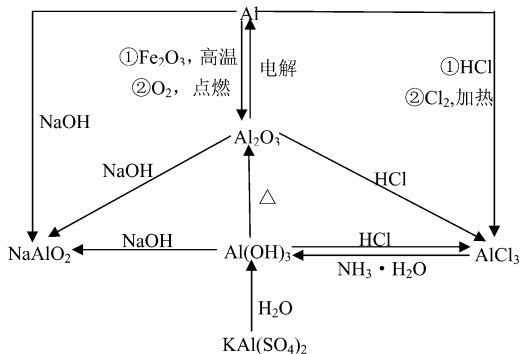


# 铝的“两性”——2013 年高考中的“亮点”

山东省滕州市第一中学西校 (277500) 孔会会

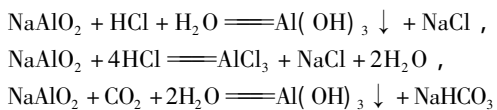
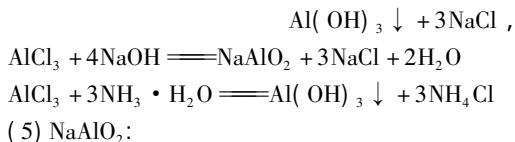
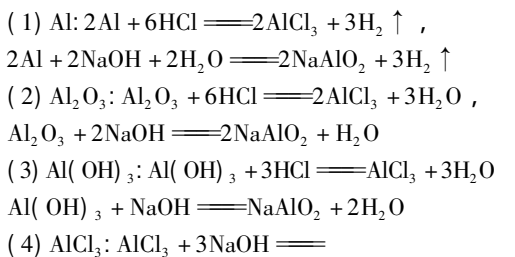
铝及其化合物在 2013 年高考试题中多次出现, 成为 2013 年高考命题的重点, 而与铝的“两性”有关的知识, 更成为 2013 年高考中的“亮点”。

## 一、铝及其化合物间的转化关系



## 二、与铝的“两性”有关的化学反应

这里所说的铝的“两性”指的是广义上的两性, 即铝、氧化铝、氢氧化铝既可以与强酸反应, 又可以和强碱反应(不一定只生成盐和水)。



## 三、可溶性铝盐与强碱溶液反应的计算规律

因二者反应产物  $\text{Al}(\text{OH})_3$  能与反应物之一的强碱反应, 其计算方法思路类似于  $\text{CO}_2$  与石灰水的反应, 规律如下: (1) 求产物  $\text{Al}(\text{OH})_3$  的量: 当  $n(\text{OH}^-) \leq 3n(\text{Al}^{3+})$  时,  $n(\text{Al}(\text{OH})_3) = n(\text{OH}^-)/3$ ; 当  $3n(\text{Al}^{3+}) < n(\text{OH}^-) < 4n(\text{Al}^{3+})$  时  $n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 4n(\text{Al}^{3+}) - n(\text{OH}^-)$ ; 当  $n(\text{OH}^-) \geq 4n(\text{Al}^{3+})$  时,  $n[\text{Al}(\text{OH})_3] = 0$ . (2) 求反应物碱的量: 当  $n[\text{Al}(\text{OH})_3] = n(\text{Al}^{3+})$  时  $n(\text{OH}^-) = 3n(\text{Al}^{3+})$ ; 当  $n[\text{Al}(\text{OH})_3] <$

$n(\text{Al}^{3+})$  时, ①若碱过量:  $n(\text{OH}^-) = 4n(\text{Al}^{3+}) - n[\text{Al}(\text{OH})_3]$ ; ②若碱不足:  $n(\text{OH}^-) = 3n[\text{Al}(\text{OH})_3]$ .

