

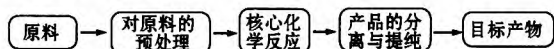
# 高考化工流程题的常见类型及解法

山东 姚德霞

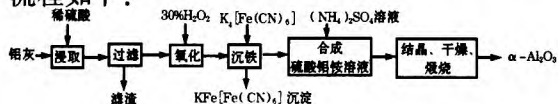
分析近五年高考化学试题发现,化学工艺流程题已悄然成为高考命题专家的“新宠儿”,每年全国各省市高考试题都对其进行重点考查。此类试题将化工生产中的生产流程用框图形式表示出来,并根据生产流程中有关的化学知识步步设问,是对传统无机框图题的创新设计。它以现代工业生产或模拟工业生产为基础,与化工生产成本、产品提纯、环境保护等相融合,考查物质的制备、检验、分离及提纯等基本实验原理在化工生产中的实际应用,要求学生依据工艺流程图分析原理,紧扣信息,抓住关键,准确答题,充分体现了高考命题中“了解化学与社会生活、科学技术的密切联系”“关注与现代社会有关的化学问题,增强对自然和社会的责任感”的指导思想。

## 一、物质制备类化工流程题

物质制备类化工流程题常以某种物质(目标产物)的制备为基础,涉及原料的预处理、物质的制备原理、产品的分离及提纯等具体步骤,兼顾考查元素及其化合物、化学基本概念和基本理论、化学实验等知识,具有综合性强、知识覆盖面广、思维容量大等特点。一个完整的物质制备类化工生产流程一般包括以下具体内容:



例 1. 以冶铝的废弃物铝灰为原料制取超细  $\alpha$ -氧化铝,既降低环境污染又可提高铝资源的利用率。已知铝灰的主要成分为 Al 和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (含少量杂质  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),其制备工艺流程如下:



(1)铝灰中氧化铝与硫酸反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

(2)图中“滤渣”的主要成分为\_\_\_\_\_ (填化学式)。

(3)加 30% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液发生的离子反应方程式为\_\_\_\_\_。

(4)煅烧硫酸铝铵晶体,发生的主要反应为  $4[\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}] \xrightarrow{1240^\circ\text{C}} 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{N}_2 \uparrow + 5\text{SO}_3 \uparrow + 3\text{SO}_2 \uparrow + 53\text{H}_2\text{O}$ , 将产生的气体通过下图所示的装置。



①集气瓶中收集到的气体是\_\_\_\_\_ (填化学式)。

②足量饱和  $\text{NaHSO}_3$  溶液吸收的物质除大部分  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  外还有\_\_\_\_\_ (填化学式)。

③  $\text{KMnO}_4$  溶液褪色 ( $\text{MnO}_4^-$  还原为  $\text{Mn}^{2+}$ ), 发生的离子反应方程式为\_\_\_\_\_。

解析: (1) 铝灰中含有 Al、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  及少量  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  杂质, 利用稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  浸取铝灰的过程中,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  均发生反应生成相应的盐和水, 其中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  反应的化学方程式为  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ 。(2) 用稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  浸取铝灰,  $\text{SiO}_2$  不溶于稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 其他物质均生成可溶性盐, 过滤后  $\text{SiO}_2$  进入滤渣。(3)  $\text{FeO}$  与稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  反应生成  $\text{FeSO}_4$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 其中  $\text{Fe}^{2+}$  具有较强的还原性, 加入 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液时,  $\text{Fe}^{2+}$  被氧化成  $\text{Fe}^{3+}$ , 离子方程式为  $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。(4) ①煅烧硫酸铝铵晶体得到  $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{SO}_3$  和  $\text{SO}_2$  等气体, 混合气体通过饱

和  $\text{NaHSO}_3$  溶液时,  $\text{NH}_3$ 、 $\text{SO}_3$  被吸收, 通过  $\text{KMnO}_4$  溶液时  $\text{SO}_2$  被吸收, 最后剩余  $\text{N}_2$ , 而  $\text{N}_2$  不溶于水, 因此集气瓶中收集到的气体是  $\text{N}_2$ 。

②  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的酸性强于  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , 而  $\text{NH}_3$  易溶于水, 因此混合气体通过足量饱和  $\text{NaHSO}_3$  溶液,  $\text{SO}_3$  和  $\text{NH}_3$  均被吸收, 同时产生  $\text{SO}_2$  气体。

