

第3讲 工业流程——陌生图表快速破解

【引】陌生图表的作用

①便于选择适宜的_____、_____、_____、_____、反应_____

②便于对比不同方案之间的优缺点

例：制备 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体：向沸水中逐滴加入5 ~ 6滴 FeCl_3 饱和溶液，继续煮沸至呈红褐色，停止加热。

【核心思想】适可而止，见好就收，综合分析，选择最优



一、反应温度

思考角度

物质性质：热稳定、水解、溶解度、挥发、胶体聚沉、氧化性或还原性、熔沸点

反应原理：反应速率、平衡移动、催化剂活性、主副反应竞争

经济角度：能耗

1. 温度选择问题

选择 $\times\times^\circ\text{C}$ 的原因：温度低于 $\times\times^\circ\text{C}$ 时，随温度升高，反应速率加快；温度高于 $\times\times^\circ\text{C}$ 时，随温度升高， $\times\times$ 易分解/易挥发/易水解

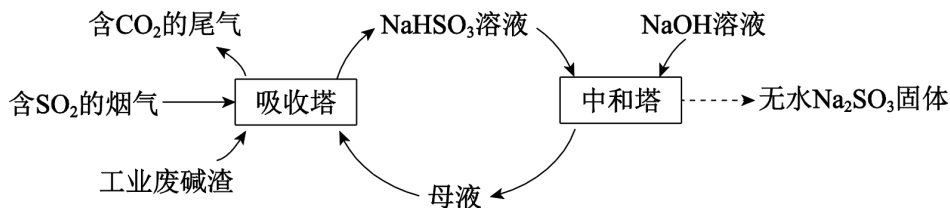
例：（2017全国卷 I） $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 沉淀与双氧水、氨水反应40min所得实验结果如下：

温度/ $^\circ\text{C}$	30	35	40	45	50
$\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 转化率/%	92	95	97	93	88

分析 40°C 时 $\text{TiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 转化率最高的原因：_____

_____。

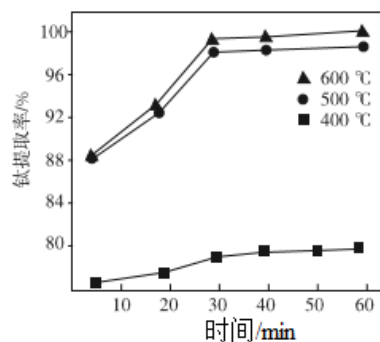
练：（2019西城期末）



吸收塔中的温度不宜过高，可能的原因是_____。

例：熔融温度和钛的提取率关系如右图，适宜温度500℃，理由是：

_____。



2. 综合分析类问题

例：Al_a——Al³⁺ 单体形态铝

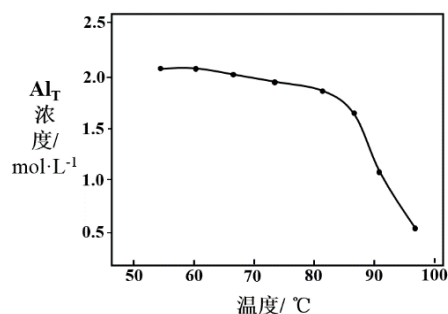
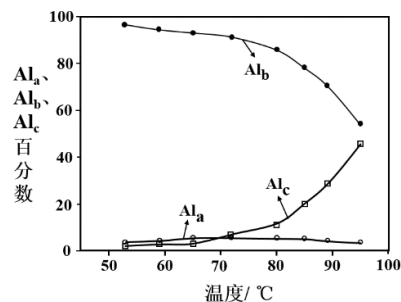
Al_b ——[Al₂(OH)_nCl_{6-n}]_m 聚合形态铝

