

聚焦金属的冶炼

江苏省灌云高级中学

222200

刘洪军

一、金属冶炼的一般步骤

1. 富集: 除去金属矿石中的杂质, 提高矿石中
有用成分的含量。

2. 冶炼: 利用氧化还原反应基本原理, 用还原
剂把矿石中的金属离子还原成金属单质。

3. 精炼: 提纯金属。

例 1 下列有关金属的工业制法中正确的是
()。

A. 制取金属钛: 利用置换反应, 用金属钠置
换氯化钛(TiCl_4) 溶液中的金属钛

B. 制取金属铁: 用焦炭和空气反应产生的 CO ,
再利用 CO 在高温下还原铁矿石中铁的氧化物

C. 制取金属钠: 用海水为原料制得精盐, 再
电解纯净、饱和的 NaCl 溶液

D. 制取金属铜: 对黄铜矿进行电解精炼得到
纯度为 99.9% 的精铜

解析 A 中不能用 TiCl_4 溶液, 要用熔融态的
 TiCl_4 ; 电解 NaCl 溶液得到 NaOH 、 Cl_2 和 H_2 ; 电解
法精炼铜的原料是粗铜。答案: B

二、金属冶炼的方法(见表 1)

表 1

方法名称	主要反应原理
热分解法	$2\text{HgO} \xrightarrow{\Delta} 2\text{Hg} + \text{O}_2 \uparrow$ $2\text{Ag}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} 4\text{Ag} + \text{O}_2 \uparrow$
热还原法	CO 作还原剂 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ (高炉炼铁)
	H_2 作还原剂 $\text{WO}_3 + 3\text{H}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{W} + 3\text{H}_2\text{O}$
活泼金属作还原剂	$3\text{MnO}_2 + 4\text{Al} \xrightarrow{\text{高温}} 3\text{Mn} + 2\text{Al}_2\text{O}_3$
电解法	$2\text{Al}_2\text{O}_3 (\text{熔融}) \xrightarrow[\text{冰晶石}]{\text{通电}} 4\text{Al} + 3\text{O}_2 \uparrow$
	$\text{MgCl}_2 (\text{熔融}) \xrightarrow{\text{通电}} \text{Mg} + \text{Cl}_2 \uparrow$
	$2\text{NaCl} (\text{熔融}) \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{Na} + \text{Cl}_2 \uparrow$

例 2 下列制备金属单质的方法或原理正确的
是()。

A. 制备单质 Mg : 在高温条件下, 用 H_2 还原 MgO

B. 制备单质 Al : 在通电条件下, 电解熔融 Al_2O_3

C. 制备单质 Na : 在通电条件下, 电解饱和食

盐水

D. 制备单质 Cu : CuO 在高温条件下分解

解析 Mg 的活泼性强, 不能用 H_2 还原法制
备 Mg , 而是用电解熔融 MgCl_2 的方法制备, 电解
饱和食盐水得到 NaOH 而不是 Na ; CuO 强热分解
生成 Cu_2O 而不是 Cu 。答案: B

三、金属冶炼的工艺流程

金属冶炼的工艺流程就是将金属制备的生产
过程中的主要生产阶段以框图的形式表示出来,
并根据生产流程中有关的化学知识步步设问, 形
成与化工生产紧密联系的化工工艺试题。中学阶
段涉及的金属冶炼主要包括从铝土矿中冶炼铝、
从海水中提取镁、从黄铜矿中冶炼铜。

(1) 从铝土矿中冶炼铝的工艺流程如图 1 所示:

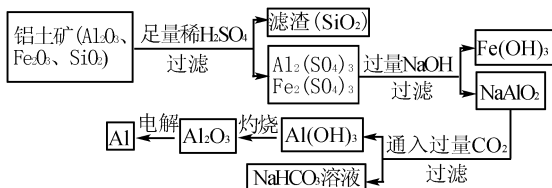


图 1

(2) 从海水中提取镁的工艺流程如图 2 所示:

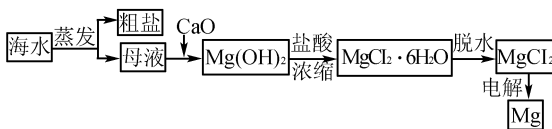


图 2

(3) 由黄铜矿冶炼铜的工艺流程如图 3 所示:

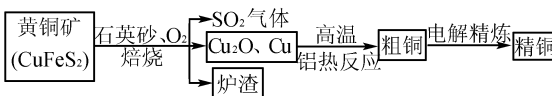


图 3

例 3 工业上由黄铜矿(主要成分 CuFeS_2) 冶
炼铜的主要流程如图 4 所示: (1) 由泡铜冶炼粗铜
的化学反应方程式为____。(2) 进行粗铜(含 Al 、
 Zn 、 Ag 、 Pt 、 Au 等杂质) 的电解精炼(以 CuSO_4 溶
液为电解质溶液)。下列说法正确的是____。

a. 电能全部转化为化学能

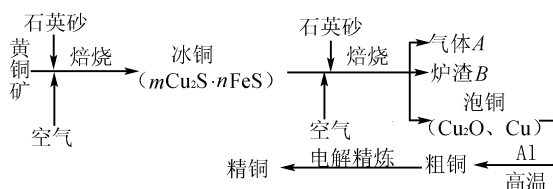


图 4

b. 粗铜接电源正极, 发生氧化反应

c. 溶液中 Cu^{2+} 向阳极移动

d. 利用阳极泥可回收 Ag、Pt、Au 等金属

解析 (1) 图示中可利用铝热反应由泡铜冶炼粗铜。(2) 电解精炼铜的过程中电能转变为化学能的同时, 部分电能转化为热能, a 错; 电解精炼铜时, 粗铜作阳极, 与电源正极相连, 发生氧化反应, b 对; 电解过程中 Cu^{2+} 向阴极移动, c 错; 粗铜中 Ag、Pt、Au 放电能力比铜弱, 形成阳极泥, 可以回收, d 对。