③  $\text{KMnO}_4$  溶液具有强氧化性,  $\text{SO}_2$  具有强还原性, 二者发生氧化还原反应,  $\text{MnO}_4^-$  被还原为  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{SO}_2$  被氧化为  $\text{SO}_4^{2-}$ , 离子方程式为  $2\text{MnO}_4^- + 5\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ 。

答案: (1)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

(2)  $\text{SiO}_2$

(3)  $2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$

(4) ①  $\text{N}_2$  ②  $\text{SO}_3$ 、 $\text{NH}_3$  ③  $2\text{MnO}_4^- + 5\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$

方法技巧: 物质制备类化工流程题的解题方法和技巧:

(1) 总览物质制备的化学工艺流程, 明确原料及其成分、目标产物。

(2) 明确化工生产流程: 原料 → 对原料的预处理 → 核心化学反应 → 产品的分离、提纯 → 目标产物。

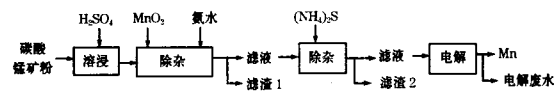
(3) 明确主要的化工生产原理, 包括主反应和副反应的化学方程式、离子方程式等。

(4) 了解常见的与化工生产有关的操作方法及作用, 尤其要注意对原料进行预处理的常用方法: ① 研磨: 减小固体的颗粒度, 增大固体与液体或气体间的接触面积, 加快反应速率; ② 水浸: 与水接触反应或溶解; ③ 酸浸: 与酸接触反应或溶解, 使可溶性金属离子进入溶液, 不溶物通过过滤除去; ④ 灼烧: 除去可燃性杂质或使原料初步转化, 如从海带中提取碘时的灼烧就是为了除去可燃性杂质; ⑤ 煅烧: 改变结构, 使一些物质能溶解, 并使一些杂质在高温下氧化、分解, 如煅烧高岭土。

(5) 结合化学反应原理, 灵活运用控制反应条件的常见方法: ① 调节溶液的 pH: 常用于使

某些金属离子形成氢氧化物沉淀, 调节 pH 所需的物质一般应满足两点, 一是能与  $\text{H}^+$  反应, 使溶液 pH 增大, 二是不引入新杂质; ② 控制温度: 根据需要升温或降温, 改变反应速率或使平衡向需要的方向移动; ③ 趁热过滤: 防止某物质降温时析出; ④ 冰水(或有机溶剂)洗涤: 洗去晶体表面的杂质离子, 并减少晶体在洗涤过程中的溶解损耗。

例 2. 锰是冶炼工业中常用的添加剂。以碳酸锰矿(主要成分为  $\text{MnCO}_3$ , 还含有铁、镍、钴等碳酸盐杂质)为原料生产金属锰的工艺流程如下:



已知  $25^\circ\text{C}$ , 部分物质的溶度积常数如下:

物质	$K_{sp}$
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$2.1 \times 10^{-13}$
$\text{Co}(\text{OH})_2$	$3.0 \times 10^{-16}$
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	$5.0 \times 10^{-16}$
$\text{MnS}$	$1.0 \times 10^{-11}$
$\text{CoS}$	$5.0 \times 10^{-22}$
$\text{NiS}$	$1.0 \times 10^{-22}$

(1) 步骤 I 中,  $\text{MnCO}_3$  与硫酸反应的化学方程式是\_\_\_\_\_。

(2) 步骤 II 中,  $\text{MnO}_2$  在酸性条件下可将  $\text{Fe}^{2+}$  离子氧化为  $\text{Fe}^{3+}$  离子, 反应的离子方程式是\_\_\_\_\_, 加氨水调节溶液的 pH 为 5.0~6.0, 以除去  $\text{Fe}^{3+}$ 。

(3) 步骤 III 中, 滤渣 2 的主要成分是\_\_\_\_\_。

(4) 步骤 IV 中, 在\_\_\_\_\_ (填“阴”或“阳”) 极析出 Mn, 电极反应方程式为\_\_\_\_\_。

(5) 电解后的废水中还含有  $\text{Mn}^{2+}$ , 常用石灰乳进行一级沉降得到  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  沉淀, 过滤后再向滤液中加入适量  $\text{Na}_2\text{S}$ , 进行二级沉降。进行二级沉降的目的是\_\_\_\_\_。

