

模块二 元素及其化合物

第三章 金属及其化合物

第1节 钠及其化合物

刷基础

1. B 考查点 ▶ 钠及其化合物的性质、焰色试验

【解析】元素灼烧时均会产生发射光谱，只是灼烧铂丝时产生的光波的波长不在可见光范围内，所以火焰呈无色，且铂的活动性弱，不与其他物质发生化学反应，A 错误；氨基酸分子中既有氨基又有羧基，既可与酸反应又可与碱反应，是一种两性化合物，B 正确；用浓硫酸和 NaCl 固体制备少量 HCl，利用了浓硫酸的高沸点、难挥发和 HCl 的低沸点、易挥发的性质，C 错误；

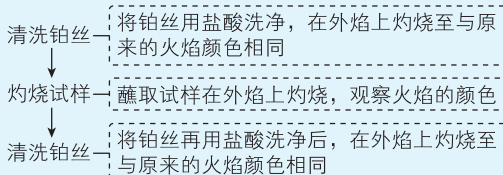
Na₂O₂ 用作呼吸面具中的供氧剂时，Na₂O₂ 与 CO₂ 及 H₂O 均能反应，Na₂O₂ 中 O 的化合价既降低又升高，既表现氧化性又表现还原性，D 错误。

关键点

Na₂O₂ 用作呼吸面具中的供氧剂时，Na₂O₂ 与 CO₂ 及 H₂O 均能反应，Na₂O₂ 中 O 的化合价既降低又升高，既表现氧化性又表现还原性，D 错误。

知识归纳

焰色试验的操作



2. D 考查点 ▶ Na₂CO₃ 与 NaHCO₃ 的性质

【解析】以 CCl₄ 和金属钠为原料，在 700 ℃ 时制造出纳米级金刚石粉末同时生成氯化钠，反应的化学方程式为 $4\text{Na} + \text{CCl}_4 \xrightarrow{\text{高温}} \text{C} + 4\text{NaCl}$ ，化学变化过程中元素守恒，所以制造过程中元素种类没有改变，A 正确；NaCl 与 Na₂CO₃ 均含有钠元素，所以灼烧时焰色相同，均是黄色，B 正确；NaHCO₃ 能与酸反应产生 CO₂，受热易分解产生 CO₂，因此治疗胃酸过多可以用 NaHCO₃，糕点生产也可以用 NaHCO₃，C 正确；金属钠放置空气中，钠变为氧化钠，氧化钠与水反应变为 NaOH，NaOH 潮解并与 CO₂ 反应变为 Na₂CO₃ 晶体，失水后最终会变成 Na₂CO₃，D 错误。

关键点

NaCl 与 Na₂CO₃ 均含有钠元素，所以灼烧时焰色相同，均是黄色，B 正确；NaHCO₃ 能与酸反应产生 CO₂，受热易分解产生 CO₂，因此治疗胃酸过多可以用 NaHCO₃，糕点生产也可以用 NaHCO₃，C 正确；金属钠放置空气中，钠变为氧化钠，氧化钠与水反应变为 NaOH，NaOH 潮解并与 CO₂ 反应变为 Na₂CO₃ 晶体，失水后最终会变成 Na₂CO₃，D 错误。

教材溯源

NaHCO₃ 受热分解会产生 CO₂ 气体，从而可用作膨松剂。

3. D 考查点 ▶ 钠元素的价类二维图

【解析】NaOH 溶液与过量 CO₂ 反应的化学方程式为 $\text{CO}_2 + \text{NaOH} \longrightarrow \text{NaHCO}_3$ ，可以实现转化关系①，A 正确；Na₂O₂ 与水、CO₂ 反应的化学方程式分别为 $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{NaOH} + \text{O}_2 \uparrow$ 、 $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 \longrightarrow 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2$ ，因此④⑤的转化均有 O₂ 产生，B 正确；向 Na₂CO₃ 溶液中不断滴加盐酸依次发生反应③ $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{NaHCO}_3$ 和反应⑧ $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ ，C 正确；反应②通过加热能实现物质转化： $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ ，也可加入 NaOH 溶液实现物质转化： $\text{NaHCO}_3 + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ，D 错误。

4. B 考查点 ▶ Na₂CO₃ 和 NaHCO₃ 的比较、焰色试验、Na₂O₂ 与 H₂O 的反应

【解析】K 元素的焰色必须透过蓝色钴玻璃观察，滤去黄光的干扰，A 正确；NaHCO₃ 不稳定，受热分解生成 Na₂CO₃、CO₂、H₂O，小试管中应该盛放 NaHCO₃，B 错误；过氧化钠和水反应生成氧

关键点

气,能使带火星的木条复燃,C 正确; Na_2CO_3 、 NaHCO_3 和稀盐酸

关键点

反应产生气泡的快慢不同,从而可以比较 NaHCO_3 和 Na_2CO_3 与等浓度盐酸反应的快慢,D 正确。

知识归纳

Na_2CO_3 、 NaHCO_3 的鉴别

(1) 固体——加热法:产生使澄清石灰水变浑浊的气体的是 NaHCO_3 固体。

(2) 溶液——可用气体法和加热法。

①气体法:滴入稀盐酸,立即产生气泡的是 NaHCO_3 溶液。

②加热法:将溶液加热片刻,有较多气泡产生的为 NaHCO_3 溶液(一般加热到 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 以上,就有明显的气泡产生)。

5. C 考查点 ▶ 化学键类别的判断、 Na_2O_2 与 H_2O 的反应

【解析】 Na_2O_2 中有离子键和非极性共价键, CaH_2 中只有离子键而不含非极性共价键,A 错误;反应①中水所含元素的化合价不发生变化,不涉及氧化还原反应,反应②中水发生还原反应,B 错误; Na_2O_2 由 Na^+ 和 O_2^{2-} 构成,阴、阳离子个数比为 $1:2$, CaH_2 由 Ca^{2+}

关键点

和 H^- 构成,阴、阳离子个数比为 $2:1$,C 正确;反应①中每生成 1 mol 氧气转移 2 mol 电子,②中每生成 1 mol 氢气转移 1 mol 电子,转移电子数相同时,生成氧气和氢气的物质的量之比为 $1:2$,D 错误。

刷提分

1. C 考查点 ▶ Na_2O_2 与水反应的实验探究

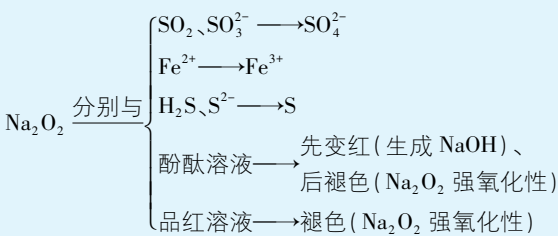
【解析】过氧化钠与水反应生成 NaOH 和氧气,则②中大量气泡的主要成分是氧气,A 错误;酚酞遇碱显红色,③中溶液变红,说明有碱性物质生成,B 错误;④中红色褪去,应该是由溶液中的强氧化性物质(H_2O_2)氧化酚酞导致酚酞变质,C 正确;⑤中加入

关键点

MnO_2 产生较多气泡,说明溶液中存在 H_2O_2 , MnO_2 的主要作用是作催化剂,D 错误。

知识归纳

Na_2O_2 强氧化性的表现



2. B 考查点 ▶ 钠及其化合物的性质

【解析】过氧化钠本身与水反应生成氧气,有气泡冒出,不能证明过氧化钠已经变质,A 错误;钠与 CO_2 反应生成碳和 Na_2CO_3 ,则产生黑、白两种固体,该反应为置换反应,B 正确; CO_3^{2-} 结合质子的能力强于 HCO_3^- ,盐酸少量时, Na_2CO_3 与盐酸反应生成 NaHCO_3 ,无明显现象,不会产生气泡,C 错误; NH_4Cl 溶液中加入一定量 NaOH 固体时,由于 NaOH 固体溶于水本身放热,所以不能据此说明 $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 是放热反应,D 错误。

