

复习与练习

由一例“金属+酸+碱”

反应试题引发的思考

江苏省如皋市薛窑中学 226541 陆小祥

题目 向 m g 的镁和铝的混合物中加入适量的稀硫酸,恰好完全反应生成标准状况下的 b L 气体,向反应后的溶液中加入 c mol/L 的氢氧化钾溶液 V mL,使金属离子刚好沉淀完全,得到沉淀的质量为 n g,再将得到的沉淀灼烧至质量不再改变为止,得到 p g 固体,则下列关系不正确的是 ()。

- A. $c=1000b/11.2V$ B. $p=m+Vc/125$
- C. $n=m+17Vc$ D. $5m/3 < p < 17m/9$

解析 反应过程可用如图 1 所示的框图来表示,其中加入 KOH 使金属离子刚好完全沉淀时,所得溶液的溶质只有 K_2SO_4 ,则先加的 H_2SO_4 与后加的 KOH 的物质的量之比满足 1:2 的关系。

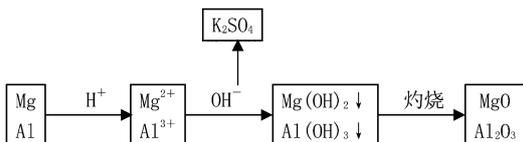


图 1

对于生成的沉淀及最后得到的氧化物的质量间的定量关系可用图 2 表示:

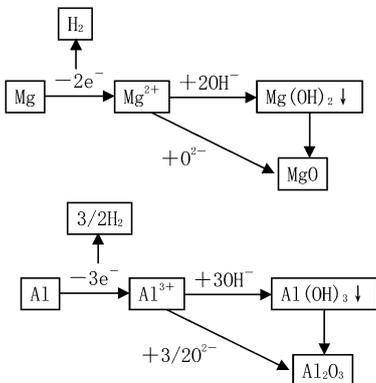
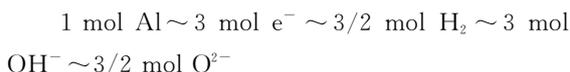
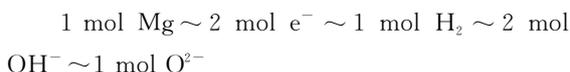


图 2

因此建立如下关系:



生成的沉淀为 $Mg(OH)_2$ 和 $Al(OH)_3$,其质量 $n = m[Mg(OH)_2] + m[Al(OH)_3] = m(\text{合金}) + m(OH^-) = m + c \cdot V \times 10^{-3} \text{ mol} \times 17 \text{ g/mol}$,或者 $n = m + n(H_2) \times 2 \times 17 \text{ g/mol} = m + b/22.4 \times 2 \times 17 \text{ g/mol}$

沉淀灼烧至质量不再改变,得到固体为 MgO 和 Al_2O_3 的混合物,其质量 $p = m(MgO) + m(Al_2O_3) = m(\text{合金}) + m(O) = m + n(OH^-) \times 1/2 \times 16 \text{ g/mol} = m + Vc/125$,或者 $p = m + n(H_2) \times 16 \text{ g/mol} = m + b/22.4 \times 16 \text{ g/mol}$

对于最终所得的 p g 固体的取值范围,在确定其成分为氧化物的前提下,采用极限方法进行处理。即当金属只为 Mg 时,所得氧化物 MgO 的质量为 $5m/3$,当金属只为 Al 时,所得氧化物 Al_2O_3 的质量为 $17m/9$ 。而为 Mg、Al 混合物时,所得氧化物的质量取值范围则为 $5m/3 < p < 17m/9$ 。

习题教学对于深化基础知识,完善知识结构,培养解题技巧,提高思维品质,培养创新能力,具有十分重要的作用。习题教学的关键在于如何调动学生学习的积极性、主动性。如何发挥学生的自身潜能,提高分析问题、解决问题的能力。帮助学生树立自信心,形成学习兴趣。在习题教学过程,一方面要注意引导学生进行知识间的横向、纵向联系,使知识网络化。通过以点带线、以线带面的知识间联系,使知识结构立体化,这样有助于学生的理解、掌握和运用。从而达到深化基础,完善知识结构的目。另一方面强化解析方法,化学问题的解决方法较多,如守恒法(原子守恒、电荷

守恒、电子转移守恒、质量守恒等), 差量法(质量差量、体积差量等)及应用数学方法(数轴、图象、不等式、极限知识等)等方法。通过实现一题多解, 引导学生总结解题规律, 培养解题技巧, 拓宽学生的思维, 优化思维方法, 同时通过题目创新反思, 实现一题多拓, 既能增强知识之间对比, 巩固基础知识, 使易混淆的知识点层次化、条理化, 又能拓宽学生的视野, 便于学生抓住问题的主要矛盾, 提高学生的思维品质。根据例题的解析过程, 可做如下处理:

一、计算沉淀的生成量

例1 2.1 g Mg~Al 混合物投入到足量的盐酸中产生 2240 mL H_2 (标准状况), 然后加入 1 mol/L NaOH 溶液充分反应后, 过滤、洗涤、干燥后固体的质量不可能为()。