解析: (1)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的酸性强于  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , 因此  $\text{MnCO}_3$  与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  反应生成  $\text{MnSO}_4$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 化学方程式为  $\text{MnCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。(2)  $\text{MnO}_2$  在酸性条件下可将

$\text{Fe}^{2+}$  氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ , 而其本身被还原为  $\text{Mn}^{2+}$ , 结合电荷守恒和元素守恒可写出反应的离子方程式:  $\text{MnO}_2 + 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。(3)步骤 II 中加氨水调节溶液的 pH 为 5.0~6.0, 以除去  $\text{Fe}^{3+}$ , 而  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  则进入滤液。由表中各物质的溶度积常数可知,  $\text{CoS}$ 、 $\text{NiS}$  的溶解度远小于  $\text{MnS}$  的溶解度, 再向滤液中加入  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  则生成  $\text{CoS}$ 、 $\text{NiS}$  沉淀析出, 故滤渣 2 的主要成分为  $\text{CoS}$ 、 $\text{NiS}$ 。(4)电解步骤 III 的滤液,  $\text{Mn}^{2+}$  在阴极得到电子被还原生成  $\text{Mn}$ , 电极反应式为  $\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Mn}$ 。(5)沉降电解后废水中的  $\text{Mn}^{2+}$ , 加入廉价的石灰乳进行一级沉降得到  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  沉淀, 可除去废水中的大部分  $\text{Mn}^{2+}$ , 再向滤液中加入适量  $\text{Na}_2\text{S}$ , 进行二级沉降得到  $\text{MnS}$ , 以进一步去除废水中的  $\text{Mn}^{2+}$ 。

答案: (1)  $\text{MnCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

(2)  $\text{MnO}_2 + 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$

(3)  $\text{CoS}$ 、 $\text{NiS}$

(4) 阴  $\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Mn}$

(5) 沉降得到  $\text{MnS}$ , 以进一步去除废水中的  $\text{Mn}^{2+}$

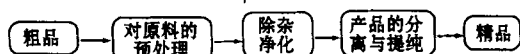
**方法技巧:** 物质制备类化工流程题一般由多步连续的操作组成, 每一步操作都有其具体的目标、任务, 审题的重点要放在与题设有关操作的目标、任务上, 分析时要从成本角度(原料是否廉价易得)、环保角度(是否符合绿色化学的要求)、现实角度等方面考虑。

学生在解题时既要看框内, 又要看框外, 里外结合; 边分析, 边思考, 易处着手; 先局部, 后全盘, 逐步深入; 同时还要看清问题, 不能答非所问。

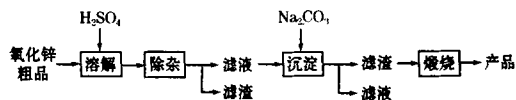
## 二、物质提纯类化工流程题

物质提纯类化工流程题以物质的分离、提纯为基础, 涉及蒸发浓缩、趁热过滤、冷却结晶、蒸馏、萃取、分液、重结晶、洗涤、干燥等基本操作, 突出考查化学实验基本方法在物质的分离、提纯中的作用。物质提纯类化工生产流程一般

包括以下具体内容:



例 3. 活性氧化锌用作橡胶硫化的活性剂、补强剂。以氧化锌粗品为原料制备活性氧化锌的生产工艺流程如下:



一些阳离子以氢氧化物形式完全沉淀时溶液的 pH 见下表:

沉淀物	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_2$
pH	3.2	6.7	8.0	9.7

(1)“溶解”前将氧化锌粗品粉碎成细颗粒, 目的是\_\_\_\_\_。

(2)“溶解”后得到的酸性溶液中含有  $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ , 另含有  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  等杂质。先加入\_\_\_\_\_ (填“ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ”或“ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ”) 调节溶液的 pH 至 5.4, 然后加入适量  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 同时  $\text{KMnO}_4$  转化为  $\text{MnO}_2$ 。经检测溶液中  $\text{Fe}^{2+}$  的浓度为  $0.009 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 则每升溶液中至少应加入\_\_\_\_\_  $\text{mol KMnO}_4$ 。