教材溯源

过氧化钠是一种淡黄色的固体粉末,它与水或 CO_2 反应皆可产生氧气,所发生的反应常用于呼吸面具和潜水艇里的氧气供给。

3. D 考查点 ▶ 氯化钠的制备实验

【解析】装置丙中将 Na 分散到 NaCl 晶体中可以增大 Na 与 H_2 的接触面积,使反应更充分,A 正确;装置乙和装置丁起干燥作用,盛放的试剂可以分别为无水氯化钙和碱石灰,B 正确; H_2 不纯时

点燃易发生爆炸,实验过程中应先打开 K_1 ,用生成的氢气排出装置中的空气,一段时间后,尾端验纯后,再点燃酒精灯,C 正确;
1 mol Na 吸收 0.5 mol H_2 生成 1 mol NaH,NaH 与水的反应为归中反应,1 mol 氢化钠与足量水完全反应生成 1 mol 氢气,D 错误。

4. (1) 50 mL 三颈烧瓶

(2) 增加 $NaNO_2$ 溶解量 H_2O_2 受热分解;反应太剧烈,发生副反应 降低溶剂极性,促进亚硝酸钴钠析出 $2Co^{2+} + 12NO_2^- + H_2O_2 + 2CH_3COOH \rightleftharpoons 2[Co(NO_2)_6]^{3-} + 2CH_3COO^- + 2H_2O$
 $[Co(NO_2)_6]^{3-} \rightleftharpoons 6NO_2^- + Co^{3+}$,强酸电离出来的 H^+ 与 NO_2^- 结合生成 HNO_2 ,平衡正向移动

(3) 80 透过蓝色钴玻璃观察火焰的颜色,若呈紫色则含钾元素

考查点 ▶ 物质制备实验的探究、物质含量的测定、焰色试验的方案设计

【解析】(1) 仪器 a 为三颈烧瓶,烧瓶中所加液体体积为其容积的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$,所加液体的体积约为 $(15.0 + 6.0 + 7.0) \text{ mL} = 28.0 \text{ mL}$,因此三颈烧瓶的规格应该为 50 mL。

(2) 步骤①中,用热蒸馏水的目的是增加 $NaNO_2$ 的溶解量;温度过高, H_2O_2 会受热分解,也可能会使反应太剧烈,或发生副反应,因此加入双氧水前需要冷却;亚硝酸钴钠微溶于醇,步骤③中加入乙醇的作用是降低溶剂极性,促进亚硝酸钴钠晶体的析出;亚硝酸钴钠中钠显+1价, NO_2^- 显-1价,根据化合物中正负化合价代数和为0,钴的化合价是+3,说明 Co 的化合价发生变化,则 H_2O_2 在反应中起到氧化剂的作用, CH_3COOH 提供 H^+ ,用于反应过程中的电荷守恒。硝酸是强酸,强酸电离出来的 H^+ 与 NO_2^- 结合生成 HNO_2 ,使平衡 $[Co(NO_2)_6]^{3-} \rightleftharpoons 6NO_2^- + Co^{3+}$ 正向移动,产率降低。

(3) 已知关系式: $[Co(NO_2)_6]^{3-} \sim K_2Na[Co(NO_2)_6]$,足量 KCl 与 1.010 g 产品反应生成 0.872 g 亮黄色沉淀,则

$$n\{[Co(NO_2)_6]^{3-}\} = n\{K_2Na[Co(NO_2)_6]\} = \frac{0.872 \text{ g}}{436 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.002 \text{ mol}, m\{Na_3[Co(NO_2)_6]\} = 0.002 \text{ mol} \times 404 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.808 \text{ g}, \text{产品纯度为 } \frac{0.808 \text{ g}}{1.010 \text{ g}} \times 100\% = 80\%。$$

5. (1) a e f b c 将玻璃塞上的凹槽对准漏斗颈部的小孔

(2) 关闭止水夹 a,打开分液漏斗上方玻璃塞和下方旋塞,若观察到分液漏斗中液体不能滴入锥形瓶中,说明气密性良好

(3) $NH_3 + H_2O + NaCl + CO_2 \rightleftharpoons NH_4Cl + NaHCO_3 \downarrow$

(4) ①0.84 ②蒸发浓缩 冷却结晶

(5) 偏高

考查点 ▶ 以侯氏制碱法为载体考查 $NaHCO_3$ 的制备与性质

思路分析

根据实验流程知,浓氨水中加入氯化钠粉末形成饱和氨盐水后,再通入 CO_2 气体,发生反应: $NH_3 + H_2O + NaCl + CO_2 \rightleftharpoons NH_4Cl + NaHCO_3 \downarrow$,得到的 $NaHCO_3$ 晶体烘干后受热分解会生成 Na_2CO_3 、 CO_2 和水,从而制备得到纯碱;另一方面得到的母液主要溶质为 NH_4Cl ,再加入氯化钠粉末,使 NH_4Cl 析出。

【解析】(1) 要制备 $NaHCO_3$,需先选用装置 A 制备 CO_2 ,然后通入饱和 $NaHCO_3$ 溶液中除去 CO_2 中的 HCl,后与饱和氨盐水充分接触制备 $NaHCO_3$,其中过量的 CO_2 与挥发出来的氨气可被 NaOH 溶液吸收,也能充分利用 CO_2 制备得到少量 $NaHCO_3$,所以按气流方向正确的连接顺序应为 $a \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow g$;为使 A 中分液漏斗内的稀盐酸顺利滴下,可将分液漏斗上部的玻璃塞

打开或将玻璃塞上的凹槽对准漏斗颈部的小孔,平衡分液漏斗内的压强。

(4) ①对固体 NaHCO_3 充分加热,产生 CO_2 和水蒸气,反应的化学方程式为 $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$,将气体先通过足量浓硫酸吸收水蒸气,再通过足量 Na_2O_2 , Na_2O_2 与 CO_2 反应生成 Na_2CO_3 和氧气,化学方程式为 $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 = 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2$,根据反应方程式运用差量法分析可得,当质量增加 0.14 g 时,消耗的 CO_2 的质量为 $0.14 \text{ g} \times \frac{44}{28} = 0.22 \text{ g}$,其物质的量为 $\frac{0.22 \text{ g}}{44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.005 \text{ mol}$,根据关系式 $2\text{NaHCO}_3 \sim \text{CO}_2$ 可知,消耗的 NaHCO_3 的物质的量为 $2 \times 0.005 \text{ mol} = 0.01 \text{ mol}$,所以固体 NaHCO_3 的质量为 $0.01 \text{ mol} \times 84 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.84 \text{ g}$ 。

②根据溶解度随温度的变化曲线可以看出,氯化铵的溶解度随着温度的升高而不断增大,而氯化钠的溶解度随着温度的升高变化并不明显,所以要想使 NH_4Cl 沉淀充分析出并分离,可采用蒸发浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤、干燥的方法。

(5)称量前,若无水 NaHCO_3 保存不当,吸收了一定量水分,则 $n(\text{NaHCO}_3)$ 偏小,所配制的标准液的浓度偏小,所以用其标定盐酸浓度时,消耗的 NaHCO_3 标准液的体积会偏大,根据 $c(\text{测}) = \frac{c(\text{标})V(\text{标})}{c(\text{测})}$ 可知,最终会使 $c(\text{测})$ 偏高。

6. B 创新点 元素及其化合物与电化学相结合

思路分析

反应 I 为高温下电解熔融氢氧化锂, Li^+ 在阴极得到电子发生还原反应生成金属锂, OH^- 在阳极失去电子发生氧化反应生成氧气和水;一定条件下金属锂与氮气反应生成氮化锂;氮化锂发生水解反应生成氢氧化锂和氨气。