Al_c——Al(OH)₃胶体形态

Al_T——铝的总浓度

当T > 80℃时，Al_T明显降低的原因是：

_____。



二、溶液的pH值

思考角度

物质性质：离子沉淀、同价不同形，水解、钝化、胶体稳定性、氧化性或还原性

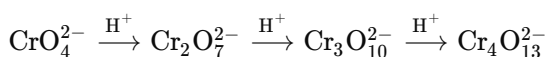
反应原理：反应速率、平衡移动

经济角度：后续中和酸碱的处理

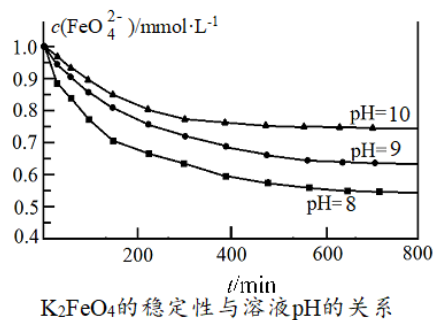
1. pH范围选择问题

pH过高可能导致：_____

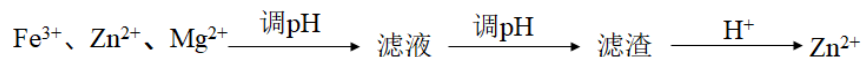
pH过低可能导致：_____

例：制备 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 例：制备 FeCO_3 练：制备 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、制备 NaVO_3 、处理 Na_2FeO_4 

pH	4 ~ 6	6 ~ 8	8 ~ 10	10 ~ 12
主要离子	VO_2^+	VO_3^-	$\text{V}_2\text{O}_7^{4-}$	VO_4^{3-}

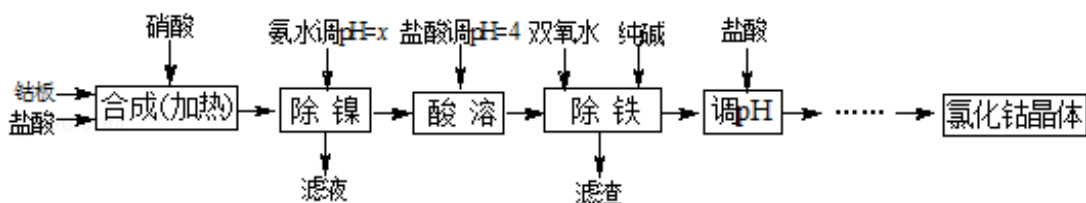


2. 调pH分离离子

调节pH在xx范围的理由：使xx完全沉淀，且保证xx不形成沉淀

	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
开始沉淀的pH	1.9	6.4	10.4
沉淀完全的pH	3.2	8.0	12.4
开始溶解的pH	—	10.5	—

例：用金属钴板（含少量Fe、Ni）制备氯化钴工艺流程如下：



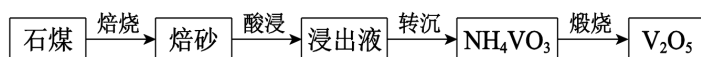
注：钴与盐酸反应极慢，需加入催化剂硝酸才可能进行实际生产。

化学式	沉淀完全pH	钴镍性质
$\text{Co}(\text{OH})_2$	9.4	$\text{Co}^{2+} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Co}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NH}_4^+$ $\text{Ni}^{2+} + 6\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 6\text{H}_2\text{O}$
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	9.6	
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	3.7	

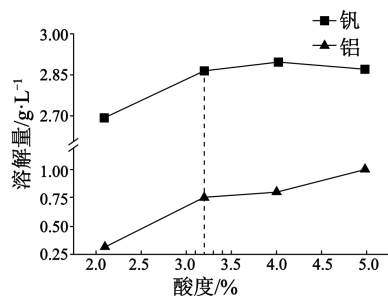
(1) “除镍”步骤中， $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 用量对反应收率的影响见下表：从表中可知 $x =$ _____时，除镍效果最好。

加 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 调pH	收率/%	Ni^{2+} 含量/%
9	98.1	0.08
9.5	98	0.05
10	97.6	0.005
10.3	94	0.005

例：工业上用含三价钒（ V_2O_3 ）为主的某石煤为原料（含有 Al_2O_3 、 CaO 等杂质），钙化法焙烧制备 V_2O_5 ，其流程如下：



(1) 酸浸：酸度对钒和铝的溶解量的影响如右图所示：酸浸时溶液的酸度控制在大约3.2%，根据右图推测，酸浸时不选择更高酸度的原因是_____。



【资料】+5价钒在溶液中的主要存在形式与溶液pH的关系：

pH	4 ~ 6	6 ~ 8	8 ~ 10	10 ~ 12
主要离子	VO_2^+	VO_3^-	$\text{V}_2\text{O}_7^{4-}$	VO_4^{3-}