(3) 杂质  $\text{Cu}^{2+}$  可利用置换反应除去, 应选择的试剂是\_\_\_\_\_。

(4)“沉淀”得到  $\text{ZnCO}_3 \cdot 2\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , “煅烧”在  $450 \sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$  下进行, “煅烧”反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

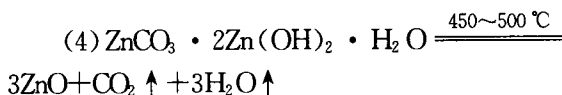
**解析:** (1) 氧化锌粗品加  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶解, 转化为  $\text{ZnSO}_4$ , “溶解”前将氧化锌粗品粉碎成细颗粒, 可增大固液接触面积, 加快溶解时的反应速率。(2) “溶解”后得到酸性溶液, 调节溶液的 pH 至 5.4, 可加入适量的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 。加入适量  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 同时  $\text{KMnO}_4$  转化为  $\text{MnO}_2$ , 根据氧化还原反应中电子得失守恒可知,  $0.009 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 1 \text{ L} \times (3 - 2) = n(\text{KMnO}_4) \times (7 - 4)$ , 则  $n(\text{KMnO}_4) = 0.003 \text{ mol}$ 。(3) 该工艺流程的目的是制备活性氧化锌, 为防止引入新的杂质, 可加入锌粉, 利用置换反应除去溶液中的  $\text{Cu}^{2+}$ 。(4)  $\text{ZnCO}_3 \cdot 2\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  在  $450 \sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$  下进行煅烧, 发生分解反应得到  $\text{ZnO}$ 、 $\text{CO}_2$  和

H<sub>2</sub>O。

答案:(1)增大固液接触面积,加快溶解时的反应速率

(2)Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.003

(3)锌粉



方法技巧:提纯类化工生产流程题的解题方法和技巧:

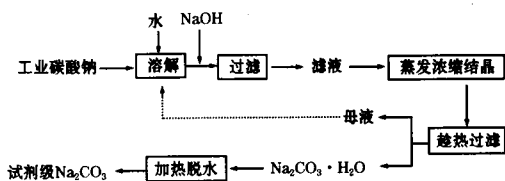
(1)了解物质的分离与提纯的原则:①不增——不引入新的杂质;②不减——不减少被提纯的物质;③易分离——被提纯物与杂质易于分离;④易复原——被提纯的物质易恢复原来的组成、状态。

(2)结合操作目的,明确原料中所含杂质和主要物质。认真分析流程图,明确提纯的流程。

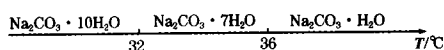
(3)明确提纯的方法:水溶法(除去可溶性杂质),酸溶法(除去碱性杂质),碱溶法(除去酸性杂质),氧化或还原法(除去还原性或氧化性杂质),加热灼烧法(除去受热易分解或易挥发的杂质),调节溶液的pH法等。

(4)明确常用的分离方法:过滤、萃取、分液、结晶(蒸发结晶、冷却结晶)、蒸馏或分馏等,同时还要注意物质分离、提纯的注意事项等。

例4.工业碳酸钠(纯度约为98%)中含有Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Cl<sup>-</sup>和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等杂质,提纯工艺线路如下:



已知:①碳酸钠的饱和溶液在不同温度下析出的溶质如下图所示:



②25℃时有关物质的溶度积如下表:

物质	K <sub>sp</sub>
CaCO <sub>3</sub>	4.96 × 10 <sup>-9</sup>
MgCO <sub>3</sub>	6.82 × 10 <sup>-6</sup>

Ca(OH) <sub>2</sub>	4.68 × 10 <sup>-6</sup>
Mg(OH) <sub>2</sub>	5.61 × 10 <sup>-12</sup>
Fe(OH) <sub>3</sub>	2.64 × 10 <sup>-39</sup>

回答下列问题:

(1)加入NaOH溶液时,发生的离子方程式为\_\_\_\_\_。向含有Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>的溶液中滴加NaOH溶液,当两种沉淀共存且溶液的pH=8时,c(Mg<sup>2+</sup>):c(Fe<sup>3+</sup>)=\_\_\_\_\_。