【解析】由思路分析可知,高温下电解熔融氢氧化锂,氢氧根离子在阳极失去电子发生氧化反应生成氧气和水,A 正确;金属 Li 的密度比煤油小,比石蜡油大,实验室 Li 常保存在石蜡油中,B 错误;由思路分析可知,反应 II 为一定条件下金属锂与氮气反应生成氮化锂,反应中氮元素的化合价降低,得电子被还原,氮气是该反应的氧化剂,C 正确;反应 I 为高温下电解熔融氢氧化锂生成锂、氧气和水,反应 III 为氮化锂发生水解反应生成氢氧化锂和氨气,则该方法中,氢氧化锂可以循环使用,D 正确。

第 2 节 铁及其化合物

刷基础

1. C 考查点 铁的应用及 Fe^{2+} 的检验

【解析】生铁含碳量高于钢,钢又分为碳素钢和合金钢两类,A 错误;铁强化酱油中铁为 Fe^{2+} (Fe^{2+} 是血红蛋白的核心功能基团,参与氧气的运输、血红蛋白的结构与功能调控),B 错误;铁元素是第 26 号元素,价电子排布式为 $3d^6 4s^2$,位于 d 区,C 正确;常用 KSCN 溶液检验 Fe^{3+} , Fe^{3+} 遇 KSCN 溶液变红色,D 错误。

知识归纳

检验 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 时的注意事项

(1) 检验 Fe^{2+} 时不能先加氯水后加 KSCN 溶液 (Fe^{3+} 会干扰检验),也不能将加 KSCN 后的混合溶液加入足量的氯水中 (氯水可能氧化 SCN^-)。

(2) Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Cl^- 同时存在时不能用酸性 KMnO_4 溶液检验 Fe^{2+} (Cl^- 能还原 KMnO_4 ,有干扰)。

(3) Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 同时存在的混合液中检验 Fe^{2+} 可用铁氰化钾 $\{\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]\}$ 溶液。

2. B 考查点 ▶ 元素化合价与物质的性质

【解析】Fe 与水在常温下几乎不发生反应,但在高温下与水蒸气发生反应 $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$, A 正确; b 为 FeO, c 为 Fe_2O_3 , FeO 和 Fe_2O_3 均不溶于水,均不能直接与水反应生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, B 错误; $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 在潮湿的空气中容易转变为 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, 反应方程式为 $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$, C 正确; h 为高铁酸盐,即含 FeO_4^{2-} , FeO_4^{2-} 具有强氧化性,能够杀菌消毒, +6 价的铁被还原成 Fe^{3+} 后, Fe^{3+} 水解形成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体具有较大的比表面积,可吸附悬浮杂质,因此 h 可以作净水剂, D 正确。

快解 在地壳中含量仅次于铝的元素是铁。

3. D 考查点 ▶ 碳酸亚铁的制备

思路分析

利用碳酸钠溶液除去废铁屑表面的油污,利用稀硫酸以及炭黑浸出,使铁屑转化为硫酸亚铁,硫化亚铁和稀硫酸反应生成硫酸亚铁和硫化氢,过滤除去滤渣,最后向溶液中加入碳酸氢铵溶液沉铁得到碳酸亚铁,据此解答。

【解析】常温下铁在浓硫酸中发生钝化,故“浸出”时不能把稀硫酸换成浓硫酸, A 错误;根据思路分析可判断“沉铁”过程中发生反应的离子方程式是 $\text{Fe}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{FeCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$, B 错误;根据已知信息②可知饱和碳酸钠溶液的碱性比较强,“沉铁”过程中如果使用饱和碳酸钠溶液,可能会产生氢氧化亚铁沉淀, C 错误;由于碳酸亚铁的干燥品在空气中稳定,湿品在空气中易被氧化,所以“沉铁”后得到的碳酸亚铁要用无水乙醇洗涤并隔绝空气干燥, D 正确。

易错警示 Fe、Al 与浓硫酸、浓硝酸在常温下发生钝化。

4. D 考查点 ▶ 铁及其化合物的性质

【解析】金属活动性: $\text{Fe} > \text{Cu}$, 则氧化性: $\text{Fe}^{2+} < \text{Cu}^{2+}$, FeCl_2 溶液中加入 Cu 片,溶液变蓝的原因是溶液中的溶解 O_2 将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , Fe^{3+} 再与 Cu 反应,使溶液逐渐变蓝, A 错误;往 FeCl_3 溶液中滴加 KSCN 溶液,再加入少量 KCl 固体,溶液先变成红色,后不会变浅,原因是 KCl 电离出的氯离子和钾离子不参与反应, KCl 固体也不会稀释溶液, B 错误;铁锈的主要成分为 Fe_2O_3 , 用盐酸浸泡带有铁锈的铁钉生成 Fe^{3+} , Fe^{3+} 与铁反应生成 Fe^{2+} , 滴加 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液生成蓝色沉淀, C 错误;向沸水中逐滴加 5~6 滴饱和 FeCl_3 溶液,持续煮沸,液体先变成红褐色胶体,然后加热,胶体发生聚沉析出红褐色沉淀, D 正确。

5. C 考查点 ▶ 铁的化合物的性质与制备

【解析】黄铁矿的杂质有石英,焙烧后的红渣的主要成分有 Fe_2O_3 (根据红渣的颜色可知) 和 SiO_2 , Fe_2O_3 是碱性氧化物,能够与硫酸反应产生可溶性 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, 而 SiO_2 是酸性氧化物,与硫酸不能发生反应,向反应后混合物中加入 FeS_2 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 转化为 Fe^{2+} , SiO_2 不反应,故“滤渣”中含 SiO_2 , A 正确;在加入 FeS_2 进行还原时,不生成 S 单质, Fe^{3+} 被还原为 Fe^{2+} , FeS_2 中 -1 价的 S 被氧化产生 SO_4^{2-} , 该反应的化学方程式为 $7\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{FeS}_2 + 8\text{H}_2\text{O} = 15\text{FeSO}_4 + 8\text{H}_2\text{SO}_4$, 则 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 为氧化剂, FeS_2 为还原剂,氧化剂与还原剂物质的量之比为 7:1, B 正确;“沉降、氧化”时,根据得失电子守恒、原子守恒、电荷守恒,结合物质的拆

分原则 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 为弱电解质, 在离子方程式中写化学式, 可得

易错点

该反应的离子方程式应该为 $4\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 8\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{FeOOH} \downarrow + 8\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$, C 错误; 根据选项 C 分析可知: “沉降、氧化” 时, 所得滤液 II 中主要含有的阳离子为 NH_4^+ , D 正确。

刷提分

1. D 考查点 ▶ 铁盐的转化

信息梳理

吸收步骤发生的反应为 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$, 氧化步骤发生的反应为 $4\text{FeSO}_4 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{O}$, 反应生成的硫酸铁可以循环使用。

【解析】“吸收”步骤在酸性环境中进行, 发生反应的离子方程式为 $2\text{Fe}^{3+} + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$, A 错误; 可用 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液检验亚铁离子, 以检验“氧化”是否完全, B 错误; 硫酸铁可以循环使用, SO_2 最终转化为硫酸, 则综合处理的总反应为 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{SO}_4$, C 错误; 向煤中加入石灰石可实现脱硫减排, 过程为 SO_2 转化为亚硫酸钙, 进一步被氧化为硫酸钙, 该过程存在氧化还原反应, D 正确。

2. D 考查点 ▶ FeCl_3 的制备实验设计

【解析】 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 晶体在 HCl 氛围中加热才能抑制 FeCl_3 的水解, 因此先打开分液漏斗活塞产生 HCl , 待 HCl 充满 c 装置后再点燃酒精灯, A 正确; 用 b 装置干燥 HCl , 故选用浓硫酸 (FeCl_3 易水解, 制备过程中, 需要“前干燥”“后防潮”), B 正确; 无水 FeCl_3 易升华, 遇冷也易凝华, d 中冰块的作用是降低无水 FeCl_3 蒸气的温度, 便于物质冷凝结晶, C 正确; 为防倒吸, f 中上层为 NaOH 溶液, 下层为 CCl_4 (使长导管的出气口与 NaOH 溶液不直接接触), D 错误。