- A. 3.0 g B. 3.5 g C. 5.5 g D. 5.6 g

解析 加入 NaOH 溶液后, 若使 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 恰好生成沉淀, 其质量为 $m = m(\text{合金}) + m(OH^-) = 2.1 \text{ g} + n(H_2) \times 2 \times 17 \text{ g/mol} = 5.5 \text{ g}$, 当加入 NaOH 过量时, 由于 $Al(OH)_3$ 转化为可溶的 $NaAlO_2$, 沉淀的质量可小于 5.5 g, 故答案为 D。

例2 铜和镁的合金 4.6 g 完全溶于浓硝酸, 若反应中硝酸被还原只产生 4480 mL 的 NO_2 和 336 mL N_2O_4 (标准状况下), 在反应后的溶液中, 加足量的氢氧化钠溶液, 生成沉淀的质量为()。

- A. 9.02 g B. 8.51 g C. 8.26 g D. 7.04 g

解析 生成的沉淀为 $Cu(OH)_2$ 和 $Mg(OH)_2$, 其质量 $m = m(\text{合金}) + m(OH^-)$ 。又由合金在反应过程中每失去 1 mol 电子就获得 1 mol OH^- , 因此生成沉淀的质量为: $m = 4.6 \text{ g} + [n(NO_2) + n(N_2O_4) \times 2] \times 17 \text{ g/mol} = 8.51 \text{ g}$ 。

二、计算酸、碱的用量

例3 将 5.1 g Mg~Al 合金投入到 500 mL 2 mol/L 的盐酸溶液中, 金属完全溶解, 再加入 4 mol/L 的氢氧化钠溶液, 若使生成的沉淀量最多, 则应加入氢氧化钠溶液的体积为()。

- A. 200 mL B. 250 mL
C. 425 mL D. 560 mL

解析 由所得沉淀量最多可知, Mg、Al 元素最终将以 $Mg(OH)_2$ 、 $Al(OH)_3$ 存在, 此时溶液中

只存在 NaCl 一种溶质。因此由 Cl、Na 原子守恒可知 $n(NaOH) = n(HCl) = 1.0 \text{ mol}$, 则所加氢氧化钠溶液的体积为 250 mL。

三、计算气体的生成量

例4 将 3.9 g 镁铝合金溶于 60 mL、4 mol/L 硫酸中, 当合金完全溶解后, 再加入 60 mL、8 mol/L NaOH 溶液, 得到沉淀 10.7 g, 则加硫酸时, 产生氢气的物质的量为() mol。

- A. 0.17 B. 0.18 C. 0.20 D. 0.21

解析 已知 H_2SO_4 的物质的量为 0.24 mol, NaOH 的物质的量为 0.48 mol, 说明反应后溶液中的溶质只为 Na_2SO_4 , Mg、Al 均恰好转化为沉淀, 由生成沉淀的质量 $m = m(\text{合金}) + m(OH^-) = 3.9 \text{ g} + n(H_2) \times 2 \times 17 \text{ g/mol} = 10.7 \text{ g}$, 可知产生氢气的物质的量为 0.20 mol。

四、综合运用

例5 将一定质量的 Mg~Al 合金加入到 100 mL 某盐酸溶液中, 待充分反应后, 无固体剩余, 向反应后的溶液加入 0.1 mol/L 的氢氧化钠溶液, 当加至 50 mL 时刚好出现沉淀, 加至 650 mL 时沉淀量达到最大, 当加至 750 mL 时沉淀质量不再改变。求盐酸溶液的浓度及 Mg~Al 合金的质量。

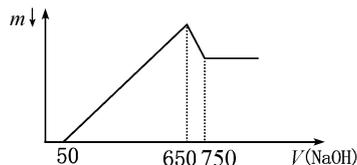


图3

解析 根据物质的性质借助图象(图3)来分析反应的具体过程。当加入氢氧化钠的体积:

- ① 0~50 mL 时, 与溶液中剩余的盐酸反应
- ② 50 mL~650 mL 时, 生成 $Mg(OH)_2$ 、 $Al(OH)_3$ 沉淀过程

③ 650 mL~750 mL 时, 将 $Al(OH)_3$ 转化为 $NaAlO_2$

④ 大于 750 mL 时, 沉淀的质量不再改变, 沉淀中只有 $Mg(OH)_2$ 一种物质

因此当氢氧化钠的体积为 650 mL 时, 沉淀量为最大, 溶液中只有一种溶质为 NaCl, 由原子守恒可计算出盐酸溶液的浓度为 0.65 mol/L, 由过程③可知氢氧化铝的物质的量为 0.01 mol, 即铝的物

质的量为 0.01 mol,由过程②可计算出 Mg 的物质的量为 0.015 mol,从而求出合金的质量为 0.63 g。

例 6 将镁铝的混合物 0.2 mol 溶于 100 mL 4 mol/L 硫酸溶液中,然后再滴加 2 mol/L 氢氧化钠溶液。

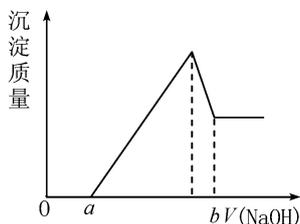


图 4

请回答:

(1)滴加氢氧化钠溶液的过程中,沉淀质量随加入氢氧化钠溶液的体积 V 变化如图 4 所示。当 $a=160$ mL 时,则金属粉末中镁的物质的量为 _____ mol, $b=$ _____ mL。

(2)在滴加氢氧化钠溶液的过程中, Mg^{2+} 、 Al^{3+} 正好完全沉淀时加入的氢氧化钠溶液的体积为 _____ mL。

(3)若上述混合物中镁的物质的量分数(以镁的物质的量除以混合物的总物质的量)为 x ,在加入 100 mL 4 mol/L 硫酸溶液溶解后,然后又加入了 2 mol/L NaOH 溶液 450 mL,所得沉淀中无 $Al(OH)_3$ 。满足此条件的 x 的取值范围是 _____。

解析 加入 NaOH 溶液后,未有沉淀生成,说明硫酸有剩余,则与金属反应的硫酸的物质的量为: $0.4 \text{ mol} - 160 \times 2 \times 10^{-3} / 2 \text{ mol} = 0.24 \text{ mol}$,因此可求出镁的物质的量为 0.12 mol,铝的物质的量为 0.08 mol。若使 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 完全沉淀,则此时反应后的溶液中溶质只为 Na_2SO_4 ,等同于加入的 NaOH 与原 H_2SO_4 溶液恰好反应,因此加入的 NaOH 溶液的体积应为 400 mL。在 b 点时,由于生成的 $Al(OH)_3$ 与 NaOH 反应,故沉淀只为 $Mg(OH)_2$,则使 0.08 mol 的 $Al(OH)_3$ 完全反应时所需 NaOH 的体积为 40 mL,此时共消耗 NaOH 溶液 440 mL,因此 $b=440$ 。

在金属与 H_2SO_4 反应后的溶液中加入 NaOH 溶液,则溶液中一定存在的溶质有 Na_2SO_4 ,因此若所沉淀中不存在 $Al(OH)_3$,则应使 $Al(OH)_3$ 的物质的量小于等于剩余 NaOH 的

物质的量,即 $0.2(1-x) \leq 2 \text{ mol/L} \times 0.45 \text{ L} - 4 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} \times 2$,解得 $1/2 \leq x < 1$ 。

例 7 硝酸发生氧化还原反应时,硝酸浓度越小,对应还原产物中氮的化合价越低。现有一定量的铝粉与铁粉的混合物与一定量的很稀的硝酸反应,反应过程中无任何气体放出,在反应结束后的溶液中,逐滴加入 4 mol/L NaOH 溶液,所加的 NaOH 溶液的体积(mL)与产生沉淀的物质的量(mol)关系如图 5 所示:

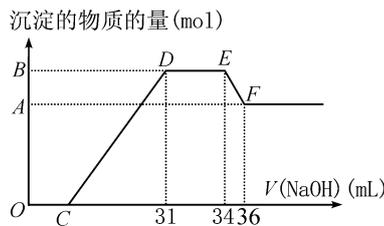


图 5

(1)反应中硝酸的还原产物的名称为 _____,写出 OC 段反应的离子方程式 _____,DE 段反应的离子方程式为 _____。

(2)B 与 A 的差值为 _____ mol, B 的数值为 _____ mol。

(3)C 的数值为 _____ mL。

解析 由硝酸还原产物的变化规律及硝酸反应后无气体放出可知,硝酸的还原产物为硝酸铵,在图象中加入 NaOH 溶液后先无沉淀生成,可知硝酸过量,此时溶液为 $Al(NO_3)_3$ 、 $Fe(NO_3)_3$ 、 NH_4NO_3 的溶合溶液,因此 OC 段反应的离子方程式为: $H^+ + OH^- = H_2O$ 。当加 NaOH 溶液至 31 mL 时, Al^{3+} 、 Fe^{3+} 恰好完全转化为沉淀,加至 34 mL 时,即 DE 段对应的离子方程式应为: $NH_4^+ + OH^- = NH_3 \cdot H_2O$,生成的 NH_4^+ 的物质的量为 $(34 - 31) \times 4 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0.012 \text{ mol}$ 。当 NaOH 加至 36 mL 时, $Al(OH)_3$ 恰好完全反应,则 $n(Al) = n(Al^{3+}) = n[Al(OH)_3] = (36 - 34) \times 4 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0.008 \text{ mol}$,因此 B 与 A 的差值为 0.008 mol。

由电子转移守恒可知: $3n(Al) + 3n(Fe) = 8n(NH_4^+)$,解得 $n(Fe) = 0.024 \text{ mol}$,因此 B 的数值为 $0.008 \text{ mol} + 0.024 \text{ mol} = 0.032 \text{ mol}$,使 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 恰好完全转化为沉淀所需 NaOH 溶液的体积为 24 mL,故 C 的数值应为 $31 \text{ mL} - 24 \text{ mL} = 7 \text{ mL}$ 。

(收稿日期:2014-05-05)