## 四、2013 年高考试题分析

例 1 (山东第 9 题) 足量下列物质与等质量的铝反应, 放出氢气且消耗溶质物质的量最少的是( )。

- A. 氢氧化钠溶液
- B. 稀硫酸
- C. 盐酸
- D. 稀硝酸

解析 根据反应方程式:  $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaAlO}_2 + 3\text{H}_2 \uparrow$ ,  $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$ ,  $2\text{Al} + 6\text{HCl} \rightleftharpoons 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$ ,  $2\text{Al} + 4\text{HNO}_3 \rightleftharpoons 2\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ , 可知放出氢气且消耗溶质物质的量最少的是 NaOH. 答案: A

例 2 (上海卷第 17 题) 某溶液可能含有  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  和  $\text{K}^+$ . 取该溶液 100 mL, 加入过量 NaOH 溶液, 加热, 得到 0.02 mol 气体, 同时产生红褐色沉淀; 过滤, 洗涤, 灼烧, 得到 1.6 g 固体; 向上述滤液中加足量  $\text{BaCl}_2$  溶液, 得到 4.66 g 不溶于盐酸的沉淀. 由此可知原溶液中( )。

- A. 至少存在 5 种离子
- B.  $\text{Cl}^-$  一定存在, 且  $c(\text{Cl}^-) \geq 0.4 \text{ mol/L}$
- C.  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$  一定存在,  $\text{Cl}^-$  可能不存在
- D.  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  一定不存在,  $\text{K}^+$  可能存在

解析 取该溶液 100 mL, 加入过量 NaOH 溶液, 加热, 得到 0.02 mol 气体, 可知气体为  $\text{NH}_3$ , 说明原溶液中含有  $\text{NH}_4^+$  0.02 mol; 同时产生红褐色沉淀, 可知红褐色沉淀为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 过滤, 洗涤, 灼烧, 得到 1.6 g 固体, 固体为 0.01 mol  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 说明原溶液中含有  $\text{Fe}^{3+}$  0.02 mol, 同时说明原溶液中不含有  $\text{CO}_3^{2-}$ ; 向上述滤液中加足量  $\text{BaCl}_2$  溶液, 得到 4.66 g 不溶于盐酸的沉淀, 沉淀为 0.02 mol  $\text{BaSO}_4$ , 说明原溶液中含有  $\text{SO}_4^{2-}$  0.02 mol; 根据电荷守恒, 说明原溶液中  $\text{Cl}^-$  一定存在, 且  $c(\text{Cl}^-) \geq 0.4 \text{ mol/L}$ . 答案: B

例 3 (重庆卷第 8 题) 合金是建筑航空母舰的主体材料. (1) 航母升降机可由铝合金制造. ①铝元素在周期表中的位置是 \_\_\_\_\_, 工业炼铝的原料由铝土矿提取而得, 提取过程中通入的气体为 \_\_\_\_\_. ②Al-Mg 合金焊接前用 NaOH 溶液处理  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜, 其化学方程式为 \_\_\_\_\_. 焊接过程中使用的保护气为 \_\_\_\_\_ (填化学式).

(2) 航母舰体材料为合金钢. ①舰体在海水中发

生的电化学腐蚀主要为 \_\_\_\_。②航母用钢可由低硅生铁冶炼而成 则在炼铁过程中为降低硅含量需加入的物质为 \_\_\_\_。

(3) 航母螺旋桨主要用铜合金制造。①80.0 g Cu - Al 合金用酸完全溶解后 加入过量氨水 过滤得到白色沉淀 39.0 则合金中 Cu 的质量分数为 \_\_\_\_。②为分析某铜合金的成分 用酸将其完全溶解后 用 NaOH 溶液调节 pH 当 pH=3.4 时开始出现沉淀 分别在 pH 为 7.0、8.0 时过滤沉淀 结合图 1 信息推断该合金中除铜外一定含有 \_\_\_\_。