知识归纳

盐溶液蒸干后剩余物质分析

- (1) 盐溶液水解生成难挥发性酸或酸根阴离子易水解的强碱盐, 蒸干后一般得原物质, 如 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 蒸干得 $\text{CuSO}_4(\text{s})$; $\text{K}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ 蒸干得 $\text{K}_2\text{CO}_3(\text{s})$ 。
- (2) 盐溶液水解生成易挥发性酸时, 蒸干后一般得对应的氢氧化物, 如 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ 蒸干得 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, 进一步灼烧得 Fe_2O_3 。

3. C 考查点 ▶ Fe 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 的相互转化

【解析】向 100 mL FeCl_3 和 CuCl_2 的混合溶液中逐渐加入铁粉, 铁首先和 FeCl_3 反应生成氯化亚铁, 再和 CuCl_2 反应生成铜和氯化亚铁, 加入铁粉的质量为 1.12 g 时开始有剩余固体, 则此时开始发生铁和 CuCl_2 的反应, 加入 3.36 g 铁粉时出现拐点 (剩余固

关键点

体增加的质量与继续加入铁粉的质量相等), 此时铁和 Cu^{2+} 反应完全, 之后反应停止。根据分析, c 点之前 Fe 和 Cu^{2+} 反应完全, 反应停止, A 错误; a 点时发生的反应为 $\text{Fe} + 2\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons 3\text{Fe}^{2+}$, 此时 Fe^{3+} 没有反应完, Cu^{2+} 没有反应, 所以溶液中金属阳离子有 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Fe^{2+} , B 错误; 根据不同阶段消耗铁粉的量可知原溶液

$$\text{液中 } n(\text{Fe}^{3+}) = 2n(\text{Fe}) = 2 \times \frac{1.12 \text{ g}}{56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.04 \text{ mol}, n(\text{Cu}^{2+}) =$$

$$\frac{3.36 \text{ g} - 1.12 \text{ g}}{56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.04 \text{ mol}, \text{原溶液中 } \text{CuCl}_2 \text{ 物质的量浓度为}$$

$$\frac{0.04 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, \text{C 正确; 结合 C 项分析, 原溶液中 } \text{FeCl}_3$$

的物质的量为 0.04 mol, D 错误。

考点拓展

(1) Fe^{2+} 既具有氧化性又具有还原性,以还原性为主。
(2) Fe^{3+} 具有较强的氧化性, Fe^{3+} 被 CO 、 Al 等还原为 Fe , 如 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$; Fe^{3+} 被 Fe 、 Cu 、 I^- 、 H_2S 等还原为 Fe^{2+} , 如 $2\text{Fe}^{3+} + \text{Cu} = 2\text{Fe}^{2+} + \text{Cu}^{2+}$ 。

4. B 考查点 ▶ 碳酸亚铁的制备

思路分析

为防止 Fe^{2+} 被氧化,制备碳酸亚铁应在无氧环境中进行,装置甲中制备的 CO_2 经过装置乙中饱和碳酸氢钠溶液除去 HCl 后,进入装置丙中排尽装置内的空气,装置丙中 HCO_3^- 与 Fe^{2+} 反应生成 FeCO_3 ,装置丁用于吸收多余的 CO_2 并避免空气进入装置丙中氧化目标产物。

【解析】装置甲中产生的 CO_2 可排出装置中的空气,开始时应先通一段时间 CO_2 排尽装置内的空气,防止 Fe^{2+} 被氧化,A 正确;装置甲中制备的 CO_2 经过饱和碳酸氢钠溶液除去 HCl ,而不是饱和碳酸钠溶液,B 错误;装置丙中 HCO_3^- 与 Fe^{2+} 反应生成 FeCO_3 ,同时生成二氧化碳、水,离子方程式为 $\text{Fe}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{FeCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$,C 正确;装置丙中生成的碳酸亚铁为沉淀,故反应后将装置丙中反应液静置、过滤、洗涤、干燥,可得到碳酸亚铁,D 正确。

5. BD 考查点 ▶ 物质的检验与分析

【解析】 Fe^{2+} 和其他还原性物质均可使酸性高锰酸钾溶液褪色,故酸性 KMnO_4 溶液褪色不能证明该补血口服液中一定含有 Fe^{2+} ,A 错误;向饱和 NaHCO_3 溶液中滴加一定量的浓 CaCl_2 溶液,能看到溶液变浑浊的同时产生气泡,说明反应生成碳酸钙、二氧化碳和水,反应的离子方程式为 $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$,B 正确;氯水具有氧化性,能将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , Fe^{3+} 遇到硫氰化钾溶液显红色,当氯水过量时,氯水可以氧化 SCN^- ,从而使溶液红色消失,体现的不是氯水的漂白性,C 错误;向 $\text{Co}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3$ 的水溶液中滴加硝酸银没有明显现象,说明

关键点

$\text{Co}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3$ 中氯离子在内界,与 Co^{3+} 形成配位键,则该配合物中 Co^{3+} 的配位数是 6,D 正确。

6. BC 考查点 ▶ 铁盐溶液的性质探究

【解析】向 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液中加入铁粉,溶液黄色变浅,绿色加

关键点

深,说明 Fe^{3+} 被 Fe 还原为 Fe^{2+} ,离子方程式为 $\text{Fe} + 2\text{Fe}^{3+} = 3\text{Fe}^{2+}$,A 正确; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液呈酸性,加入铁粉,同时有气泡逸出,还发生反应: $\text{Fe} + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2 \uparrow$,不可利用铁粉和 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液直接测定 $\text{Fe} + 2\text{Fe}^{3+} = 3\text{Fe}^{2+}$ 的 ΔH ,B 错误; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液中先加入少量 CuSO_4 再加入稍过量铁粉, Fe 会优先和 Fe^{3+} 反应,待 Fe^{3+} 反应完全后才会和 Cu^{2+} 反应,不会加快溶液黄色变浅的速率,C 错误; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液呈酸性,加入镁粉反应生成 H_2 ,溶液酸性减弱, Fe^{3+} 会水解生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 红褐色沉淀,D 正确。

考点拓展

根据加入铁粉有气泡产生,可以判断铁盐溶液中含有大量的 H^+ :配制铁盐溶液时,为防止 Fe^{3+} 的水解,要在酸性条件下进行配制。

7. (1)+1、+6、-2 三颈烧瓶

(2)① ② $3\text{KClO} + 2\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 10\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 6\text{KNO}_3 + 3\text{KCl} + 5\text{H}_2\text{O}$

(3)将装置 C 中的三颈烧瓶放在冰水浴中 使氯气与碱液充分混合反应,并及时散热,防止副反应发生

(4) 反应时间为 50~60 min, 反应温度为 5~10 °C

(5) 将滤液置于冰水浴中, 向滤液中加入饱和 KOH 溶液

考查点 ▶ 实验仪器、物质的性质、物质的提纯、化学方程式的书写等

思路分析

装置 A 中, MnO_2 与浓盐酸在加热条件下反应制取 Cl_2 ; 装置 B 中, 混有 HCl 的 Cl_2 通过饱和 NaCl 溶液, HCl 溶于饱和 NaCl 溶液中被除去; 装置 C 中, Cl_2 与 KOH 发生反应制得 KClO; 装置 D 用于吸收尾气中的 Cl_2 ; 再用制得的 KClO 溶液与 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液反应制备 K_2FeO_4 。

【解析】(1) K_2FeO_4 中 K、Fe、O 元素的化合价分别为 +1、+6、-2; 仪器 X 的名称为三颈烧瓶。

(2) 现有① $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液、②含 KOH 的 KClO 溶液, 为确保 Fe^{3+} 被氧化为 FeO_4^{2-} , 必须保证溶液为碱性, 所以混合两种溶液时, 应将 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液滴入含 KOH 的 KClO 溶液中, 发生反应的化学方程式是 $3\text{KClO} + 2\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 10\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 6\text{KNO}_3 + 3\text{KCl} + 5\text{H}_2\text{O}$ 。

