2] < K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]$
- C. 向 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Al}^{3+}$ 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 混合溶液中, 逐滴滴加稀 NaOH 溶液, Mg^{2+} 最先沉淀
- D. 在 $\text{pH} = 7$ 的溶液中, Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 能大量共存

答案 B

解析 a 点不在曲线上, 不能代表 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 饱和溶液, A 错误; 沉淀 Fe^{3+} 的 pH 最小, 因此 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的溶度积常数最小, 则 $K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3] < K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3] < K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_2] < K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2]$, B 正确; 根据溶度积常数大小可知向 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Al}^{3+}$ 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 混合溶液中, 逐滴滴加稀 NaOH 溶液, Al^{3+} 最先沉淀, C 错误; 根据图像可知在 $\text{pH} = 7$ 的溶液中, Fe^{3+} 、 Al^{3+} 不能大量存在, D 错误。

☑综合强化

14. (2020·济南高二质检)已知常温下, AgBr 的 $K_{\text{sp}}=4.9\times 10^{-13}$ 、 AgI 的 $K_{\text{sp}}=8.3\times 10^{-17}$ 。

(1)现向含有 AgI 的饱和溶液中:

①加入固体 AgNO_3 , 则 $c(\text{I}^-)$ _____ (填“变大”“变小”或“不变”, 下同);

②若改加更多的 AgI 固体, 则 $c(\text{Ag}^+)$ _____;

③若改加 AgBr 固体, 则 $c(\text{I}^-)$ _____, 而 $c(\text{Ag}^+)$ _____。

(2)现向含有 NaBr 、 KI 均为 $0.002\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液中加入等体积浓度为 $4\times 10^{-3}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ AgNO_3 溶液, 则产生的沉淀是_____ (填化学式); 若向其中再加入适量的 NaI 固体, 则最终可发生沉淀转化的总反应式表示为_____。

答案 (1)①变小 ②不变 ③变小 变大

(2) AgI 、 AgBr $\text{AgBr}(\text{s})+\text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgI}(\text{s})+\text{Br}^-(\text{aq})$

解析 (1)①加入 AgNO_3 固体, 使 $c(\text{Ag}^+)$ 增大, AgI 溶解平衡向左移动, $c(\text{I}^-)$ 减小。②改加更多的 AgI 固体, 仍是该温度下的饱和溶液, 各离子浓度不变。③因 AgBr 的溶解度大于 AgI 的溶解度, 所以改加 AgBr 固体时, 使 $c(\text{Ag}^+)$ 变大, 而使 AgI 的溶解平衡向生成 AgI 的方向移动, $c(\text{I}^-)$ 变小。(2)等体积混合后 $c(\text{Br}^-)=c(\text{I}^-)=0.001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $c(\text{Ag}^+)=2\times 10^{-3}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。因 $K_{\text{sp}}(\text{AgI})<K_{\text{sp}}(\text{AgBr})$, AgI 先沉淀, 当 I^- 完全沉淀时, 消耗 $c(\text{Ag}^+)=c(\text{I}^-)=0.001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 剩余 $c(\text{Ag}^+)=2\times 10^{-3}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}-0.001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}=0.001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $Q(\text{AgBr})=0.001\times 0.001=1\times 10^{-6}>4.9\times 10^{-13}$, 所以有 AgBr 沉淀生成; 若再向其中加入适量 NaI 固体时, 会有 AgBr 转化为 AgI 。

15. 已知: $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时, $K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)=1\times 10^{-10}$, $K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3)=1\times 10^{-9}$ 。

(1)医学上进行消化系统的 X 射线透视时, 常使用 BaSO_4 作内服造影剂。胃酸酸性很强(pH 约为 1), 但服用大量 BaSO_4 仍然是安全的, BaSO_4 不溶于酸的原因是(用溶解平衡原理解释)_____。

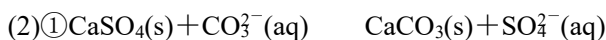
万一误服了少量 BaCO_3 , 应尽快用大量 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2SO_4 溶液洗胃, 如果忽略洗胃过程中 Na_2SO_4 溶液浓度的变化, 残留在胃液中的 Ba^{2+} 浓度仅为_____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

(2)长期使用的锅炉需要定期除水垢, 否则会降低燃料的利用率。水垢中含有 CaSO_4 , 可先用 Na_2CO_3 溶液处理, 使之转化为疏松、易溶于酸的 CaCO_3 , 而后用酸除去。

① CaSO_4 转化为 CaCO_3 的离子方程式为_____。

②请分析 CaSO_4 转化为 CaCO_3 的原理:_____。

答案 (1)对于平衡 $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq})+\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, H^+ 不能减少 Ba^{2+} 或 SO_4^{2-} 的浓度, 平衡不能向沉淀溶解的方向移动 2×10^{-10}

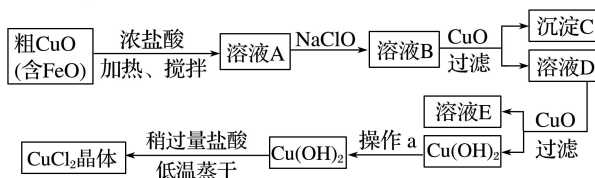


② CaSO_4 存在沉淀溶解平衡，加入 Na_2CO_3 溶液后， CO_3^{2-} 与 Ca^{2+} 结合生成 CaCO_3 沉淀， Ca^{2+} 浓度减小，使 CaSO_4 的沉淀溶解平衡向溶解方向移动

解析 $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ，由于 Ba^{2+} 、 SO_4^{2-} 均不与 H^+ 反应，无法使平衡移动。

$$c(\text{Ba}^{2+}) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)}{c(\text{SO}_4^{2-})} = 2 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

16. 工业上制取 CuCl_2 的生产流程如下：



请结合下表数据，回答问题：

物质	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
溶度积(25 °C)	8.0×10^{-16}	2.2×10^{-20}	4.0×10^{-38}
完全沉淀时的 pH 范围	≥ 9.6	≥ 6.4	3~4

- (1)在溶液 A 中加入 NaClO 的目的是_____。
- (2)在溶液 B 中加入 CuO 的作用是_____。
- (3)操作 a 的目的是_____。
- (4)在 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 中加入盐酸使 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 转化为 CuCl_2 ，采用稍过量盐酸和低温蒸干的目的是_____。

答案 (1)将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ，使后续分离更加完全

(2)调节溶液的 pH 为 3~4，使 Fe^{3+} 完全转化为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀

(3)洗涤 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 表面的可溶性杂质

(4)抑制 Cu^{2+} 的水解

解析 (1)由生产流程可知，加入 NaClO 的目的是将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ，以便在后续的生产中被除去。(2)溶液 B 呈酸性， Fe^{3+} 可溶，加入的 CuO 可以与酸反应，提高溶液的 pH，当溶液的 pH 为 3~4 时， Fe^{3+} 就会以 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的形式沉淀出来。(4) CuCl_2 溶液在蒸发结晶过程中会发生水解反应： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$ ，加入稍过量盐酸和采用低温蒸干可抑制 Cu^{2+} 水解，从而得到较高纯度的产品。