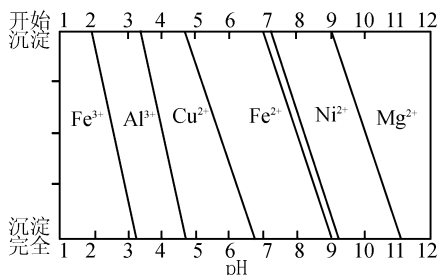


图 1

解析 (1) ①铝元素在周期表中位于第三周期第ⅢA族 工业炼铝的原料由铝土矿提取而得 提取过程中通入的气体为 CO<sub>2</sub>。②Al - Mg 合金焊接前用 NaOH 溶液处理 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜 其化学方程式为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 2NaOH = 2NaAlO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O。焊接过程中使用的保护气为 Ar。(2) ①舰体在海水中发生的电化学腐蚀主要为吸氧腐蚀。②在炼铁过程中为降低硅含量需加入的物质为 CaCO<sub>3</sub> 或 CaO。(3) ①80.0 g Cu - Al 合金用酸完全溶解后 加入过量氨水 过滤得到白色沉淀 [Cu(OH)<sub>2</sub> 和 Al(OH)<sub>3</sub>] 39.0 列方程组可解得合金中 Cu 的质量分数为 83.1%。②当 pH=3.4 时开始出现沉淀 根据图示可知含有 Al 分别在 pH 为 7.0、8.0 时过滤沉淀 根据图示可知含有 Ni (图示分析略)。

答案: (1) ①第三周期第ⅢA族 CO<sub>2</sub> ②Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 2NaOH = 2NaAlO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O Ar (2) ①吸氧腐蚀 ②CaCO<sub>3</sub> 或 CaO (3) ①83.1% ②Al、Ni

例 4 (北京卷第 27 题) 用含有 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 和少量 FeO · xFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的铝灰制备 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · 18H<sub>2</sub>O。工艺流程如下 (部分操作和条件略): I. 向铝灰中加入过量稀 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 过滤; II. 向滤液中加入过量 KMnO<sub>4</sub> 溶液 调节溶液的 pH 约为 3; III. 加热 产生大量棕色沉淀 静置 上层溶液呈紫红色; IV. 加入 MnSO<sub>4</sub> 至紫红色消失 过滤; V. 浓缩、结晶、分离 得到产品。

(1) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶解 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的离子方程式是 \_\_\_\_。

(2) KMnO<sub>4</sub> 氧化 Fe<sup>2+</sup> 的离子方程式补充完整: MnO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + □Fe<sup>2+</sup> + □\_\_\_\_ = Mn<sup>2+</sup> + □Fe<sup>3+</sup> + □\_\_\_\_

(3) 已知: 生成氢氧化物沉淀的 pH

|       | Al(OH) <sub>3</sub> | Fe(OH) <sub>2</sub> | Fe(OH) <sub>3</sub> |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 开始沉淀时 | 3.4                 | 6.3                 | 1.5                 |
| 完全沉淀时 | 4.7                 | 8.3                 | 2.8                 |

注: 金属离子的起始浓度为 0.1 mol · L<sup>-1</sup>

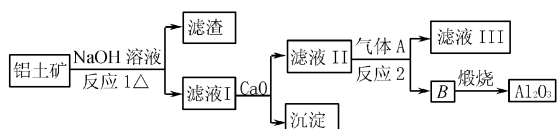
根据表中数据解释步骤 II 的目的: \_\_\_\_。

(4) 已知: 一定条件下, MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> 可与 Mn<sup>2+</sup> 反应生成 MnO<sub>2</sub> ①向 III 的沉淀中加入浓 HCl 并加热 能说明沉淀中存在 MnO<sub>2</sub> 的现象是 \_\_\_\_。②IV 中加入 MnSO<sub>4</sub> 的目的是 \_\_\_\_。

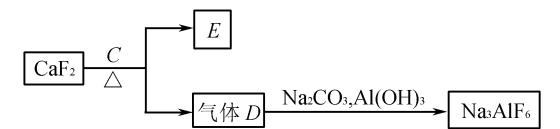
解析 (1) 氧化铝与硫酸反应生成硫酸铝与水; (2) 反应中 MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> → Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> → Fe<sup>3+</sup>, MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> 系数为 1, 根据电子转移守恒可知, Fe<sup>2+</sup> 系数为  $\frac{1 \times (7-2)}{3-2} = 5$ , 由元素守恒可知, Fe<sup>3+</sup> 系数为 5, 由电荷守恒可知, 由 H<sup>+</sup> 参加反应 其系数为 8 根据元素守恒可知有 H<sub>2</sub>O 生成 其系数为 4, 方程式配平为 MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> + 5Fe<sup>2+</sup> + 8H<sup>+</sup> = Mn<sup>2+</sup> + 5Fe<sup>3+</sup> + 4H<sub>2</sub>O; (3) 滤液中含有 Fe<sup>2+</sup>, 由表中数据可知 Fe(OH)<sub>2</sub> 开始沉淀的 pH 大于 Al(OH)<sub>3</sub> 完全沉淀的 pH, 而 Fe(OH)<sub>3</sub> 完全沉淀的 pH 小于 Al(OH)<sub>3</sub> 开始沉淀的 pH, pH 约为 3 时, Al<sup>3+</sup>、Fe<sup>2+</sup> 不能沉淀, 步骤 II 是将 Fe<sup>2+</sup> 氧化为 Fe<sup>3+</sup>, 调节 pH 使铁完全沉淀; (4) ①MnO<sub>2</sub> 能将 HCl 氧化为 Cl<sub>2</sub> 若有黄绿色气体生成说明沉淀中存在 MnO<sub>2</sub>; ②III 的上层液呈紫红色, MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> 过量 加入 MnSO<sub>4</sub> 除去过量的 MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>。