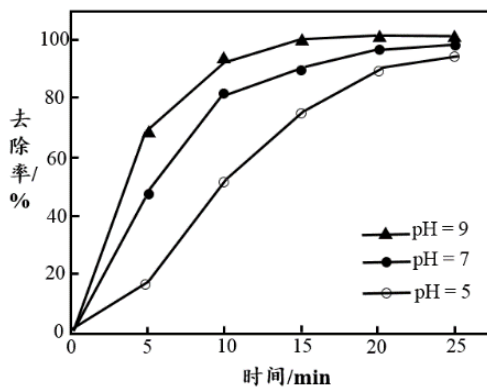
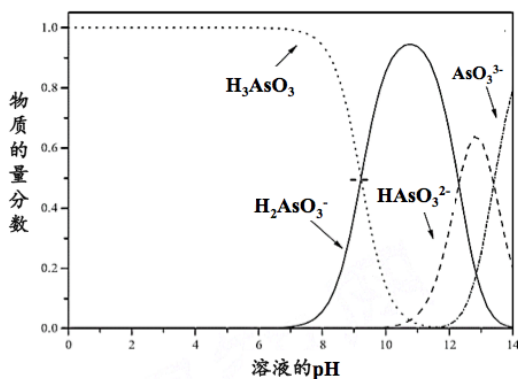
(2) 转沉：将浸出液中的钒转化为 NH_4VO_3 固体，其流程如下：



①浸出液中加入石灰乳的作用是_____。

②向 $(\text{NH}_4)_3\text{VO}_4$ 溶液中加入 NH_4Cl 溶液，控制溶液的 $\text{pH} = 7.5$ 。当 $\text{pH} > 8$ 时， NH_4VO_3 的产量明显降低，原因是_____。

练：亚砷酸(H_3AsO_3)可以用于治疗白血病，其在溶液中存在多种微粒形态，各种微粒物质的量分数与溶液pH关系如下图所示。



工业含砷(III)废水常用铁盐处理后排放。其原理是：铁盐混凝剂在溶液中产生 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶粒，其表面带有正电荷，可吸附含砷化合物。经测定不同pH条件下铁盐对含砷(III)化合物的去除率如右图所示。pH在5 ~ 9时，随溶液pH增大，铁盐混凝剂对含砷(III)化合物的吸附效果增强。结合图示解释可能的原因：

_____。



三、试剂用量/浓度选择

用量过少：_____

用量过多：_____

例：次氯酸盐氧化法制备 K_2FeO_4 工艺流程如下：



已知发生副反应： $4FeO_4^{2-} + 10H_2O \rightleftharpoons 4Fe(OH)_3 + 3O_2 + 8OH^-$

$Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 添加量/g	碱性反应液外观	K_2FeO_4 晶体产量/g	K_2FeO_4 晶体纯度/%
15.5	少量 $Fe(OH)_3 \downarrow$	8.2	—
20.0	无任何可见铁沉淀物	13.73	18
24.0	有 $Fe(OH)_3 \downarrow$	7.0	15.47

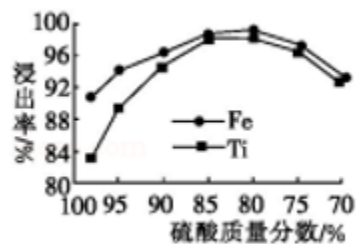
“合成”步骤中生成 K_2FeO_4 ，根据下表，铁盐添加量最佳值为_____， K_2FeO_4 产量随铁盐的加入先增大后减小的原因可能是_____。

练：（2020临颖月考）金属钛在航天、潜海和医疗方面应用广泛。以钛铁矿[主要成分为钛酸亚铁($FeTiO_3$)，含少量 Fe_2O_3]为原料制备钛的工艺流程如图所示。



(1) 步骤②、③、④中，均需进行的操作是_____（填操作名称）。

(2) 硫酸质量分数对钛、铁浸出率的影响如图所示，据此判断，酸浸时所加硫酸的质量分数应为_____（填范围）。



【题目特训】（2019秋·平度市期末）采用焙烧、碳酸钠浸出、硝酸浸出等湿法冶金工艺，从高碳镍钼矿

矿（主要含有 MoS_2 、 CaCO_3 、 NiS 和石墨）中提取镍和钼等元素，其主要工业流程如图：



已知：①钼酸、钼酸钙和钼酸镍均难溶于水，钼酸钠和钼酸铵易溶于水；

②常温下， $K_{sp}(\text{CaMoO}_4) = 1.46 \times 10^{-8}$ ， $K_{sp}(\text{CaCO}_3) = 3.0 \times 10^{-9}$ ， $K_{sp}(\text{CaSO}_4) = 9 \times 10^{-6}$ ，

