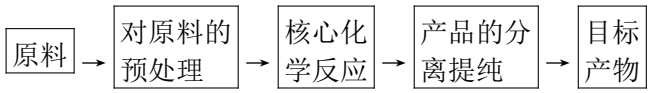
化学工艺流程—考查金属及其化合物的性质和转化

考情调研

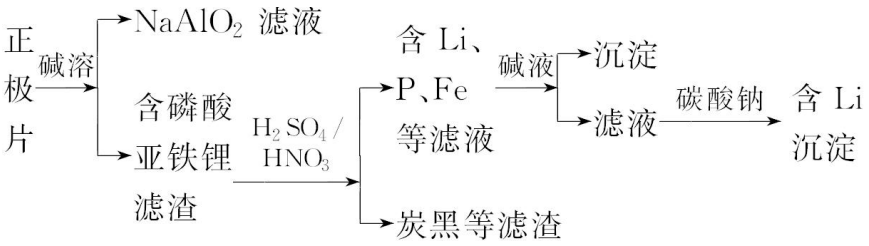
化学工艺流程题是将化工生产中的生产流程用框图形式表示出来，一般具有如下环节：



它以现代工业生产为基础，与化工生产成本、产品提纯、环境保护等相融合，并根据生产流程中有关的化学知识步步设问。考查物质的制备、检验、分离提纯等基本实验原理在化工生产中的实际应用，要求考生依据流程图分析原理，紧扣信息，抓住关键、准确答题。这类试题具有较强的实用性和综合性，是新课标全国卷命题的热考题型。

题型示例

1.(2018·全国卷Ⅰ)磷酸亚铁锂($LiFePO_4$)电池是新能源汽车的动力电池之一。采用湿法冶金工艺回收废旧磷酸亚铁锂电池正极片中的金属，其流程如下：



下列叙述错误的是(　　)

A．合理处理废旧电池有利于保护环境和资源再利用

B．从“正极片”中可回收的金属元素有 Al、Fe、Li

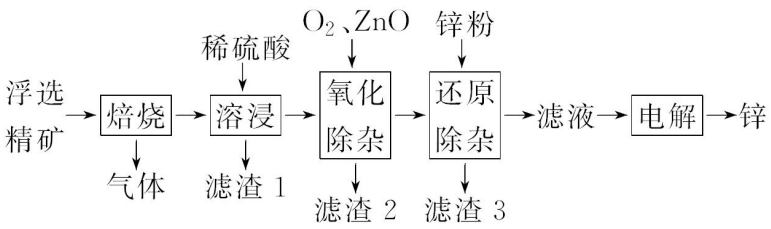
C．“沉淀”反应的金属离子为 Fe^{3+}

D．上述流程中可用硫酸钠代替碳酸钠

解析：合理处理废旧电池有利于保护环境和资源再利用，$LiFePO_4$ 中含有 Li 和 Fe 元素，正极片碱溶所得滤液中含有 Al 元素，A、B 项正确；Fe^{2+} 能被 HNO_3 氧化为 Fe^{3+}，Fe^{3+} 遇到碱液后沉淀，而另一种金属离子(Li^+)遇到 Na_2CO_3 后沉淀，C 项正确；Li_2SO_4 易溶于水，用 Na_2SO_4 代替 Na_2CO_3，不能形成含 Li 沉淀，D 项错误。

答案：D

2.(2018·全国卷Ⅱ)我国是世界上最早制得和使用金属锌的国家。一种以闪锌矿(ZnS，含有 SiO_2 和少量 FeS、CdS、PbS 杂质)为原料制备金属锌的流程如图所示：



相关金属离子[$c_0(M^{n+})=0.1\ mol\cdot L^{-1}$]形成氢氧化物沉淀的 pH 范围如下：

金属离子	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Cd^{2+}
开始沉淀的 pH	1.5	6.3	6.2	7.4
沉淀完全的 pH	2.8	8.3	8.2	9.4