(2)“趁热过滤”时的温度应控制在\_\_\_\_\_。

(3)有人从“绿色化学”角度设想将“母液”沿流程中虚线所示进行循环使用。请你分析实际工业生产中是否可行? \_\_\_\_\_(填“可行”或“不可行”),说明理由:\_\_\_\_\_。

(4)已知:①Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · 10H<sub>2</sub>O(s) = Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(s) + 10H<sub>2</sub>O(g) ΔH<sub>1</sub> = +532.36 kJ · mol<sup>-1</sup>;②Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · 10H<sub>2</sub>O(s) = Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O(s) + 9H<sub>2</sub>O(g) ΔH<sub>2</sub> = +473.63 kJ · mol<sup>-1</sup>。

写出Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O脱水反应的热化学方程式:\_\_\_\_\_。

解析:(1)工业碳酸钠中含有Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Cl<sup>-</sup>和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等杂质,加水溶解时生成CaCO<sub>3</sub>、MgCO<sub>3</sub>沉淀,再加入NaOH溶液,Fe<sup>3+</sup>及部分Mg<sup>2+</sup>与OH<sup>-</sup>反应生成沉淀,MgCO<sub>3</sub>转化为Mg(OH)<sub>2</sub>沉淀,涉及的离子方程式为Fe<sup>3+</sup> + 3OH<sup>-</sup> = Fe(OH)<sub>3</sub> ↓, Mg<sup>2+</sup> + 2OH<sup>-</sup> = Mg(OH)<sub>2</sub> ↓, MgCO<sub>3</sub> + 2OH<sup>-</sup> = Mg(OH)<sub>2</sub> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>。根据Mg(OH)<sub>2</sub>和Fe(OH)<sub>3</sub>的溶解平衡及溶度积表达式知,当两种沉淀共存且溶液的pH=8时,c(Mg<sup>2+</sup>) =  $\frac{K_{sp}}{c^2(\text{OH}^-)}$  =

$$\frac{5.61 \times 10^{-12}}{10^{-12}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 5.61 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, c(\text{Fe}^{3+}) = \frac{K_{sp}}{c^3(\text{OH}^-)} = \frac{2.64 \times 10^{-39}}{10^{-18}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 2.64 \times 10^{-21} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1},$$

则c(Mg<sup>2+</sup>):c(Fe<sup>3+</sup>) = 2.125 × 10<sup>21</sup>。(2)“趁热过滤”的目的是获得Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O晶体,由Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>饱和溶液在不同温度下析出溶质与温度的关系可知,当温度高于36℃时,从溶液中析出的晶体主要是

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。(3)工业碳酸钠加水溶解,加入  $\text{NaOH}$ ,过滤后杂质  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  进入滤液,经蒸发浓缩、结晶、趁热过滤,  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  进入母液,若“母液”循环使用,则溶液中  $c(\text{Cl}^-)$  和  $c(\text{SO}_4^{2-})$  增大,导致最后所得  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  中混有杂质  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  等。(4)根据盖斯定律,由 ①-②可得: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2 = [+532.36 - (+473.63)] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = +58.73 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

答案:(1)  $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ ,  
 $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$ ,  $\text{MgCO}_3 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CO}_3^{2-} \quad 2.125 \times 10^{21}$

(2) 高于  $36^\circ\text{C}$

(3) 不可行 若“母液”循环使用,则溶液中  $c(\text{Cl}^-)$  和  $c(\text{SO}_4^{2-})$  增大,最后所得产物  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  中混有杂质

(4)  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +58.73 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

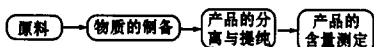
方法技巧:学生在解线型流程工艺(从原料到产品为一条龙的生产工序)试题时,首先要对比分析流程图中第一种物质(原材料)与最后一种物质(产品),从对比分析中找出原料与产品之间的关系,弄清生产过程中原料转化为产品的基本原理和除杂、分离、提纯产品的化工工艺,然后再结合题设的问题,逐一推敲解答。

(1)化工流程中箭头指出的是投料(反应物),箭头指向的是生成物(包括主产物和副产物),返回的箭头一般是被“循环利用”的物质。

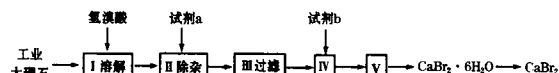
(2)环境与化学:主要涉及“废水、废气、废渣”的来源,以及其对环境的影响和处理原理。