答案: (1) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 6H<sup>+</sup> = 2Al<sup>3+</sup> + 3H<sub>2</sub>O; (2) 5、8H<sup>+</sup>、5、4H<sub>2</sub>O; (3) 将 Fe<sup>2+</sup> 氧化为 Fe<sup>3+</sup>, 调节 pH 使铁完全沉淀; (4) ①生成有黄绿色气体; ②加入 MnSO<sub>4</sub> 除去过量的 MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>。

例 5 (大纲卷第 29 题) 铝是一种应用广泛的金属 工业上用 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和冰晶石 (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) 混合熔融电解制得。①铝土矿的主要成分是 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 SiO<sub>2</sub> 等。



从铝土矿中提炼 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的流程如下: ②以萤石 (CaF<sub>2</sub>) 和纯碱为原料制备冰晶石的流程如下:



回答下列问题: (1) 写出反应 1 的化学方程式 \_\_\_\_; (2) 滤液 I 中加入 CaO 生成的沉淀是 \_\_\_\_ 反应 2 的离子方程式为 \_\_\_\_; (3) E 可作为建筑材料化 ▶

# 化学反应“进程”问题类型及解法研究

黑龙江省大庆市第五十六中学 (163813) 卢国锋  
 黑龙江省大庆市铁人中学 (467300) 卢敬萱

化学反应的进程随着反应的进行、反应条件的改变、反应物和产物的变化而变化. 本文通过比较反应物的性质差异、结合量的关系, 动态地归纳化学反应进程问题, 希望有助于深入理解化学反应的本质.

## 类型一: 反应顺序型

问题根源: 反应物之间存在性质强弱的差异性, 如氧化性、还原性、酸性、碱性、溶解性、热稳定性的差异.

解决策略: 外界条件相同或接近时, 氧化还原反应为竞争电子反应, 反应体系中氧化性最强的反应物优先与还原性最强的反应物反应. 酸碱盐溶液中的反应, 当溶液中有多种离子都能与  $H^+$  或  $OH^-$  反应时, 表现为争夺质子反应. 酸越弱, 结合  $OH^-$  能力越弱, 而对应酸根结合  $H^+$  能力越强; 碱越弱, 结合  $H^+$  能力越弱, 而碱的阳离子结合氢氧根能力越强. 当一种沉淀试剂与溶液中多种离子发生沉淀反应时的顺序为: 物质的溶度积越小, 则对应的离子越先沉淀.

### 1. 氧化还原型

例 1 有一混合溶液, 其中只含有  $Fe^{2+}$ 、 $Cl^-$ 、 $Br^-$ 、 $I^-$  (忽略水的电离), 其中  $Cl^-$ 、 $Br^-$ 、 $I^-$  的个数比为 2:3:4, 向该溶液中通入氯气, 使溶液中  $Cl^-$  和  $Br^-$  的个数比为 3:1, 则通入氯气的物质的量与溶液中剩余的  $Fe^{2+}$  的物质的量之比为( ).

- A. 7:1 B. 7:2 C. 7:3 D. 7:4

► 合物 C 是\_\_\_\_, 写出由 D 制备冰晶石的化学方程式\_\_\_\_; (4) 电解制铝的化学方程式是\_\_\_\_, 以石墨为电极, 阳极产生的混合气体的成分是\_\_\_\_.

