



“守恒叠加”巧算硝酸用量

江苏省南京市大厂高级中学 210044 林尤宏

金属与硝酸反应的相关计算,若抓住“得失电子守恒”这一本质,可以简化解题过程。现将这一“守恒叠加”方法介绍如下。

金属与硝酸反应,存在以下守恒关系:

氧化剂得电子数 = 金属失电子数

$n(\text{HNO}_3)_{\text{消耗}} = \text{还原产物中氮原子物质的量} + \text{金属离子结合的 } \text{NO}_3^- \text{ 物质的量}$

表 1 为由硝酸的还原产物推断硝酸的用量。

表 1

还原产物 (1 mol)	还原产物中氮原子/mol	HNO ₃ 得电子/mol	消耗 HNO ₃ 总量/mol
NO	1	3	4
NO ₂	1	1	2
N ₂ O	2	8	10
NH ₄ NO ₃	2	8	10

例 1 $a \text{ g Fe}$ 与含有 $b \text{ g HNO}_3$ 的稀硝酸恰好完全反应(只生成 NO),若 $a:b=4:15$,则被还原的 HNO₃ 是()。

A. $a \text{ g}$ B. $bg/4$ C. $bg/8$ D. 无法确定

解析 $n(\text{HNO}_3)_{\text{还原}} = n(\text{NO}) = \frac{1}{4}n(\text{HNO}_3)_{\text{总}}$

$m(\text{HNO}_3)_{\text{还原}} = m(\text{HNO}_3)_{\text{总}}/4 = b \text{ g}/4$

由于 $b = \frac{15}{4}a$, 所以 $m(\text{HNO}_3)_{\text{还原}} = \frac{15}{16}a \text{ g}$

答案选 B。

此解法简洁明了,避免了先判断产物,然后根据化学方程式列方程组求解再相加的麻烦。

例 2 一定浓度 100 mL 的硝酸溶液中加入 2.8 g Fe,全部溶解,得到标准状况下 NO 气体 1.12 L,测得 $c(\text{H}^+) = 0.1 \text{ mol/L}$,下列说法错误的是()。

A. 反应后溶液中无 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$
 B. 反应前 $c(\text{HNO}_3) = 2.0 \text{ mol/L}$
 C. 反应后溶液中 $c(\text{NO}_3^-) = 1.6 \text{ mol/L}$
 D. 反应后的溶液最多还能溶解 1.61 g Fe

解析 $n(\text{Fe}) = 2.8 \text{ g}/56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.05 \text{ mol}$,
 $n(\text{NO}) = 1.12 \text{ L}/22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.05 \text{ mol}$

因为 $n(\text{Fe}) = n(\text{NO})$,根据电子守恒确定,全部生成 0.05 mol Fe^{3+} 。

解法一 $n(\text{NO}_3^-)_{\text{后}} = 3n(\text{Fe}^{3+}) + n(\text{H}^+) = 3 \times 0.05 \text{ mol} + 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.1 \text{ L} = 0.16 \text{ mol}$

$c(\text{NO}_3^-) = 0.16 \text{ mol}/0.1 \text{ L} = 1.6 \text{ mol/L}$

$n(\text{HNO}_3)_{\text{前}} = n(\text{NO}_3^-) + n(\text{NO}) = 0.16 \text{ mol} + 0.05 \text{ mol} = 0.21 \text{ mol}$

$c(\text{HNO}_3)_{\text{前}} = 2.1 \text{ mol/L}$

解法二 $c(\text{HNO}_3)_{\text{前}} = 4n(\text{NO})/0.1 \text{ L} + c(\text{H}^+) = 4 \times 0.05 \text{ mol}/0.1 \text{ L} + 0.1 \text{ mol/L} = 2.1 \text{ mol/L}$

$c(\text{NO}_3^-)_{\text{后}} = c(\text{HNO}_3)_{\text{前}} - n(\text{NO})/0.1 \text{ L} = 2.1 \text{ mol/L} - 0.05 \text{ mol}/0.1 \text{ L} = 1.6 \text{ mol/L}$

0.21 mol HNO₃ 完全反应,共可生成 NO (0.21/4) mol,根据电子守恒,最多溶解(生成

Fe^{2+}): $n(\text{Fe}) = \frac{3}{2}n(\text{NO}) = \frac{3}{2} \times \frac{0.21}{4} \text{ mol} = \frac{0.63}{8} \text{ mol}$

反应后的溶液最多还能溶解 $m(\text{Fe}) = \frac{0.63}{8} \text{ mol} \times 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} - 2.8 \text{ g} = 1.61 \text{ g}$

答案选 B

例 3 取一定质量的 Fe、Cu 混合物粉末平均分成三份:①第一份加入到 100 mL 某稀硝酸中,充分反应后,剩余金属 18.8 g,并放出 0.10 mol NO 气体;②第二份加入到 200 mL 相同浓度的稀硝酸中,充分反应后,剩余金属 9.6 g;③第三份加入到过量相同浓度的稀硝酸中,金属完全反应,求:

- (1) 此稀硝酸的物质的量浓度。
- (2) ②中产生 NO 的物质的量。
- (3) 每份金属混合物中,含 Fe、Cu 的物质的量。
- (4) 使②中金属完全溶解,至少还需加入此稀硝酸的体积及又放出 NO 的物质的量。
- (5) ③中生成 NO 的总物质的量和消耗硝酸的总物质的量。

解析 (1) ①中金属剩余,即 HNO_3 完全反应 根据总守恒关系: $\text{NO} \sim 4\text{HNO}_3$

$$c(\text{HNO}_3) = \frac{n(\text{NO}) \times 4}{V(\text{HNO}_3)} = \frac{0.10 \text{ mol} \times 4}{0.10 \text{ L}} = 4.0 \text{ mol/L}$$

$$(2) n(\text{NO}) = \frac{n(\text{HNO}_3)}{4} = \frac{4.0 \text{ mol/L} \times 0.20 \text{ L}}{4} = 0.20 \text{ mol}$$