回答下列问题：

(1)焙烧过程中主要反应的化学方程式为_____

_____。

(2)滤渣 1 的主要成分除 SiO_2 外还有_____；氧化除杂工序中 ZnO 的作用是_____，

若不通入氧气，其后果是_____

_____。

(3)溶液中的 Cd^{2+} 可用锌粉除去，还原除杂工序中反应的离子方程式为_____

_____。

(4)电解硫酸锌溶液制备单质锌时，阴极的电极反应式为

_____；

沉积锌后的电解液可返回_____工序继续使用。

解析：(1)闪锌矿的主要成分是 ZnS，所以高温焙烧过程中主要反应的化学方程式为 $2ZnS+3O_2\xlongequal{焙烧}2ZnO+2SO_2$。

(2)闪锌矿焙烧后的主要成分变为 ZnO，还存在少量 SiO_2、Fe_2O_3、CdO、PbO，加稀 H_2SO_4 后，发生一系列化学反应：$ZnO+H_2SO_4=ZnSO_4+H_2O$、$Fe_2O_3+3H_2SO_4=Fe_2(SO_4)_3+3H_2O$、$CdO+H_2SO_4=CdSO_4+H_2O$、$PbO+H_2SO_4=PbSO_4+H_2O$。其中 SiO_2 和 $PbSO_4$ 不溶于水，以沉淀的形式沉降下来，所以滤渣 1 的主要成分是 SiO_2 和 $PbSO_4$。氧化除杂工序中 ZnO 的作用是调节溶液的 pH 在 2.8～6.2，使 Fe^{3+} 完全转变为 $Fe(OH)_3$ 沉淀；通入 O_2 的目的是使溶液中的 Fe^{2+} 转化为 Fe^{3+}，有利于除杂，若不通入 O_2，无法除去溶液中的杂质 Fe^{2+}。

(3)溶液中的 Cd^{2+} 与加入的 Zn 粉反应而被除去，反应的离子方程式为 $Zn+Cd^{2+}=Zn^{2+}+Cd$。

(4)电解 $ZnSO_4$ 溶液制备单质 Zn 时，阴极放电的是 Zn^{2+}，电极反应式是 $Zn^{2+}+2e^-=Zn$，阳极放电的是 OH^-，电极反应是 $4OH^--4e^-=2H_2O+O_2\uparrow$。沉积锌后的溶液应该是 $ZnSO_4$ 和稀 H_2SO_4，可返回到溶浸工序循环使用。

答案：(1)$2ZnS+3O_2\xlongequal{焙烧}2ZnO+2SO_2$

(2)$PbSO_4$　调节溶液的 pH　无法除去杂质 Fe^{2+}

(3)$Cd^{2+}+Zn=\!=Cd+Zn^{2+}$

(4)$Zn^{2+}+2e^{-}=\!=Zn$　溶浸

反思归纳

1．认识原料预处理的方法

(1)溶解：通常用酸溶。如用硫酸、盐酸、浓硫酸等。

术语	释义
水浸	与水接触反应或溶解
浸出	固体加水(酸)溶解得到离子
酸浸	在酸溶液中反应，使可溶性金属离子进入溶液，不溶物通过过滤除去的溶解过程
浸出率	固体溶解后，离子在溶液中的含量的多少(更多转化)