### 三、含量测定类化工流程题

含量测定类化工流程题以物质的制备为基础,与物质的分离及提纯、物质的检验及含量测定等相结合,在考查元素及其化合物、化学实验基本操作等知识的同时,强调化学定量实验操作及实验数据处理方法在化工生产中的作用。含量测定类化工生产流程一般包括以下具体内容:



例 5. (2013 · 上海化学)溴化钙可用作阻燃剂、制冷剂,具有易溶于水、易吸潮等性质。实验室用工业大理石(含有少量  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  等杂质)制备溴化钙的主要流程如下:



回答下列问题:

(1)上述使用的氢溴酸的质量分数为 26%,若用 47% 的氢溴酸配制 26% 的氢溴酸 500 mL,所需的玻璃仪器有玻璃棒、\_\_\_\_\_。

(2)已知步骤 III 的滤液中不含  $\text{NH}_4^+$ 。步骤 II 加入的试剂 a 是 \_\_\_\_\_,控制溶液的 pH 约为 8.0 的目的是 \_\_\_\_\_。

(3)试剂 b 是 \_\_\_\_\_,步骤 IV 的目的是 \_\_\_\_\_。

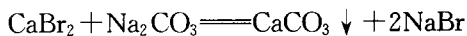
(4)步骤 V 所含的操作依次是 \_\_\_\_\_。

(5)制得的溴化钙可以通过如下步骤测定其纯度:①称取 4.00 g 无水溴化钙样品;②溶解;③滴入足量  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液,充分反应后过滤;④ \_\_\_\_\_;⑤称量。

若得到 1.88 g 碳酸钙,则溴化钙的质量分数为 \_\_\_\_\_(小数点后保留两位数字)。若实验操作规范而测定结果偏低,其原因是 \_\_\_\_\_。

解析:(1)配制质量分数为 26% 的氢溴酸溶液,通过计算后,用量筒量取一定体积的 47%  $\text{HBr}$  溶液,在烧杯中与一定量的水混合即可,因此需要的玻璃仪器有玻璃棒、烧杯和量筒。(2)工业大理石经  $\text{HBr}$  溶液溶解后,所得溶液中含有  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  等离子,而该实验的目的是制取  $\text{CaBr}_2$ ,显然步骤 II 中加入试剂 a 是为了除去  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  等离子,为了不引入新的杂质,可加入  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  调节溶液的 pH。由于  $\text{Al}(\text{OH})_3$  易溶于强碱,控制溶液的 pH 约为 8.0,可使  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  全部沉淀,且不能溶解  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。(3)步骤 III 过滤所得的滤液呈碱性,含有  $\text{CaBr}_2$  和过量的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,因此步骤 IV 应加入氢溴酸调节溶液呈中性,将溶液中的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  转化为  $\text{CaBr}_2$ ,并除去杂质。

(4)使  $\text{CaBr}_2$  溶液蒸发浓缩至饱和以后,再冷却结晶析出  $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  晶体,通过过滤、分离获得  $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  晶体。(5)由题意可知:



$$\begin{array}{ccc} 200 & & 100 \\ m(\text{CaBr}_2) & & 1.88 \text{ g} \end{array}$$

$$\text{则 } m(\text{CaBr}_2) = \frac{200 \times 1.88 \text{ g}}{100} = 3.76 \text{ g},$$

$\text{CaBr}_2$  的质量分数为  $\frac{3.76 \text{ g}}{4.00 \text{ g}} \times 100\% = 0.94$ 。实

验操作规范而测定结果偏低,则应考虑  $\text{CaBr}_2$  的性质,  $\text{CaBr}_2$  与  $\text{CaCl}_2$  的组成及性质相似,在称量过程中吸收空气中的水分,导致测定结果偏低。

答案:(1)烧杯、量筒

(2) $\text{Ca}(\text{OH})_2$  使  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  全部转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  和  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀 防止  $\text{Al}(\text{OH})_3$  溶解

(3)氢溴酸 调节溶液呈中性,除去溶液中的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  并得到  $\text{CaBr}_2$