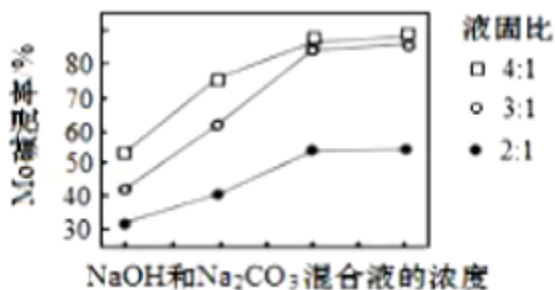
$K_{sp}[\text{Ni}(\text{OH})_2] = 5.4 \times 10^{-16}$ ， $K_{sp}(\text{NiCO}_3) = 1.4 \times 10^{-6}$

请回答下列问题：

(1) 钼酸铵晶体 $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 中钼元素的化合价为_____。写出“焙烧”过程中 MoS_2 转化为 MoO_3 的化学方程式为_____。

(2) “碱浸”过程中，液固比（ NaOH 和 Na_2CO_3 混合液的体积与“焙砂”的质量之比）与碱浸率之间的关系如图所示，则“碱浸”时应选用的最佳液固比为_____。经实验测定，不同浸出剂对 Mo 元

素的浸出效果对比表如下：



“碱浸”的浸出剂种类	浸出剂中 $c(\text{Na}^+)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	浸出率(Mo元素)/%
NaOH溶液	1.0	45.44
NaOH和 Na_2CO_3 混合液	1.0	75.35

试分析NaOH溶液对焙烧渣的浸出率低于NaOH和 Na_2CO_3 混合液的原因_____

_____；“碱浸渣”的主要成分为_____（填化学式）。

(3) “氨溶解”过程中需要控制温度在 70°C ，温度过高或过低都会导致产品的产量降低，因为

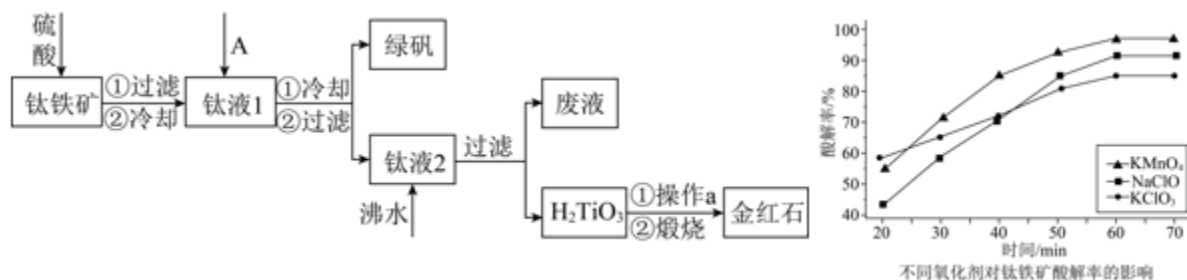
_____。

(4) 若“酸浸Ⅱ”过程所得的浸出液中 $c(\text{SO}_4^{2-}) = 1.8\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，此时溶液中 $c(\text{Ca}^{2+})$ 为

_____。

(2020福建模拟) 钛被称为继铁、铝之后的第三金属。工业上常用硫酸酸解钛铁矿（主要成分为 FeTiO_3 ，还含有部分 Fe_2O_3 ）的方法制取金红石（ TiO_2 ），再还原 TiO_2 制取金属钛。工业制取 TiO_2 的工艺流程图如下：