(2)灼烧、焙烧、煅烧：改变结构，使一些物质能溶解，并使一些杂质高温下氧化、分解。

2．明确常用的提纯方法

(1)水溶法：除去可溶性杂质。

(2)酸溶法：除去碱性杂质。

(3)碱溶法：除去酸性杂质。

(4)氧化剂或还原剂法：除去还原性或氧化性杂质。

(5)加热灼烧法：除去受热易分解或易挥发的杂质。

(6)调节溶液的 pH 法：如除去酸性溶液中的 Fe^{3+}等。

3．把握常用的分离方法

(1)过滤：分离难溶物和易溶物，根据特殊需要采用趁热过滤或者抽滤等方法。

(2)萃取和分液：利用溶质在互不相溶的溶剂里的溶解度不同提取分离物质，如用 CCl_4 或苯萃取溴水中的溴。

(3)蒸发结晶：提取溶解度随温度变化不大的溶质，如 NaCl。

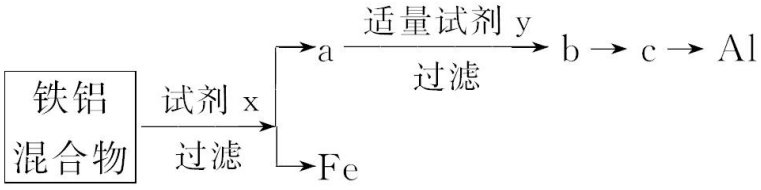
(4)冷却结晶：提取溶解度随温度变化较大的溶质、易水解的溶质或结晶水合物，如 KNO_3、$FeCl_3$、$CuCl_2$、$CuSO_4\cdot 5H_2O$、$FeSO_4\cdot 7H_2O$ 等。

(5)蒸馏或分馏：分离沸点不同且互溶的液体混合物，如分离乙醇或甘油。

(6)冷却法：利用气体液化的特点分离气体，如合成氨工业采用冷却法分离平衡混合气体中的氨气。

通关演练

1．某同学在实验室利用氢氧化钠、盐酸分离铁粉和铝粉混合物，转化关系如下图所示，下列说法不正确的是(　　)



A．x 为 NaOH 溶液，y 为盐酸

B．a→b 发生的反应为：$AlO_2^-+H^++H_2O=\!=\!=Al(OH)_3\downarrow$

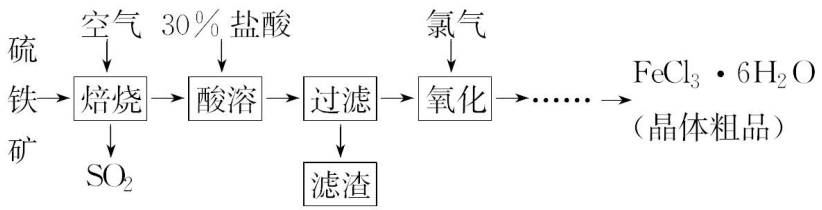
C．按照本流程，x 和 y 调换后也能达到实验目的

D．b、c 既能与强酸又能与强碱反应

解析：根据转化关系，加入试剂 x，得到溶液和 Fe，利用 Al 能与 NaOH 反应，Fe 不与 NaOH 反应，因此试剂 x 为 NaOH，即 a 的主要成分是 $NaAlO_2$，根据转化关系，试剂 y 应为盐酸，发生 $AlO_2^-+H^++H_2O=\!=\!=Al(OH)_3\downarrow$，然后氢氧化铝受热分解成 Al_2O_3，最后通过电解的方法得到金属 Al。根据上述分析，x 为 NaOH 溶液，y 为盐酸，故 A 说法正确；a→b 的反应是 $AlO_2^-+H^++H_2O=\!=\!=Al(OH)_3\downarrow$，故 B 说法正确；如果 x 和 y 互换，a 为 $FeCl_2$ 和 $AlCl_3$，加入 NaOH，则得到 $Fe(OH)_2$ 和 $Al(OH)_3$，按照流程无法得到金属铝，故 C 说法错误；b 和 c 分别是 $Al(OH)_3$ 和 Al_2O_3，都属于两性化合物，既能与强酸反应，又能与强碱反应，故 D 说法正确。

答案：C

2．以硫铁矿(主要成分为 FeS_2)为原料制备氯化铁晶体($FeCl_3\cdot 6H_2O$)的工艺流程如图所示，下列说法不正确的是(　　)