解析 (1) 因为铝土矿的主要成分是  $Al_2O_3$  和  $SiO_2$  等, 所以反应 1 的化学方程式是  $2NaOH + SiO_2 \rightleftharpoons Na_2SiO_3 + H_2O$ ;  $2NaOH + Al_2O_3 \rightleftharpoons 2NaAlO_2 + H_2O$ .

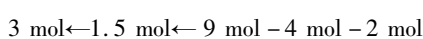
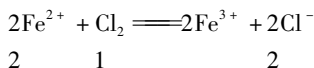
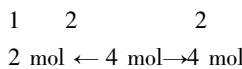
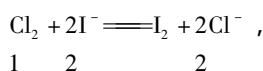
(2) 滤液 I 含有  $Na_2SiO_3$ , 加入 CaO 生成的沉淀是  $CaSiO_3$ . 滤液 II 中含有  $AlO_2^-$ , 反应 2 的离子方程式为  $2AlO_2^- + CO_2 + 3H_2O \rightleftharpoons 2Al(OH)_3 \downarrow + CO_3^{2-}$ .

(3) 根据框图可知气体 D 为 HF, 所以化合物 C 是浓  $H_2SO_4$ . 制备冰晶石的化学方程式是  $12HF +$

解法点拨 混合溶液中各种离子(还原剂)的还原性强弱顺序为:  $I^- > Fe^{2+} > Br^- > Cl^-$ ,  $Fe^{2+}$  剩余则  $Br^-$  未反应,  $I^-$  完全反应. 设原混合溶液中  $Cl^-$ 、 $Br^-$ 、 $I^-$  的物质的量分别为 2 mol、3 mol、4 mol. 根据电荷守恒, 原溶液中  $Fe^{2+}$  的物质的量为  $\frac{2+3+4}{2} \text{ mol} = 4.5 \text{ mol}$ .

$Cl^-$  和  $Br^-$  的个数比为 2:3 变为 3:1, 若  $Br^-$  的物质的量为 3 mol,  $Cl^-$  的物质的量增加到 9 mol.

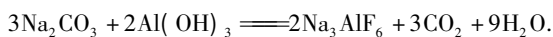
通入氧化剂  $Cl_2$  后, 溶液中还原性强者优先反应:



通入的  $Cl_2$  的物质的量为 3.5 mol, 剩余的  $Fe^{2+}$  的物质的量为 1.5 mol. 故通入氯气的物质的量与溶液中剩余的  $Fe^{2+}$  的物质的量之比为 3.5 mol:1.5 mol = 7:3. 正确答案: C.

### 2. 酸碱型

例 2 在含 0.075 mol  $KHCO_3$  的溶液中加入 0.025 mol  $KOH$ , 然后向溶液中滴加 1.0 mol/L 稀盐酸. 下列图像能正确表示加入盐酸体积与生成  $CO_2$  的物质的量的关系的是( ).



(4) 电解制铝的化学方程式是  $2Al_2O_3 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}$

$4Al + 3O_2 \uparrow$ , 以石墨为电极, 阳极产生的混合气体的成分是  $O_2$ 、 $CO_2$  (CO) (生成的  $O_2$  和石墨反应).

答案: (1)  $2NaOH + SiO_2 \rightleftharpoons Na_2SiO_3 + H_2O$ ;  $2NaOH + Al_2O_3 \rightleftharpoons 2NaAlO_2 + H_2O$ ; (2)  $CaSiO_3 + 2AlO_2^- + CO_2 + 3H_2O \rightleftharpoons 2Al(OH)_3 \downarrow + CO_3^{2-}$ ;

(3) 浓  $H_2SO_4 + 12HF + 3Na_2CO_3 + 2Al(OH)_3 \rightleftharpoons 2Na_3AlF_6 + 3CO_2 + 9H_2O$ ; (4)  $2Al_2O_3 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}$

$4Al + 3O_2 \uparrow$   $O_2$ 、 $CO_2$  (CO)

(收稿日期: 2013-11-29)