(3) 为防止 Cl_2 与 KOH 在较高温度下反应生成 KClO_3 , 在不改变 KOH 溶液的浓度和体积的条件下, 控制反应在 0~5 °C 进行, 所以实验中可采取的措施是将装置 C 中的三颈烧瓶放在冰水浴中。在通入氯气的过程中, 既要保证 Cl_2 与 KOH 的充分接触, 又要保证 Cl_2 与 KOH 反应产生的热量能充分散失, 故不断搅拌的目的是使氯气与 KOH 溶液充分混合反应, 并及时散热, 防止副反应发生。

(4) 从图乙可以看出, K_2FeO_4 的理论产率最高约为 0.8, 则制备 K_2FeO_4 最适宜的条件范围是反应时间为 50~60 min、反应温度为 5~10 °C。

(5) K_2FeO_4 粗产品中含有 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、KCl 等杂质, 其提纯步骤及目的为①将一定量的 K_2FeO_4 粗产品溶于冷的 $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KOH 稀溶液中, 让 K_2FeO_4 、KCl 溶解, 而 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 不溶; ②过滤出 $\text{Fe}(\text{OH})_3$; ③将滤液置于冰水浴中, 向滤液中加入饱和 KOH 溶液, 以降低 K_2FeO_4 的溶解度, 从而使 K_2FeO_4 结晶析出; ④搅拌、静置、过滤, 用乙醇洗涤 2~3 次; ⑤在真空干燥箱中进行干燥。

考点拓展 用乙醇洗涤 K_2FeO_4 固体, 既可洗去其表面残留的杂质离子, 又能降低因溶解而造成的损失。

8. (1) 隔绝空气蒸发浓缩、冷却结晶、过滤 (2) D

(3) ① $4\text{FeSO}_4 + \text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{FeOOH} \downarrow + 4\text{H}_2\text{SO}_4$

② 反应生成的 Fe^{3+} 水解程度更大

创新点 ▶ 以物质的制备流程考查仪器的选择, 物质反应过程中 pH 变化的原理分析

【解析】(1) 溶液中的 Fe^{2+} 具有还原性, 易被空气中的氧气氧化为 Fe^{3+} , 所以由硫酸亚铁溶液制备硫酸亚铁晶体必须隔绝空气。

(2) 制备氧化铁黄的实验过程需要过滤(烧杯、玻璃棒、漏斗)、洗涤、干燥(干燥器), 不需要用到的仪器是蒸发皿, 故选 D。

(3) ① 0~ t_1 时段, 溶液 pH 快速下降是因为硫酸亚铁溶液与氧气反应生成氧化铁黄和硫酸, 反应过程中有大量的 H^+ 生成。

② 由方程式可知, $t_1 \sim t_2$ 时段, 反应过程中溶液 pH 继续平缓下降的原因可能是反应生成的 Fe^{3+} 水解程度更大。

第3节 金属材料 金属资源的利用

刷基础

1. B **考查点** ▶ 铁、铜的存在、冶炼及使用

【解析】 钢是铁和碳的合金, 合金是两种或两种以上金属或金属与非金属熔合而成的具有金属特性的物质, A 错误; 煤气化的主要成分为 CO 、 H_2 等, 炼铁常用的焦炉气主要成分为 CO 、 H_2 等,

所以炼铁常用的焦炉气可通过煤的气化获得, B 正确; 铁比铜活泼, 铜的冶炼、使用均早于铁, C 错误; 铁是比较活泼的金属, 容易与氧气等发生反应, 但自然界的陨铁中存在游离态的铁, D 错误。

2. B 考查点 ▶ 常见金属的冶炼

【解析】冶炼铜应使用热还原法, 不能通过加热黄铜矿得到铜单质, 故 A 错误; 工业上常用石灰石和焦炭制得的 CO 在高温下还原铁矿石炼铁, 如 $3\text{CO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$, 故 B 正确; 工业制镁是以海水为原料, 经过一系列过程获得无水氯化镁后, 电解熔融氯化镁: $\text{MgCl}_2(\text{熔融}) \xrightarrow{\text{电解}} \text{Mg} + \text{Cl}_2 \uparrow$, 故 C 错误; 氯化铝是共价化合物, 熔融状态下不导电, 工业制铝时应电解熔融的氧化铝: $2\text{Al}_2\text{O}_3(\text{熔融}) \xrightarrow[\text{电解}]{\text{冰晶石}} 4\text{Al} + 3\text{O}_2 \uparrow$, 故 D 错误。

3. D 考查点 ▶ 工业制 Mg 原理分析

【解析】采用皮江法制镁时, 需要高温的条件, 能耗高, 第一步反应产生 CO_2 , 不利于促进碳中和, A 正确; 根据皮江法制镁的化学方程式可得关系式 $\text{Mg} \sim \text{CaO} \cdot \text{MgO} \sim 2\text{CO}_2$, 若制得 2.4 t (10^5 mol) 金属镁, 则排放的 CO_2 为 $2 \times 10^5 \text{ mol}$ (8.8 t), B 正确; 虽然 Al 的金属性弱于 Mg, 但 Mg 的沸点低于 Al, 用 Al 代替 Si 还

易错点

原 $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$, 反应过程中, Mg 蒸气脱离反应体系, 使反应正向进行, 故可以用 Al 代替 Si 还原 $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$, C 正确; 应在 HCl 氛围中加热 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 制取无水 MgCl_2 , D 错误。

考点拓展

(1) 冶炼 Mg 时电解熔融 MgCl_2 而不电解 MgO , 原因是 MgO 的熔点高, 熔融时耗费更多能源, 增加生产成本。
(2) 冶炼 Al 时只能电解熔融 Al_2O_3 而不能电解 AlCl_3 , 原因是 AlCl_3 是共价化合物, 熔融态不导电; 加入冰晶石 (Na_3AlF_6) 的目的是降低 Al_2O_3 的熔点。

4. BD 考查点 ▶ 纳米 CuO 的制备

思路分析

印刷线路板酸性蚀刻废液中含有 CuCl_2 、 FeCl_2 和 FeCl_3 , 加 H_2O_2 把 FeCl_2 氧化为 FeCl_3 , 加氧化铜调节 pH 生成氢氧化铁沉淀, 过滤以除去 Fe^{3+} , 向滤液中加入草酸铵生成 CuC_2O_4 沉淀, 在空气中灼烧 CuC_2O_4 得到纳米 CuO。

【解析】“氧化”步骤中 FeCl_2 被 H_2O_2 氧化为 FeCl_3 , 发生反应的离子方程式为 $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, A 错误; 铁粉能还原 Fe^{3+} , 且能置换出溶液中的铜, 所以“调节 pH”步骤中不可用铁粉代替 CuO, B 正确; “过滤”操作中不能用玻璃棒搅拌漏斗中的浊液, C 错误; “沉淀”步骤产生的 CuC_2O_4 沉淀中可能含有杂质氯化铵和草酸铵, 氯化铵加热分解为氨气和氯化氢, 草酸铵加热分解为氨气、CO 和 CO_2 气体, 所以 CuC_2O_4 可不洗涤直接灼烧, 不会影响产品质量, D 正确。

5. D 考查点 ▶ 金属离子的性质

思路分析

铜冶金污水中含有铜离子、铁离子、锌离子、铝离子, 首先加入石灰乳除掉铁离子和部分铝离子, 过滤除去沉渣 I 后, 加入硫化钠溶液除去“混合槽 II”中的铜离子和锌离子, 再次过滤除去沉渣后即可得到“出水”。

【解析】由题表可知, 当 $\text{pH} = 4$ 时, 会生成氢氧化铁和氢氧化铝沉淀, 即“沉渣 I”中含有 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$, A 正确; 硫化钠溶液中的硫离子可以水解 (且主要是第一步水解), 使溶液显碱性, 其第一步水解的离子方程式为 $\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{OH}^-$, B 正确; 当铜离子和锌离子恰好完全沉淀时, 硫化铜和硫化锌都达到了