A．酸溶过程使用的酸也可以是硝酸，且过量

B．为了防止污染，焙烧过程中产生的 SO_2 要回收利用

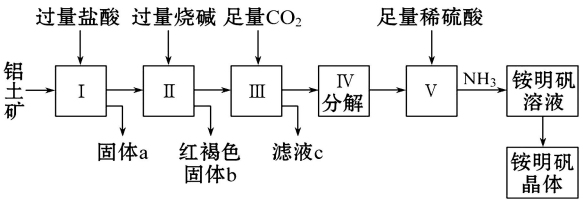
C．通入氯气的目的是氧化 Fe^{2+}

D．由 $FeCl_3\cdot 6H_2O$ 制取无水 $FeCl_3$ 需要在氯化氢的气流中加热

解析：若用过量硝酸酸溶，会引入 NO_3^-，A 错误；SO_2 是一种污染气体，必须回收利用，B 正确；通入 Cl_2 的目的是将 Fe^{2+} 全部氧化为 Fe^{3+}，C 正确；为了防止 Fe^{3+} 水解，由 $FeCl_3\cdot 6H_2O$ 制取无水 $FeCl_3$ 时需要在 HCl 的气流中加热，D 正确。

答案：A

3．(2019·西安模拟)实验室模拟工业上以铝土矿(含 Al_2O_3、Fe_2O_3、SiO_2)为原料制铵明矾 $NH_4Al(SO_4)_2$ 晶体的工艺流程如图所示，下列说法错误的是(　　)



A．固体 a 的化学式为 SiO_2

B．固体 b 的化学式为 $Fe(OH)_3$

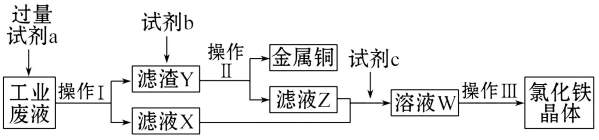
C．Ⅲ中通入足量 CO_2 发生反应的离子方程式为 $2AlO_2^- + CO_2 + 3H_2O = CO_3^{2-} + 2Al(OH)_3\downarrow$

D．Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ→Ⅳ都要用到的分离方法是过滤

解析：SiO_2 不溶于盐酸，A 正确；红褐色固体 b 是 $Fe(OH)_3$，B 正确；Ⅲ中通入足量 CO_2 气体发生反应的离子方程式为 $AlO_2^- + CO_2 + 2H_2O = HCO_3^- + Al(OH)_3\downarrow$，C 错误；Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ→Ⅳ都要用到的分离方法是过滤，D 正确。

答案：C

4．从某含有 $FeCl_2$、$FeCl_3$、$CuCl_2$ 的工业废液中回收铜并制备氯化铁晶体的流程如下。下列说法正确的是(　　)



A．试剂 a 是铁、试剂 b 是稀硫酸

B．操作Ⅰ、操作Ⅱ、操作Ⅲ所用仪器相同

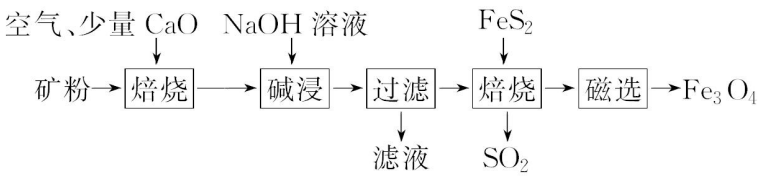
C．试剂 c 是氯气，相应的反应为 $2Fe^{2+} + Cl_2 = 2Fe^{3+} + 2Cl^-$

D．用酸性 $KMnO_4$ 溶液可检验溶液 W 中是否含有 Fe^{2+}

解析：由最终要得到的氯化铁及流程图知 b 是盐酸，A 错误；操作Ⅰ和操作Ⅱ是过滤，操作Ⅲ为蒸发结晶，所用仪器有差异，B 错误；滤液 Z 和 X 中均含有氯化亚铁，因此 c 为氯气，C 正确；高锰酸钾能氧化氯离子而褪色，因此不能用于检验是否含有亚铁离子，D 错误。