答案: (1) $3\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{Al} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{Cu}$ (2) b、d

例 4 I. 从铝土矿中提取氧化铝的流程如图 5 所示: (铝土矿的主要杂质为 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 SiO_2 和一些不溶性杂质)

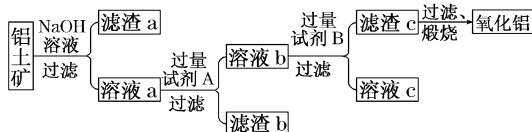


图 5

(1) 试剂 A 是 ____; 溶液 b 与试剂 B 反应的离子方程式为 ____。(2) 加入 NaOH 溶液进行的反应的离子方程式为 ____, 向溶液 a 中通入过量的 CO_2 , 将得到的不溶物煅烧后也可得到 Al_2O_3 , 该方案的缺点是 ____。

II. 电解熔融的氧化铝可制备金属铝

(3) 写出电解的化学方程式 ____。每生产 0.27 t 铝, 理论上转移电子的物质的量为 ____ mol。

解析 铝土矿与碱液反应时, 氧化铝、二氧化硅溶解, 而氧化铁是滤渣 a 的主要成分; 滤液里加入过量强酸。(盐酸或硫酸), 硅酸沉淀不溶, 滤出为滤渣 b, 溶液 b 的主要成分为 Al^{3+} 溶液。向滤液 b 中加入过量的氨水, 析出氢氧化铝(滤渣 c), 将滤渣 c 加热脱水可得氧化铝。(2) 向溶液 a 中通入过量的 CO_2 , 形成的滤渣中将有两种物质: 硅酸及氢氧化铝, 加热后得到的 Al_2O_3 中含有 SiO_2 杂质。(3) $2\text{Al}_2\text{O}_3$ (熔

融) $\xrightarrow{\text{通电}} 4\text{Al} + 3\text{O}_2 \uparrow$ 中有 12 个电子转移。

答案: I. (1) 盐酸(硫酸或硝酸) $\text{Al}^{3+} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4^+$ (2) $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons 2\text{AlO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ $\text{SiO}_2 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{SiO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ Al_2O_3 中含有 SiO_2 杂质

II. (3) $2\text{Al}_2\text{O}_3$ (熔融) $\xrightarrow{\text{通电}} 4\text{Al} + 3\text{O}_2 \uparrow$ 3×10^4

例 5 据世界化学史记载, 金属铝是在 1825 年被英国化学家戴维制得的。天然铝土矿的氧化铝含量为 50% ~ 70%, 杂质主要为 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 等, 而工业上电解氧化铝要求其纯度不得低于 98.2%, 工业生产铝锭的工艺流程示意图如图 6 所示:

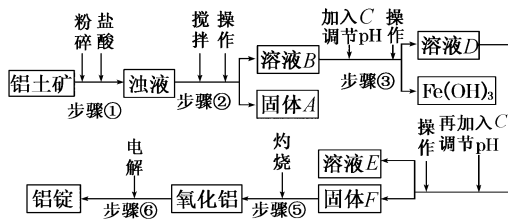


图 6

一些氢氧化物沉淀的 pH 见表 2。

表 2

沉淀物	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
开始沉淀 pH(离子初始浓度 0.01 mol/L)	4	2.3	10.4
完全沉淀 pH(离子浓度 $< 10^{-5}$ mol/L)	5.2	4.1	12.4

请回答下列问题: (1) 实验室进行步骤④的操作名称为 ____。(2) 固体 A 的化学式为 ____, 物质 C 为 ____。(3) 步骤④调节 pH 的范围为 ____。(4) 步骤⑥反应的化学方程式为 ____。

解析 本题以工业生产铝锭的工艺流程为背景, 考查内容包括 pH 的选择、过滤操作、常见金属元素及其化合物的主要性质等。 SiO_2 是酸性氧化物不与盐酸反应, 进行过滤操作(步骤②), 得到固体 A 是 SiO_2 ; 加入 NaOH 溶液, 调节 pH 使 Fe^{3+} 沉淀, 步骤④是过滤得到氢氧化铝沉淀。步骤④为使 Al^{3+} 完全沉淀, 而 Mg^{2+} 不能产生沉淀, 需调节溶液的 pH 在 5.2 ~ 10.4 之间。

答案: (1) 过滤 (2) SiO_2 NaOH 溶液 (3) 5.2 < pH < 10.4 (4) $2\text{Al}_2\text{O}_3$ (熔融) $\xrightarrow{\text{通电}} 4\text{Al} + 3\text{O}_2 \uparrow$

(收稿日期: 2016-01-12)