(4)蒸发浓缩、冷却结晶、过滤

(5)洗涤、干燥 0.94  $\text{CaBr}_2$  易吸潮,称量过程中吸收空气中的水分

方法技巧:含量测定类化工流程题主要考查重量分析法、滴定分析法、气体体积法等定量实验方法在物质含量测定中的应用:

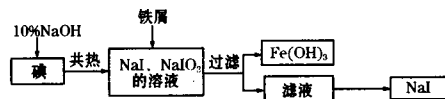
(1)重量分析的过程包括分离和称量两个过程。根据分离的方法不同,重量分析法又可分为沉淀法、挥发法、萃取法等。重量分析法不需要选择合适的指示剂,实验的关键是准确判断反应是否发生完全,以及反应前后固体(或液体)质量的变化。

(2)滴定分析法是化学分析法的一种,将已知准确浓度的标准溶液,滴加到被测溶液中(或者将被测溶液滴加到标准溶液中),直到所加的标准溶液与被测物质按化学计量关系定量反应为止,然后测量标准溶液消耗的体积,根据标准溶液的浓度和所消耗的体积,求出待测物质的含量。

(3)气体体积法是指通过测量反应生成气

体的体积进行定量分析的方法,实验的关键是准确测定生成气体的体积。

例 6. 碘化钠是制备无机和有机碘化物的原料,在医药上用作祛痰剂和利尿剂等。工业上用铁屑还原法制备  $\text{NaI}$ ,其主要流程如下:



(1)写出铁屑转化为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  反应的离子方程式:\_\_\_\_\_。

(2)判断碘已完全反应的方法是\_\_\_\_\_。

(3)由滤液得到  $\text{NaI}$  晶体的操作是\_\_\_\_\_。

(4)测定产品中  $\text{NaI}$  含量的方法是:

a. 称取 3.000 g 样品溶解,在 250 mL 容量瓶中定容;

b. 量取 25.00 mL 待测溶液于锥形瓶中;

c. 用  $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$  溶液滴定至终点,消耗  $\text{AgNO}_3$  溶液体积的平均值为 19.00 mL。

①上述测定过程所需仪器中,需要检查是否漏液的仪器有\_\_\_\_\_,其中使用前需进行润洗的仪器是\_\_\_\_\_。

②上述样品中  $\text{NaI}$  的质量分数为\_\_\_\_\_。

解析:(1)由工艺流程图可知,Fe 具有还原性,  $\text{IO}_3^-$  具有氧化性,向  $\text{NaI}$ 、 $\text{NaIO}_3$  溶液中加入铁屑,Fe 被氧化生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{IO}_3^-$  被还原生成  $\text{I}^-$ ,离子方程式为  $2\text{Fe} + \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{I}^-$ 。(2)根据  $\text{I}_2$  的特性利用淀粉溶液进行判断:取少量试液于小试管中,向其中滴加几滴淀粉溶液,若溶液不变蓝色,则证明  $\text{I}_2$  已反应完全。(3) $\text{NaI}$  易溶于水,由滤液得到  $\text{NaI}$  晶体要经过蒸发浓缩形成饱和溶液,再冷却结晶析出  $\text{NaI}$  晶体。(4)①配制样品溶液中需要用到 250 mL 容量瓶,用  $\text{AgNO}_3$  溶液滴定时要用到酸式滴定管,这两种仪器都要检查是否漏液,其中使用前需进行润洗的是酸式滴定管。②用  $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{AgNO}_3$  溶液滴定样品溶液时,发生的反应为  $\text{NaI} + \text{AgNO}_3 \rightleftharpoons \text{AgI} \downarrow + \text{NaNO}_3$ ,则有  $n(\text{NaI}) = n(\text{AgNO}_3) = 19.00 \times$

$10^{-3} \text{ L} \times 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times \frac{250 \text{ mL}}{25.00 \text{ mL}} = 0.01900 \text{ mol}$ , 从而可知样品中 NaI 的质量分数为  $\frac{150 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.01900 \text{ mol}}{3.000 \text{ g}} \times 100\% = 95\%$ 。

答案: (1)  $2\text{Fe} + \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{I}^-$