答案：C

5．(2018·江苏卷)以高硫铝土矿(主要成分为 Al_2O_3、Fe_2O_3、SiO_2，少量 FeS_2 和金属硫酸盐)为原料，生产氧化铝并获得 Fe_3O_4 的部分工艺流程如下：

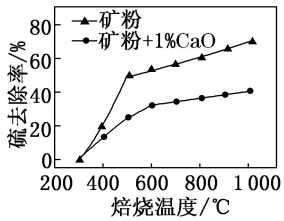


(1)焙烧过程均会产生 SO_2，用 NaOH 溶液吸收过量 SO_2 的离子方程式为

_____

_____。

(2)添加 1%CaO 和不添加 CaO 的矿粉焙烧，其硫去除率随温度变化曲线如图所示。



已知：多数金属硫酸盐的分解温度都高于 600 ℃

$$硫去除率=\left(1-\frac{焙烧后矿粉中硫元素总质量}{焙烧前矿粉中硫元素总质量}\right)\times 100\%$$

①不添加 CaO 的矿粉在低于 500 ℃焙烧时，去除的硫元素主要来源于_____。

②700 ℃焙烧时，添加 1%CaO 的矿粉硫去除率比不添加 CaO 的矿粉硫去除率低，其主要原因是_____

_____。

(3)向“过滤”得到的滤液中通入过量 CO_2，铝元素存在的形式由_____(填化学式)转化为_____(填化学式)。

(4)“过滤”得到的滤渣中含大量的 Fe_2O_3。Fe_2O_3 与 FeS_2 混合后在缺氧条件下焙烧生成 Fe_3O_4 和 SO_2，理论上完全反应消耗的 $n(FeS_2)$ ∶ $n(Fe_2O_3)$ ＝_____。

解析：(1)NaOH 吸收过量 SO_2 的离子方程式为 $SO_2+OH^-=\!=HSO_3^-$。

(2)①由已知多数金属硫酸盐的分解温度都高于 600 ℃，不添加 CaO 的矿粉在低于 500 ℃焙烧时，去除的硫元素主要来源于杂质 FeS_2。②700 ℃焙烧时，FeS_2 中的硫元素生成 SO_2，添加 CaO 后，SO_2 会与 CaO、O_2 反应生成 $CaSO_4$ 而留在矿粉中。

(3)用 NaOH 溶液碱浸后，Al_2O_3、SiO_2 溶解，转化为 $NaAlO_2$ 和 Na_2SiO_3，通入过量 CO_2 后，$NaAlO_2$ 与 CO_2 反应转化为 $Al(OH)_3$。

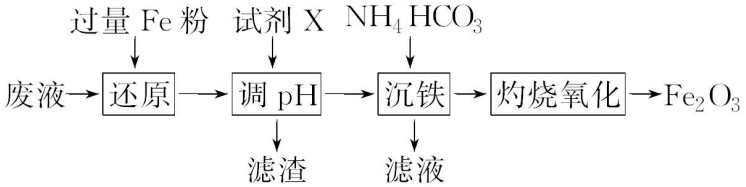
(4)Fe_2O_3 与 FeS_2 在缺氧条件下焙烧生成 Fe_3O_4 和 SO_2，发生反应的化学方程式配平为 $16Fe_2O_3+FeS_2\xlongequal{焙烧}11Fe_3O_4+2SO_2\uparrow$，可得关系式 $FeS_2\sim16Fe_2O_3$，则理论上完全反应消耗的 $n(FeS_2)$ ∶ $n(Fe_2O_3)$ ＝1∶16。