图如下：



(1) 钛酸亚铁（ FeTiO_3 ）中Ti的化合价为_____。

(2) 钛液1中钛以 TiO^{2+} 的形式存在，则 FeTiO_3 与硫酸反应的离子方程式为：

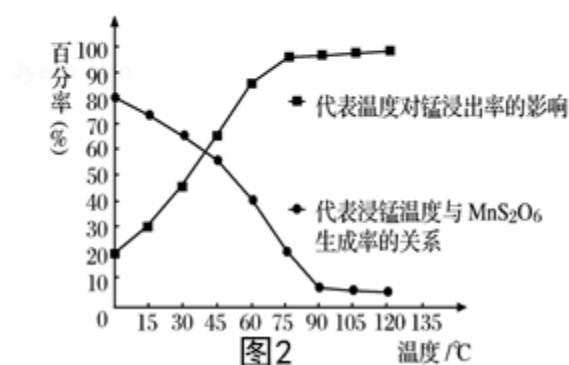
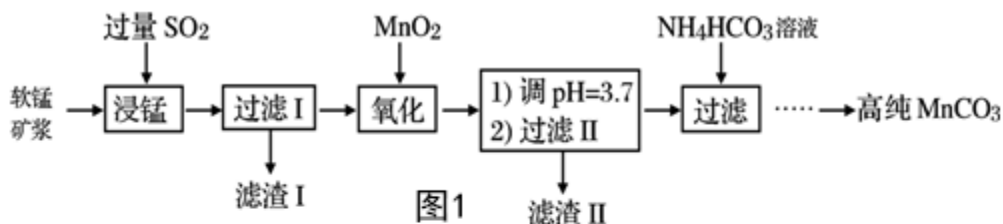
_____。

(3) 为提高钛铁矿的酸解率，可添加适量氧化剂，依据下图判断，添加的最佳氧化剂为_____

（填化学式）。

(4) 钛液1中加入的A物质是_____，流程中的操作a是_____。

(2020春·韶关期末) 工业以软锰矿(主要成分是 MnO_2 , 含有 SiO_2 、 Fe_2O_3 等少量杂质)为主要原料制备高性能的磁性材料碳酸锰(MnCO_3)。其工业流程如图1。



- (1) 为了提高“浸锰”过程中原料的浸出率, 可以采取的措施有_____。(写一条)
- (2) 浸锰过程中 Fe_2O_3 与 SO_2 反应的化学方程式为: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$, 该反应是经历以下两步反应实现的: i. $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$; ii. ……

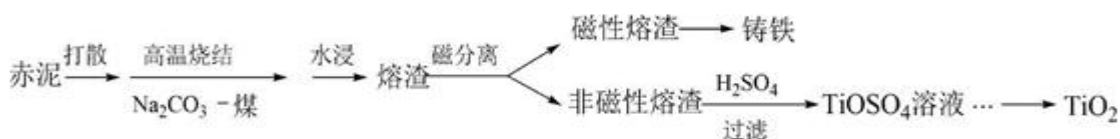
写出 ii 的离子方程式: _____。

- (3) 过滤 I 所得滤液中主要存在的两种金属阳离子为_____。(填离子符号)
- (4) “浸锰”反应中往往有副产物 MnS_2O_6 生成, 温度对“浸锰”反应的影响如图2所示, 为减少 MnS_2O_6 的生成, “浸锰”的适宜温度是_____。

(5) 写出“氧化”过程中 MnO_2 与 SO_2 反应的化学方程式
_____。

- (6) 滤渣 II 是_____。(填化学式)
- (7) 向过滤 II 所得的滤液中加入 NH_4HCO_3 溶液时温度不宜太高的原因是
_____。

练：赤泥是铝土矿提取氧化铝过程中产生的固体废弃物，其主要成分为 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 、 TiO_2 、 SiO_2 等，属于强碱性废渣。从赤泥中回收钛的工艺流程如下：



(1) 赤泥颗粒孔隙大，具有较大的比表面积，可作为废气 SO_2 的吸收剂，研究表明该过程中主要利用了化学中和反应，其次是_____。

(2) 赤泥加一定量水打散的目的是_____。

(3) 已知高温烧结时， TiO_2 发生的反应是 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{TiO}_2 = \text{NaTiO}_3 + \text{CO}_2$ ，且 Na_2TiO_3 不溶于水。则 Al_2O_3 在烧结中发生的反应是_____，水浸液里的主要溶质有_____。

(4) 酸浸时，若使钛的浸出率 η 达到90%，则根据图工业上应采取的适宜条件是：酸浓度和液固比的取值分别约为_____、_____。同时浸出温度过高可能造成的环境污染是_____。

