

浅谈化学工艺流程试题的解答策略

江苏省滨海县教育局教研室 224500 王 瑶

一、化学工艺流程试题的解析策略

1. 挖掘教材, 夯实基础, 促进知识的有效迁移

教材是知识的载体, 是学习的范本。试题设置的落脚点最终是教材, 体现“题在书外, 理在书中”的原则。化学工艺流程试题亦不例外, 试题具有“高起点, 低落点”的特征。问题的设置以基本概念、基本理论和元素化合物知识为基础, 考查分析和解决(解答)化学问题的能力。其中基本概念、基本理论知识

要与元素化合物知识进行有效的整合, 要注重对教材内容的挖掘, 拓展知识的内涵与外延, 夯实基础, 以促进知识的有效迁移。特别是对教材中所给的“实验”“资料卡片”“科学视野”“科学探究”“课后习题”等版块内容进行认真的分析和整理。例如在化学(人教版)必修二第四章化学与自然资源的开发利用及化学(人教版)选修四第三章、第四章中均涉及了一些重要的化工生产原理。部分内容如下:

教材	页数	版块	内容	参考知识要点
化学人教 版必修二	89	表 4-1	常见几种金属的冶炼原理	
	91	资料卡片	海水提溴	溴的富集
	93	课后习题第 4 题	从海水中提取镁	由 $MgCl_2$ 溶液制取 $MgCl_2$ 固体
	93	课后习题第 6 题	从铝土矿生产铝	矿石粉碎及碱浸的目的
	94	课后习题第 10 题	从金红石生产 Ti	保护性气体的作用
	102	思考与交流	环氧乙烷的制取	原子利用率
	103	课后习题第 6 题	甲基丙烯酸甲酯的制取	原料有无毒性、对设备的腐蚀、有无副产物
106	课后习题第 9 题	制备轻质氧化镁	调节溶液 pH 的目的、氧化剂及沉淀试剂的选择	
化学人教 版选修四	58		TiO_2 的制备	反应原理
	59	课后习题第 9 题	$SOCl_2$ 的性质	
	60	课后习题第 10 题	由 $MgCl_2$ 溶液制取 $MgCl_2$ 固体	
	63	图 3-15	废水处理工艺流程图	
	66	科学视野练习 2	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 晶体提纯	除 Fe^{2+} 的方法、试剂的选择
	80		氯碱工业	电极材料
	81		电冶金	电极反应式

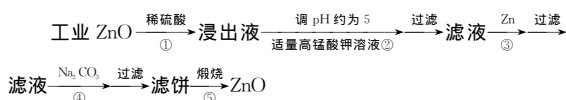
2. 形成合理的思维策略, 促进能力的有效迁移

化学工艺流程试题的基本原理可表示为“原料→第一次转化、分离→第二次转化、分离→…→目标产物”。问题的设置以基本理论、基本概念和元素化合物知识为基础, 重点考查学生实验能力和探究能力。要求学生能够将试题所给信息与已有实验能力和探究能力相整合, 促进能力有效迁移。其中化学实验能力是以常用仪器的使用和基本实验操作为基础, 能够完成实验方案设计和实验方案评价的综合化学实验能力。化学工艺流程题一般具有文字冗长、转化关系复杂, 知识点隐蔽, 信息分散的特征。解题时应当摒弃那些不必要的产生干扰信息的枝节问题, 使本质关键的信息要点纳入认知结构的主线, 解决问题的中心轮廓得到有序组合且能清晰呈现。在工艺流程问题中, “转化、分离提纯过程”是问题的本质, 是关键环节, 是解决问题的核心, 每个环节实验操作的目的均是以除去杂质、最

终获得目标产物为目的。因此解题的思维核心是利用试题所给信息, 分析工艺流程中每个环节所涉及的化学反应原理, 明确每一步实验操作的目的, 形成合理的思维策略, 促进能力有效迁移, 提高分析和解决(解答)化学问题的能力。

二、例题解析

例 1 氧化锌为白色粉末, 可用于湿疹、癣等皮肤病的治疗。纯化工业级氧化锌(含有 $Fe(II)$, $Mn(II)$, $Ni(II)$ 等杂质)的流程如下:



提示: 在本实验条件下, $Ni(II)$ 不能被氧化, 高锰酸钾的还原产物是 MnO_2 。

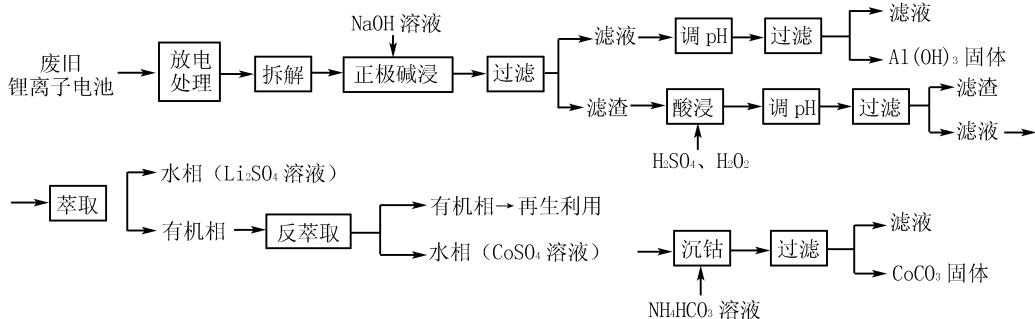
回答下列问题: (1) 反应②中除掉的杂质离子是__, 发生反应的离子方程式为__。加高锰酸钾溶液前, 若 pH 较低, 对除杂的影响是__。(2) 反应③的反

应类型为__，过滤得到的滤渣中，除了过量的锌外还有__。(3)反应④形成的沉淀要用水洗，检验沉淀是否洗涤干净的方法是__。(4)反应④中产物的成分可能是 $ZnCO_3 \cdot xZn(OH)_2$ 。取干燥后的滤饼 11.2 g，煅烧后可得到产品 8.1 g。则 x 等于__。

解析 由所给原料和目标产物可知，该过程是将工业 ZnO 中含有的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Ni^{2+} 杂质除去进行提纯的过程，问题的关键在于如何除去 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Ni^{2+} 。加入稀 H_2SO_4 在浸出液中存在的杂质离子为 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Ni^{2+} ，结合试题所给信息可知利用 $KMnO_4$ 与 Mn^{2+} 反应生成 MnO_2 除去 Mn^{2+} ， $KMnO_4$ 与 Fe^{2+} 反应生成 Fe^{3+} 和 MnO_2 ，在 pH 为 5 的条件下，使 Fe^{3+} 完全转化为 $Fe(OH)_3$ 沉淀。反应的离子方程式 $2MnO_4^- + 3Mn^{2+} + 2H_2O = 5MnO_2 \downarrow + 4H^+$ ， $MnO_4^- + 3Fe^{2+} + 7H_2O = MnO_2 \downarrow + 5H^+ + 3Fe(OH)_3 \downarrow$ 。

若溶液的 pH 过低，则不能使 Fe^{3+} 完全转化为 $Fe(OH)_3$ 沉淀，且 $KMnO_4$ 的还原产物为 Mn^{2+} ，因而无法除去 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 。在滤液中加入 Zn 是将 Ni^{2+} 转化为 Ni，再过滤，向滤液加入 Na_2CO_3 得到 $ZnCO_3$ 沉淀，沉淀洗涤的目的是除去沉淀表面吸附的可溶性杂质，通过检验洗涤液中是否有 SO_4^{2-} 来确定沉淀是否洗涤干净，因此取最后一次洗涤液少许注入试管中，先加盐酸酸化，再加入 $BaCl_2$ 溶液，若无白色沉淀生成，证明沉淀洗涤干净。通过灼烧使 $ZnCO_3$ 分解得到纯净的 ZnO。

例 2 锂离子电池的应用很广，其正极材料可再生利用。某离子电池正极材料有钴酸锂 ($LiCoO_2$)，导电剂乙炔黑和铝箔等。充电时，该锂离子电池负极发生的反应为 $6C + xLi^+ + xe^- = Li_xC_6$ 。现欲利用以下工艺流程回收正极材料中的某些金属资源(部分条件未给出)。