答案：(1)$SO_2+OH^-=\!=HSO_3^-$

(2)①FeS_2　②硫元素转化为 $CaSO_4$ 而留在矿粉中

(3)$NaAlO_2$　$Al(OH)_3$　(4)1∶16

6．(2019·烟台模拟)某工厂酸性废液中含有 Fe^{3+}、Al^{3+}、Fe^{2+}、SO_4^{2-}，以该废液为原料制备 Fe_2O_3 的工艺流程如下(部分操作和条件略)：



已知：①NH_4HCO_3在热水中会分解。

②常温下，溶液中不同金属离子生成氢氧化物沉淀时的 pH 见下表：

金属离子(0.1 mol·L^{-1})	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Al^{3+}
开始沉淀时的 pH	2.4	7.6	3.4
完全沉淀时的 pH	3.7	9.6	4.8

回答下列问题：

(1)写出“还原”步骤中反应的离子方程式：_____

_____。

(2)试剂 X 可选用_____(任写一种，填化学式)，“滤渣”的主要成分是_____。

(3)加入碳酸氢铵后过滤，发现滤液仍然浑浊，可能的原因是

_____

_____，

用 90 ℃热水洗涤 $FeCO_3$沉淀的目的是_____

_____。

(4)若在实验室中灼烧 $FeCO_3$应在_____(填仪器名称)中进行，“灼烧氧化”发生的化学方程式为_____

_____。

(5)若工业上灼烧氧化 174.0 吨 $FeCO_3$得到 117.6 吨产品，则该产品中 Fe_2O_3的纯度为_____(设产品中杂质只有 FeO，保留一位小数)。

解析：(1)“还原”是铁粉将 Fe^{3+}转化为 Fe^{2+}，同时与废液中的 H^+反应生成 H_2，反应的离子方程式为 $Fe+2H^+=\!=\!=Fe^{2+}+H_2\uparrow$和 $Fe+2Fe^{3+}=\!=\!=3Fe^{2+}$。

(2)试剂 X 用于调节溶液的 pH，使 Al^{3+}完全沉淀，选用 $NH_3\cdot H_2O$，不引入其他杂质，同时生成的碳碳氢铵便于除去；“滤渣”的主要成分是过量的铁粉和生成的 $Al(OH)_3$沉淀。

(3)过滤的过程中若把玻璃棒靠在三层滤纸上时不小心把滤纸戳破了，此时过滤出的滤液是混浊的；过滤时滤液液面高于滤纸的边缘时，滤液就会不经过滤纸而直接从滤纸和漏斗之间的空隙中流过，也会导致过滤出的滤液是混浊的；NH_4HCO_3在热水中会分解，用 90 ℃热水洗涤 $FeCO_3$沉淀，目的是洗去表面吸附的离子同时促进碳酸氢铵的分解。

(4)实验室中灼烧固体通常在坩埚中进行，灼烧时 $FeCO_3$与氧气在高温下发生氧化还原反应，化学方程式为 $4FeCO_3+O_2\xlongequal{高温}2Fe_2O_3+4CO_2$。

(5)假设 Fe_2O_3物质的量为 x mol，FeO 的物质的量为 y mol，那么满足：$160x+72y=117.6$

$\times 10^6$、$2x+y=\frac{174\times 10^6}{116}$，解得 $x=6\times 10^5$ mol，所以产物中 Fe_2O_3 的质量分数为$\frac{6\times 10^5\times 160}{117.6\times 10^6}\times 100\%=81.6\%$。

答案：(1)$Fe+2H^+=\!=Fe^{2+}+H_2\uparrow$、$Fe+2Fe^{3+}=\!=3Fe^{2+}$

(2)$NH_3\cdot H_2O$　Fe 和 $Al(OH)_3$

(3)滤纸破损(或过滤时滤液超过滤纸上缘等)　洗去表面吸附的离子同时促进碳酸氢铵的分解

(4)坩埚　$4FeCO_3+O_2\xlongequal{\text{高温}}2Fe_2O_3+4CO_2$

(5)81.6%