(3) 根据电子守恒: $3\text{Cu} \sim 2\text{NO}$ $3\text{Fe} \sim 2\text{NO}$ (金属过量,只生成 Fe^{2+})

②比①多生成 0.10 mol NO,说明②比①多溶解了 0.15 mol 金属,若全为 Fe,则溶解了 8.4 g,若全为 Cu,则溶解了 9.6 g,而 $8.4 \text{ g} < (18.8 - 9.6) \text{ g} < 9.6 \text{ g}$,说明②比①多溶解了 Fe 和 Cu,且①中溶解的全是 Fe,②中剩余的金属只有 Cu。

设②比①多溶解了 Fe 和 Cu 的物质的量分别为 x, y 则

$$\begin{cases} x + y = 0.15 \text{ mol} \\ 56x + 64y = 9.2 \text{ g} \end{cases} \begin{cases} x = 0.05 \text{ mol} \\ y = 0.10 \text{ mol} \end{cases}$$

①中溶解的

$$n(\text{Fe}) = n(\text{NO}) \times \frac{3}{2} = 0.1 \text{ mol} \times \frac{3}{2} = 0.15 \text{ mol}$$

$$\text{②中剩余的 } n(\text{Cu}) = \frac{9.6 \text{ g}}{64 \text{ g/mol}} = 0.15 \text{ mol}。$$

所以,每份金属混合物中:

$$n(\text{Fe}) = 0.15 \text{ mol} + 0.05 \text{ mol} = 0.20 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cu}) = 0.15 \text{ mol} + 0.10 \text{ mol} = 0.25 \text{ mol}$$

(4) 剩余的 0.15 mol Cu 完全溶解,又放出 $n(\text{NO}) = 0.15 \text{ mol} \times \frac{2}{3} = 0.10 \text{ mol}$,又消耗 $n(\text{HNO}_3) = 4n(\text{NO}) = 4 \times 0.10 \text{ mol} = 0.40 \text{ mol}$ 。至少还需 $V(\text{HNO}_3) = \frac{0.40 \text{ mol}}{4.0 \text{ mol/L}} = 0.10 \text{ L} = 100 \text{ mL}$ 。

(5) ③中加入过量的稀硝酸,只能生成 Fe^{3+} ,根据电子守恒: $\text{Fe} \sim \text{NO}$ $3\text{Cu} \sim 2\text{NO}$ 得:

$$n(\text{NO}) = n(\text{Fe}) + \frac{2}{3}n(\text{Cu}) = 0.20 \text{ mol} + \frac{2}{3} \times 0.25 \text{ mol} = \frac{11}{30} \text{ mol}$$

$$n(\text{HNO}_3) = 4n(\text{NO}) = 4 \times \frac{11}{30} \text{ mol} = \frac{22}{15} \text{ mol}$$

“守恒”乃化学计算之魂。以金属与硝酸反

应作载体,透过电子守恒(硝酸的氧化性)、电荷守恒(硝酸的酸性)、抽取并统摄出原子守恒(由 $n(\text{NO}_x) \sim n(\text{HNO}_3)$)的总的计算关系,不但抓住了金属与硝酸反应中,消耗硝酸的总物质的量由硝酸还原产物决定,而与金属种类无关的本质规律,大大简化了计算,更重要的是通过这一学习过程,学会了学习和探究,培养了思维能力和创新意识。

跟踪练习

1. 将 0.1 mol Fe 和含 0.3 mol HNO_3 的稀硝酸充分混合,完全反应后(设此时 HNO_3 只被还原成 NO),下列说法正确的是()。

- A. 反应后的溶液中: $n(\text{Fe}^{2+}) / n(\text{Fe}^{3+}) = 1$
 B. 反应后的溶液中: $n(\text{Fe}^{3+}) = 0.025 \text{ mol}$
 C. 标准状况下,生产 NO 气体的体积为 16.8 L
 D. 反应中转移电子的物质的量为 0.275 mol

2. 不同浓度的硝酸溶液分别与适量的锌反应,得到的还原产物分别是 NO_2 、NO、 NH_4NO_3 ,若这些产物的物质的量相等,则参与反应的 HNO_3 物质的量之比为()。

- A. 1:2:2 B. 1:2:3 C. 1:2:4 D. 1:2:5

3. 某硝酸与过量铜粉反应,共生成 11.2 L NO 气体(标准状况),如改为与过量铝粉反应,则生成 N_2O 气体(标准状况)的体积为()。

- A. 11.2 L B. 4.2 L C. 4.48 L D. 5.6 L

4. 某金属与稀硝酸溶液恰好完全反应时(生成 NO),它们所消耗的物质的量之比为 1:4,则金属的化合价为()。

- A. +1 B. +2 C. +3 D. +4

5. 一定量 Cu 与 1400 g 浓 HNO_3 反应,硝酸完全反应,共生成气体 5 mol,再将该气体溶于足量水中,剩余气体 3 mol,求原浓 HNO_3 中溶质的质量分数。

6. 一定量的某不活泼金属溶于 100 mL 14 mol/L 的浓硝酸中,放出 0.5 mol 气体,剩余硝酸的物质的量浓度为 2 mol/L(假设溶液体积仍为 100 mL),求生成气体的组成。若金属的质量为 22.4 g,推断是什么金属。

跟踪练习答案

1. B 2. D 3. B 4. C 5. 63%

6. $n(\text{NO}_2) = 0.4 \text{ mol}$ $n(\text{NO}) = 0.1 \text{ mol}$; Cu

(收稿日期:2014-06-10)