回答下列问题：(1) $LiCoO_2$ 中，Co 元素的化合价为__。(2)写出“正极碱浸”中发生反应的离子方程式__。(3)“酸浸”一般在 $80^\circ C$ 下进行，写出该步骤中发生的所有氧化还原反应的化学方程式__；可用盐酸代替 H_2SO_4 和 H_2O_2 的混合液，但缺点是__。(4)写出“沉钴”过程中发生反应的化学方程式__。(5)充放电过程中，发生 $LiCoO_2$ 与 $Li_{1-x}CoO_2$ 之间的转化，写出放电时电池反应方程式__。(6)上述工艺中，“放电处理”有利于锂在正极的回收，其原因是__。在整个回收工艺中，可回收到的金属化合物有__(填化学式)。

解析 正极材料有 $LiCoO_2$ 和铝箔，加入 NaOH 溶液后，将 Al 转化为 $NaAlO_2$ ，过滤后将滤液中的 $NaAlO_2$ 再转化为 $Al(OH)_3$ 。滤渣中的 $LiCoO_2$ 经酸浸、萃取、反萃取等操作后在水相中得到的 $CoSO_4$ ，可知加入 H_2SO_4 、 H_2O_2 的目的是将 $LiCoO_2$ 中的 +3 价 Co 还原为 +2 价。在 $CoSO_4$ 溶液中加入

NH_4HCO_3 后生成 $CoCO_3$ 沉淀，因此在整个回收工艺中，得到的金属化合物有 $CoCO_3$ 、 $Al(OH)_3$ 、 Li_2SO_4 。

由上述分析可知“酸浸”时利用 H_2O_2 将 $LiCoO_2$ 还原，反应方程式为 $2LiCoO_2 + 3H_2SO_4 + H_2O_2 = Li_2SO_4 + 2CoSO_4 + O_2 \uparrow + 4H_2O$ ，若使用盐酸，则 HCl 被氧化生成对环境有害的 Cl_2 。“沉钴”过程是利用 Co^{2+} 与 HCO_3^- 电离生成 CO_3^{2-} 结合生成 $CoCO_3$ 沉淀，从而促进 HCO_3^- 的水解，导致 H^+ 浓度增大，与 HCO_3^- 反应生成 CO_2 ，反应方程式为 $CoSO_4 + 2NH_4HCO_3 = CoCO_3 \downarrow + (NH_4)_2SO_4 + H_2O + CO_2 \uparrow$ 。由充电时的负极反应可知放电时的负极反应为 $Li_xC_6 - xe^- = 6C + xLi^+$ ，则放电时的电池反应式为 $Li_{1-x}CoO_2 + Li_xC_6 = LiCoO_2 + 6C$ 。放电时电解液中 Li^+ 由负极向正极移动，因此有利于锂在正极的回收。

例 3 TiO_2 既是制备其他含钛化合物的原

料,又是一种性能优异的白色颜料。

(1)实验室利用反应 $\text{TiO}_2(\text{s}) + \text{CCl}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{TiCl}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$, 在无氧条件下,制取 TiCl_4 实验装置示意图如图 1,有关性质如下:

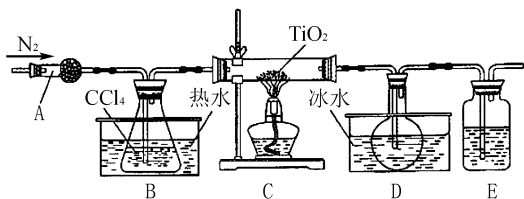
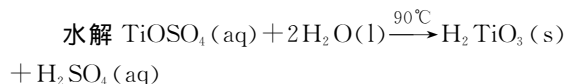
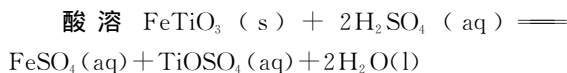