(2) 取少量试液于小试管中, 向其中滴加几滴淀粉溶液, 若溶液不变蓝色, 则证明碘已反应完全

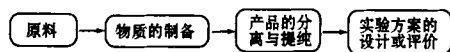
(3) 蒸发浓缩、冷却结晶

(4) ①250 mL 容量瓶、酸式滴定管 酸式滴定管 ②95%

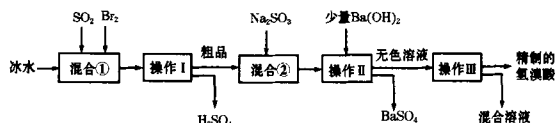
**方法技巧:** 处理含量测定类化工流程题中的实验数据时, 常依据化学方程式、关系式法、守恒法(元素守恒、电子得失守恒)等确定已知原料与目标产物之间的定量关系, 列出关系式求出目标产物的质量, 继而计算产品的质量分数(或产率)等。

#### 四、实验设计类化工流程题

实验设计类化工流程题以物质的制备为基础, 将元素及其化合物、物质的分离与提纯、物质的检验等知识融于其中, 在考查化学基础知识的同时, 设置化学实验方案的设计及评价等问题, 要求学生设计实验方案对物质的成分进行检验, 并预测实验现象及实验结论, 侧重考查学生的化学实验操作能力及分析、处理问题的能力。实验设计类化工生产流程一般包括以下具体内容:



例 7. 氢溴酸在医药和石化工业上有广泛用途。下图是模拟工业制备氢溴酸粗品并精制流程:



根据上述流程回答下列问题:

(1) 混合①中发生反应的化学方程式为\_\_\_\_\_。

(2) 混合①中使用冰水的目的是\_\_\_\_\_。

(3) 操作 II 的名称是\_\_\_\_\_。

(4) 混合②中加入  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  的目的是\_\_\_\_\_。

(5) 纯净的氢溴酸应为无色液体, 但实际工业生产中制得的氢溴酸(工业氢溴酸)带有淡淡的黄色。某同学设计了简单实验加以探究: 假设工业氢溴酸呈淡黄色是因为含有\_\_\_\_\_, 用于证明该假设的操作为\_\_\_\_\_。

**解析:** (1)  $\text{SO}_2$  具有还原性,  $\text{Br}_2$  具有氧化性, 二者在溶液中发生氧化还原反应, 化学方程式为  $\text{SO}_2 + \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{HBr} + \text{H}_2\text{SO}_4$ 。(2) 从反应物的性质角度分析, 混合①中使用冰水, 可以降低反应体系的温度, 防止溴挥发, 提高反应物的利用率, 使反应更完全。(3) 由工艺流程图可知, 经操作 II 得到  $\text{BaSO}_4$  和无色溶液, 显然该步操作为过滤。(4) 经操作 I 得到的粗品中含有未反应的  $\text{Br}_2$ , 加入  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  可除去未反应的  $\text{Br}_2$ 。(5) 工业氢溴酸带有淡淡的黄色, 可能含有  $\text{Fe}^{3+}$  或  $\text{Br}_2$ , 利用  $\text{KSCN}$  溶液检验  $\text{Fe}^{3+}$ , 或加入  $\text{CCl}_4$  (或苯), 根据有机层的颜色检验  $\text{Br}_2$ 。

答案: (1)  $\text{SO}_2 + \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{HBr} + \text{H}_2\text{SO}_4$

(2) 降低体系温度, 防止溴挥发, 使反应进行完全

(3) 过滤

(4) 除去粗品中未反应的溴

(5)  $\text{Fe}^{3+}$  (或  $\text{Br}_2$ ) 取少量工业氢溴酸, 加入几滴  $\text{KSCN}$  溶液后显血红色(或取少量工业氢溴酸, 加入少量  $\text{CCl}_4$  或苯充分振荡, 静置后  $\text{CCl}_4$  层或苯层呈橙红色)

**方法技巧:** 科学性和可行性是设计实验方案的两条重要原则, 因此在设计实验方案时, 要以高中教材中所学元素及其化合物知识为基础, 遵循化学理论和实验方法要求, 在实际操作时做到可控易行。

(1) 性质探索性实验方案的设计: 分析其结构特点或从所属类型的典型代表物去推测物质可能具有的一系列性质, 而后据此分别设计出合理的实验方案, 去探究其可能具有的性质。

(2) 性质验证性实验方案的设计: 对物质具备的性质去求证, 关键是设计出简捷的实验方案, 操作简单易行, 现象明显, 且安全可行。