关键点

沉淀溶解平衡, 则 $\frac{c(\text{Cu}^{2+})}{c(\text{Zn}^{2+})} = \frac{c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-})}{c(\text{Zn}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CuS})}{K_{\text{sp}}(\text{ZnS})} = \frac{6.4 \times 10^{-36}}{1.6 \times 10^{-24}} = 4 \times 10^{-12}$, C 正确; 污水经过处理后, 其中含有钙离子以及没有除净的铝离子, 故“出水”应该经过阳离子交换树脂软化处理, 达到工业冷却循环用水的标准后, 才能使用, D 错误。

刷提分

1. C 考点 ▶ 盐类水解规律理解及应用、实验方案评价、铬的化合物的性质及转化

思路分析

三氯化铬易潮解, 易升华, 高温下易被氧气氧化, 所以实验过程中要确保装置内不能存在氧气和水蒸气, A 装置的作用是用 N_2 将 CCl_4 带入装置参与反应, B 装置作用是防止水蒸气进入反应装置, C 装置作用是收集产品, D 装置是处理 COCl_2 尾气, E 装置是发生装置。整个反应流程先用干燥的 N_2 排出装置内空气, 然后再通入 N_2 将 CCl_4 气体带入 E 装置中反应, 生成的 CrCl_3 和 COCl_2 进入 C 装置, CrCl_3 在 C 中凝华收集, 有毒的 COCl_2 进入 D 装置, 与 D 装置中 NaOH 溶液反应从而进行吸收处理, 为防止 D 装置中水蒸气进入反应装置, 还需在 C 和 D 装置中间加一个干燥装置。

【解析】 CrCl_3 易水解, 故在制备过程中, 不能有水汽进入制备和收集装置中, 收集装置 C 不能与尾气处理装置 D 直接连接, 实验装置合理的连接顺序为 $a \rightarrow h \rightarrow i \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow f$, A 错误; COCl_2 水解生成的两种酸性气体是 HCl 和 CO_2 , 尾气处理过程中, NaOH 溶液是过量的, CO_2 与过量的 NaOH 反应应生成 CO_3^{2-} , COCl_2 和 NaOH 溶液反应的离子方程式应该为 $\text{COCl}_2 + 4\text{OH}^- \longrightarrow \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}^-$, B 错误; 三氯化铬受热升华, 温度降低后容易在导管内凝华, 从而堵塞导管, C 正确; 反应前先通入氮气, 排除空气的干扰, 而反应结束后还需要持续通入 N_2 一段时间, 从而将 COCl_2 完全排入装置 D 被充分吸收, 并使 CrCl_3 在氮气氛围中冷却进入装置 C, 即前后两次的作用不相同, D 错误。

2. A 突破点 ▶ 溶度积常数相关计算, 物质分离、提纯综合应用, 钛的化合物的制备

思路分析

煤粉灰的主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 等, 加入硫酸酸浸过滤得到滤渣 1 和滤液, Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 与 H_2SO_4 反应形成 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 进入滤液, 钛主要以 TiOSO_4 形式存在, 滤渣 1 为二氧化硅; 加入铁粉还原铁离子生成亚铁离子, 结晶析出七水硫酸亚铁晶体, 过滤, 得到滤液 1 含硫酸铝、硫酸镁、 TiOSO_4 、少量硫酸亚铁; 水解后过滤, TiOSO_4 生成 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 经酸洗、水洗、干燥和煅烧后得到 TiO_2 ; 滤液 2 中含硫酸铝、硫酸镁和硫酸亚铁, 加入过氧化氢氧化亚铁离子为铁离子, 调节溶液 pH 使铝离子和铁离子全部沉淀, 过滤得到滤渣 2 为氢氧化铁和氢氧化铝沉淀; 滤液 3 含硫酸镁, 最终获取 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。

【解析】加入铁粉的作用是将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} , A 错误; “水解”的目的是让 TiOSO_4 和水反应生成 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 不能让 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 水解, 假设滤液 1 中 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 浓度均为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, Fe^{3+} 开始沉淀时溶液的 $c(\text{OH}^-) = \sqrt[3]{\frac{K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]}{c(\text{Fe}^{3+})}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 10^{-38}}{0.4}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx 10^{-12.3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{H}^+) = 10^{-1.7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 1.7$, $K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3] > K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]$, 则相同浓度时沉淀所需的

$c(\text{OH}^-): \text{Al}^{3+} > \text{Fe}^{3+}$, 则“水解”调 pH 不应高于 1.7, B 正确;

$\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 失去 2 个结晶水质量减少 19.1%, 则 $\frac{2 \times 18}{48 + 32 + 18x} \times$

$100\% = 19.1\%$, 解得 $x = 6$, C 正确; 当滤液 2 中 Al^{3+} 完全沉淀时, Fe^{3+} 也沉淀完全, 此时 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 都处于饱和状态, 滤液中存在

关键点

$\frac{c(\text{Al}^{3+})}{c(\text{Fe}^{3+})} = \frac{K_{\text{sp}}[\text{Al}(\text{OH})_3]}{K_{\text{sp}}[\text{Fe}(\text{OH})_3]} = \frac{1 \times 10^{-34}}{4 \times 10^{-38}} = 2.5 \times 10^3$, D 正确。

3. (1) 四 I B (2) Cu^{2+}

(3) $2\text{Au} + 8\text{HCl} + 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{HAuCl}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$

(4) AgCl

(5) $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \quad \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

(6) 3:4 (7) 氧原子电负性大、斥力大, 氧氧键不稳定

命题点 ▶ 工艺流程题, 涉及过渡元素在周期表中的位置、化学方程式和电极反应式的书写、氧化还原反应的计算、物质结构与性质分析等

思路分析

原料: 铜阳极泥(含 Cu、Ag、Au 等)

除杂元素: Cu

目标元素: Ag、Au

浸取 1: 加入硫酸、 H_2O_2 将 Cu 转化为 Cu^{2+} , Cu^{2+} 进入“浸出液 1”, Ag、Au 进入“浸渣 1”; 第(2)问

浸取 2: “浸渣 1”中加入盐酸和 H_2O_2 , Ag 被氧化成 AgCl 进入“浸渣 2”, Au 被氧化为 HAuCl_4 进入“浸出液 2”;

..... 第(3)问

浸取 3: AgCl 与 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 反应生成 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 进入“浸出液 3”; 第(4)问

电沉积: $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 在阴极发生还原反应生成单质 Ag, 同时在阴极区生成 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, 可在“浸取 3”中循环利用;

..... 第(5)问

还原: “浸出液 2”中的 HAuCl_4 被 N_2H_4 还原为 Au。

..... 第(6)问

【解析】(1) Cu 为 29 号元素, 位于元素周期表中第四周期第 I B 族。

(3) “浸取 2”步骤中, Au 在盐酸中被 H_2O_2 氧化为 HAuCl_4 , Au、HCl 和 H_2O_2 为反应物, HAuCl_4 、 H_2O 为生成物, 根据得失电子守恒和质量守恒可得化学方程式为 $2\text{Au} + 8\text{HCl} + 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{HAuCl}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$ 。

(5) 根据流程图可知, “电沉积”生成单质 Ag, 说明 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 在阴极发生还原反应, 根据电荷守恒和质量守恒可配平电极反应式为 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$; 根据原子守恒可知, 阴

关键点

极区同时有 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 生成, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 可在“浸取 3”中循环利用。

(6) “还原”时“浸出液 2”中的 HAuCl_4 被 N_2H_4 还原为 Au, Au 元素的化合价从 +3 价降低到 0 价, N_2H_4 被氧化为 N_2 , N 元素的化合价从 -2 价升高到 0 价, 1 个 N_2H_4 分子中有 2 个氮原子, 根据得失电子守恒知, 被氧化的 N_2H_4 与产物 Au 的物质的量之比为 3:4。

全章真题训练

刷真题

刷本源

1. A 命题点 ▶ 分离型微工艺流程分析

思路分析

钢渣成分包括 CaO 、 SiO_2 、 FeO 、 Fe_2O_3 等, 流程关键步骤如下。

酸浸: 盐酸处理钢渣, 溶解 CaO 、 FeO 、 Fe_2O_3 , 生成 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 等进入滤液 I, SiO_2 不溶于盐酸, 进入滤渣 I。