图 1

物质	熔点/°C	沸点/°C	其他
CCl_4	-23	76	与 TiCl_4 互溶
TiCl_4	-25	136	遇潮湿空气产生白雾

仪器 A 的名称是____,装置 E 中的试剂是____。反应开始前依次进行如下操作:①停止通氮气②熄灭酒精灯③冷却至室温。正确的顺序为____(填序号)。欲分离 D 中的液态混合物,所采用操作的名称是____。(2)工业上由钛铁矿(FeTiO_3) (含 Fe_2O_3 、 SiO_2 等杂质)制备 TiO_2 的有关反应包括:



简要工艺流程如图 2:①试剂 A 为____。钛液 I 需冷却至 70°C 左右,若温度过高会导致产品收率降低,原因是____。②取少量酸洗后的 H_2TiO_3 ,加入盐酸并振荡,滴加 KSCN 溶液后无明显现象,再加 H_2O_2 后出现微红色,说明 H_2TiO_3 中存在的杂质离子是____。这种 H_2TiO_3 即使用水充分洗涤,煅烧后获得的 TiO_2 也会发黄,发黄的杂质是____(填化学式)。

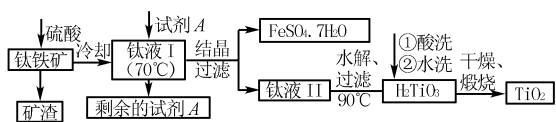


图 2

解析 由 TiO_2 制取 TiCl_4 是以 N_2 作为保护性气体,在 D 中收集到的 CCl_4 与 TiCl_4 的混合物利用分馏方法进行分离。钛铁矿加入 H_2SO_4 溶液后除去 SiO_2 等杂质,在钛液 I 中含有 Fe^{3+} ,需加入 Fe 将其还原为 Fe^{2+} 才可制得 FeSO_4 ,若此

时温度过高,将会导致 TiOSO_4 水解生成 H_2TiO_3 固体,导致产品收率降低。

例 4 难溶性杂卤石($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)属于“呆矿”,在水中存在如下平衡 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Ca}^{2+} + 2\text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。为能充分利用钾资源,用饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液溶浸杂卤石制备硫酸钾,流程如图 3:

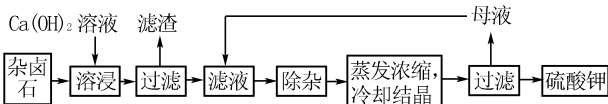


图 3

(1)滤渣主要成分有____和____以及未溶杂卤石。(2)用化学平衡移动原理解释 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液能溶解杂卤石浸出 K^+ 的原因:____。(3)“除杂”环节中,先加入____溶液,经搅拌等操作后,过滤,再加入____溶液调滤液 pH 至中性。(4)不同温度下, K^+ 的浸出浓度与溶浸时间的关系如图 4,随着温度升高:①____,②____。

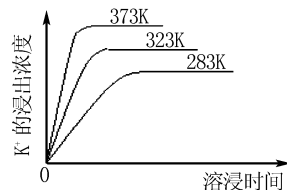


图 4

(5)有人以可溶性碳酸盐为溶浸剂,则溶浸过程中会发生: $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}$ 。已知 298K 时, $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3) = 2.80 \times 10^{-9}$, $K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4) = 4.90 \times 10^{-5}$,求此温度下该反应的平衡常数 K (计算结果保留三位有效数字)。

解析 加入饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液后, Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 生成 CaSO_4 及 Mg^{2+} 与 OH^- 生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀,促进溶解平衡 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Ca}^{2+} + 2\text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ 正向移动,过滤除去 CaSO_4 与 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀,滤液中含有大量的 K_2SO_4 及少量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,选择 K_2CO_3 和 H_2SO_4 除去剩余的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,再通过蒸发浓缩、冷却结晶、过滤得到 K_2SO_4 固体,过滤后的母液循环利用,提高 K_2SO_4 的产率。沉淀转化 $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}$ 的平衡常数 $K = \frac{c(\text{SO}_4^{2-})}{c(\text{CO}_3^{2-})} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)} = \frac{4.90 \times 10^{-5}}{2.80 \times 10^{-9}} = 1.75 \times 10^4$ 。(收稿日期:2014-06-04)