分离: 滤液 I 中加入试剂 X 和草酸, 进行分离(过滤), 得到滤液 II 和滤渣 II, 结合已知信息和题图流程知, $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ 能溶于水, CaC_2O_4 与 FeC_2O_4 的 K_{sp} 相近, 若将 Fe、Ca 元素分离, 应将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , 使 Fe 元素以 $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ 形式存在于滤液 II 中, 则试剂 X 应是氧化剂, 先将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} , 再加入 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 生成草酸铁, 进入滤液 II, 滤渣 II 是草酸钙。

碱浸: 滤渣 I 用 NaOH 溶液处理, 则 SiO_2 转化为 Na_2SiO_3 进入浸取液中。

转化: 向浸取液中加入试剂 Y, 经过一系列操作得到 SiO_2 , 则试剂 Y 应是酸。

【解析】 由思路分析可知, 试剂 X 应是氧化剂, 若选用 Fe 粉, Fe 会将 Fe^{3+} 还原, A 错误; 试剂 Y 可选盐酸, B 正确; “分离”时 Fe^{2+} 被氧化, 生成的草酸铁进入滤液 II 中, C 正确; 草酸是弱酸, 如果“酸浸”后滤液 I 的 pH 过小, 会抑制草酸的电离, 溶液中没有足够的草酸根离子, 则滤渣 II 质量减少, D 正确。

2. CD 命题点 ▶ 制备 Cu_2O 的工艺路线分析

【解析】 反应 I 是 Cu 与浓 H_2SO_4 反应生成 SO_2 和 CuSO_4 , Cu 和 S 的化合价发生变化, 属于氧化还原反应, 反应 II 所得溶液 pH 在 3~4 之间, 则 $c(\text{H}^+)$ 在 $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 结合亚硫酸

$K_{\text{a}2} = 6.3 \times 10^{-8}$ 可得, $\frac{c(\text{SO}_3^{2-})}{c(\text{HSO}_3^-)} = \frac{K_{\text{a}2}}{c(\text{H}^+)}$, 在 $6.3 \times 10^{-5} \sim 6.3 \times 10^{-4}$

之间, 故反应 II 所得溶液中溶质以 NaHSO_3 为主, 即反应 II 是 SO_2 与 Na_2CO_3 反应生成 CO_2 和 NaHSO_3 , 元素化合价没有发生变化, 属于非氧化还原反应, 反应 III 中 Cu^{2+} 转化为 Cu_2O (Cu 为 +1 价), 化合价发生变化, 属于氧化还原反应, A 错误; 由 H_2SO_3

的 $K_{\text{a}2} = 6.3 \times 10^{-8}$ 可知, 当 $\text{pH} = 11$ 时, $\frac{c(\text{SO}_3^{2-})}{c(\text{HSO}_3^-)} = \frac{K_{\text{a}2}}{c(\text{H}^+)} =$

$\frac{6.3 \times 10^{-8}}{10^{-11}} = 6.3 \times 10^3$, 溶液中溶质主要为 Na_2SO_3 , Na_2SO_3 极易被

空气中的氧气氧化, 低温真空蒸发可防止 Na_2SO_3 被氧化, 同时可降低蒸发温度, 减少能耗, B 错误; 溶液 Y 的溶质主要为 Na_2SO_3 , Na_2SO_3 可以吸收 SO_2 (气体 I), 故 Na_2SO_3 溶液可返回反应 II 所在操作单元循环利用, 降低生产成本, C 正确; 结合 C 项分析知, 化合物 X 为 Na_2SO_3 , Na_2SO_3 水解使溶液显碱性, 在

Cu_2O 产量不变时, $\frac{n(\text{X})}{n(\text{CuSO}_4)}$ 增大, 即 $n(\text{CuSO}_4)$ 不变时, 参与反应

III 的 Na_2SO_3 增多, 可使溶液酸性减弱, pH 增大, 需补加 NaOH 的量减少, D 正确。

3. D 命题点 ▶ 工艺流程分析

思路分析

①“浸取”：CuS 精矿（含有 Zn、Fe 元素的杂质）在高压 O_2 作用下，用硫酸溶液浸取，CuS 反应产生 $CuSO_4$ 、S 和 H_2O ， Fe^{2+} 被氧气氧化为 Fe^{3+} ，Zn 元素仅以 Zn^{2+} 形式进入溶液。

②“中和调 pH”：通入 NH_3 调节溶液 pH，使 Fe^{3+} 形成 $Fe(OH)_3$ 沉淀，而 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 仍以离子形式存在于溶液中。

③“过滤”：过滤得到的固体 X 中含有 S、 $Fe(OH)_3$ ；滤液中含有 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 。

④“还原”：向滤液中通入高压 H_2 ，根据活动性： $Zn > H > Cu$ ， Cu^{2+} 被还原为 Cu 单质。

⑤“过滤”：通过过滤分离出来 Cu；而 Zn 元素仍然以离子形式存在于溶液中，再经一系列处理可得到 Zn 单质。

【解析】由思路分析③⑤可知，A 正确；CuS 难溶于硫酸，在溶液中存在沉淀溶解平衡 $CuS(s) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq) + S^{2-}(aq)$ ，增大 O_2 的压强即增大 O_2 的浓度，可以消耗 S^{2-} ，使之转化为 S，使平衡正向移动，促进金属离子的浸出，B 正确；用 NH_3 调节溶液 pH 时，要使 Fe^{3+} 完全转化为沉淀，而 Cu、Zn 元素仍以离子形式存在于溶液中，结合离子沉淀的 pH 范围，可知中和时应该调节溶液 pH 范围为 3.2~4.2，C 正确；用 H_2 还原 Cu^{2+} 变为 Cu 单质时， H_2 失去电子被氧化为 H^+ ，若还原时增大溶液的酸度，即 $c(H^+)$ 增大，不利于 H_2 失去电子，故不利于 Cu 的生成，D 错误。

4. (1) $[B_4O_5(OH)_4]^{2-} + 5H_2O \rightleftharpoons 2B(OH)_3 + 2[B(OH)_4]^-$ 9.24

(2) $CaSO_4$ 、 $Mg(OH)_2$ 5.5×10^{-3} CaO 、 Na_2CO_3

(3) 除去过量的 Ca^{2+} 稀盐酸 Li^+ 提前析出，产物产率下降

命题点 ▶ 制备 Li_2CO_3 的工艺流程，涉及离子方程式、滤渣成分分析、试剂选择等

思路分析

高镁卤水中含 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Li^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、硼酸根，加入盐酸脱硼后，浓缩结晶、煅烧，部分 $MgCl_2$ 水解，并受热转化为 MgO ，即水浸后所得固体为 MgO ，加入生石灰可除去 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} ，加入纯碱可除去过量的 Ca^{2+} ，即滤渣 I 为 $CaSO_4$ 、 $Mg(OH)_2$ ，滤渣 II 为 $CaCO_3$ ，加入稀盐酸除去 CO_3^{2-} 后，浓缩可析出 NaCl 并富集 Li^+ ，加饱和 Na_2CO_3 溶液沉锂后可获得产物。

【解析】(1) $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$ 水解的离子方程式为 $[B_4O_5(OH)_4]^{2-} + 5H_2O \rightleftharpoons 2B(OH)_3 + 2[B(OH)_4]^-$ ，水解产生的 $B(OH)_3$ 与 $[B(OH)_4]^-$ 浓度相同，则 $K_a = \frac{c(H^+) \cdot c\{[B(OH)_4]^{-}\}}{c[B(OH)_3]} = c(H^+) = 10^{-9.24}$ ，则 $pH = -\lg c(H^+) = 9.24$ 。

(2) 由思路分析可知，滤渣 I 的主要成分为 $CaSO_4$ 、 $Mg(OH)_2$ 。 $c(Li^+) = 2.0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ ， $K_{sp}(Li_2CO_3) = 2.2 \times 10^{-2}$ ，为不使 Li_2CO_3 沉淀，则 $c(CO_3^{2-}) \leq \frac{K_{sp}(Li_2CO_3)}{c^2(Li^+)} = 5.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 。若脱硼后，直接进行精制 I，其中含有较多的 HCl 和 Mg^{2+} ，会大大增加生石灰和纯碱的用量。

(3) 精制 II 中加入 Na_2CO_3 的目的是除去过量的 Ca^{2+} ，精制 II 中加入的 Na_2CO_3 过量，操作 X 的目的应为酸化除 CO_3^{2-} ，防止 Li^+ 在浓缩步骤中提前析出，产物产率下降。

刷借鉴

5. C **命题点** ▶ 微工艺流程分析，涉及试剂的作用、 K_{sp} 的应用等

思路分析

原料:高锰钴矿(含 MnO_2 、 Co_3O_4 和少量 Fe_2O_3)

目标:提取 Mn 、 Co 、 Fe 元素

浸出:稻草(含大量纤维素)在稀硫酸的催化作用下发生水解生成葡萄糖,葡萄糖作还原剂,在酸性条件下,将高价的金属元素还原(具体哪种元素被还原,可由后续流程分析)。

沉铁:向“浸出”后所得滤液中加入 Na_2CO_3 , Fe 元素转化为 FeOOH ,实现 Fe 元素的分离, FeOOH 与 Fe_2O_3 中 Fe 元素均为 +3 价,说明“浸出”过程中 Fe 元素未被还原。

沉钴:向“沉铁”后所得滤液中加入 Na_2S , Co 元素转化为 CoS ,实现 Co 元素与 Mn 元素的分离,此时 Mn 、 Co 元素均为 +2 价, MnO_2 中 Mn 元素为 +4 价, Co_3O_4 中 Co 元素平均化合价为 $+\frac{8}{3}$ 价,可知“浸出”过程中 Mn 、 Co 元素均被还原。

【解析】 H_2SO_4 催化纤维素的水解,又能使金属氧化物溶解,既作催化剂又作浸取剂,A 正确;稻草来源于农业生产,是可再生能源,B 正确;由思路分析可知,“浸出”后 Fe 元素以 Fe^{3+} 形式存在,未被还原,C 错误;加入 Na_2S ,生成 CoS 沉淀,则 CoS 在溶液

关键点

中存在沉淀溶解平衡,说明“沉钴”后上层清液为 CoS 饱和溶液,则 $c(\text{Co}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-}) = K_{\text{sp}}(\text{CoS}) = 10^{-20.4}$,D 正确。

6. C 命题点 ▶ 简单工艺流程分析,涉及电离平衡与水解平衡等

【解析】 H_3PO_4 属于中强酸,能与较活泼金属单质发生反应,因此“中和”工序若在铁质容器中进行,应先加入 Na_2CO_3 溶液,再少量多次加入 H_3PO_4 溶液,避免铁与 H_3PO_4 溶液发生反应,A 正确;“中和”工序中可能得到多种酸式盐,为了使溶液中的溶质主要是 Na_2HPO_4 ,可在溶液 pH 偏小和偏大时分别用 NaOH 和 H_3PO_4 调节溶液 pH,同时避免引入其他杂质,B 正确;“结晶”工序中溶液的主要溶质是 Na_2HPO_4 ,存在 HPO_4^{2-} 的电离和水解平衡, HPO_4^{2-} 的水

$$\text{解平衡常数 } K_h = \frac{c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{HPO}_4^{2-})} =$$

$$\frac{c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) \cdot c(\text{OH}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{HPO}_4^{2-}) \cdot c(\text{H}^+)} = \frac{K_w}{K_{a2}} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.2 \times 10^{-8}} > K_{a3}, \text{则 } \text{HPO}_4^{2-} \text{ 的水}$$

解程度大于其电离程度,此时溶液显碱性,C 错误; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 易风化,为避免其在较高温度下失去结晶水,“干燥”工序需在低温下进行,D 正确。

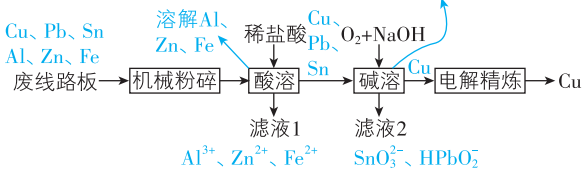
关键点拨

由 $K_{a2} < 1.0 \times 10^{-7}$ 即可知 Na_2HPO_4 溶液呈碱性。

7. C 命题点 ▶ 微工艺流程,涉及离子方程式判断、电解精炼等

思路分析

$\text{Sn} + 2\text{OH}^- + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{SnO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ 、 $2\text{Pb} + 2\text{OH}^- + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{HPbO}_2^-$, C 正确



【解析】“机械粉碎”的目的是增大反应物的接触面积,提高酸溶效率,不能将合金变为单质,A 错误;“酸溶”时,铁与稀盐酸反应产生 Fe^{2+} ,B 错误;“电解精炼”时,粗铜在阳极失电子发生氧化反应,D 错误。

8. (1) 5s^2 (2) Ca^{2+} 、 Mg^{2+}



(4) 温度升高, Ba^{2+} 与 SrSO_4 的碰撞次数增加,导致锶的浸出率加

快 (5) BaSO_4 、 SiO_2

(6) 窝穴体 a 的空腔与 Sr^{2+} 的粒径相匹配, 可通过分子间相互作用形成超分子 (7) a

命题点 ▶ 工艺流程, 涉及价电子排布式、离子方程式、 K_{sp} 应用、条件控制及原因分析、超分子、分离提纯等

思路分析

原料: 含锶废渣 (主要含有 SrSO_4 、 SiO_2 、 CaCO_3 、 SrCO_3 和 MgCO_3 等)

除杂元素: Si 、 Ca 、 Mg 、 S 、 C

目标产物: $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

酸浸: 原料中的碳酸盐溶于稀盐酸得到含 Sr^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的溶液; 第(2)问

SrSO_4 、 SiO_2 难溶于酸, 为浸出渣 1 的主要成分;

盐浸: 由于 $K_{\text{sp}}(\text{SrSO}_4) > K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)$, 所以加入 BaCl_2 溶液后, 发生反应 $\text{SrSO}_4 + \text{Ba}^{2+} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4 + \text{Sr}^{2+}$, SrSO_4 转化为易溶于水的 SrCl_2 , BaSO_4 、 SiO_2 难溶, BaSO_4 、 SiO_2 和未转化的 SrSO_4 为浸出渣 2 的主要成分; 第(3)(5)问
所得 SrCl_2 溶液经结晶得产物 $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。

【解析】(1) Sr 位于元素周期表第五周期第 II A 族, 所以其基态原子价电子排布式为 $5s^2$ 。

(3) 根据“盐浸”时的反应列三段式如下:

	SrSO_4	$+$	Ba^{2+}	\rightleftharpoons	BaSO_4	$+$	Sr^{2+}
起始量/mol	0.01		0.011		0		0
变化量/mol	0.01		0.01		0.01		0.01
反应终点量/mol	0		0.001		0.01		0.01

可得充分反应后 $c(\text{Ba}^{2+}) = \frac{0.001 \text{ mol}}{100 \times 10^{-3} \text{ L}} = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Sr}^{2+}) =$

$\frac{0.01 \text{ mol}}{100 \times 10^{-3} \text{ L}} = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 又 $c(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4)}{c(\text{Ba}^{2+})} =$

$\frac{10^{-9.97}}{0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 10^{-7.97} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 可得 $c(\text{Sr}^{2+}) \cdot c(\text{SO}_4^{2-}) =$

$10^{-8.97} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。

(6) 窝穴体 a 的空腔与 Sr^{2+} 的粒径相匹配, 可通过分子间相互作用形成超分子识别 Sr^{2+} , 达到提取其中的 Sr^{2+} 的目的。

(7) Sr 为第五周期第 II A 族金属元素, 金属性强于 K , 所以 Sr^{2+} 不发生水解, 可直接加热脱水制备无水 SrCl_2 , 选 a。