



图3

吸收液是80.0 mL $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫酸溶液。

量筒中收集到气体体积99.0 mL。

取出硫酸吸收液25.00 mL, 稀释至250 mL。每次取出25.00 mL, 用 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的NaOH溶液中和。指示剂

指示剂	$V(\text{NaOH})/\text{mL}$	$V(\text{NaOH})/\text{mL}$	$V(\text{NaOH})/\text{mL}$
酚酞	24.51	24.55	24.60

数据处理: $2n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{NaOH}) + n(\text{NH}_3)$

以酚酞作指示剂: $80 \times 2 \times 10^{-3} = \frac{80}{25} \times \frac{250.00}{25.00} \times$

$24.55 \times 0.2 \times 10^{-3} + n(\text{NH}_3)$

$n(\text{NH}_3) = 2.88 \text{ mmol}$ $V(\text{NH}_3) = 2.88 \times 22.4 = 64.52 \text{ mL}$

反应过程中产生的气体体积比为: $V(\text{H}_2):V(\text{NH}_3) = 99:65$

实验事实告诉我们, 碱性溶液中如果有大量的硝酸根存在时, 撒入铝粉产生的氢气中会伴随大量的氨气。

终态分析法在化学解题中的应用

薛青峰

(无锡市惠山区教育局教研室, 江苏无锡 214174)

摘要: 从化学反应的本质分析, 提出了终态分析法在循环反应、平行反应以及多步反应等方面的应用。

关键词: 终态分析法; 循环反应; 平行反应; 多步反应

文章编号: 1005-6629(2010)11-0073-02

中图分类号: G632.479

文献标识码: B

化学反应的本质是原子或原子团的重新组合。因此, 在任何化学反应中, 不管它经过了多么复杂的化学变化, 最终生成物中的原子种类和原子个数都与参加反应的反应物中的原子种类和原子个数相同。这样, 我们可以将最终的所有生成物和所有反应物(不包含中间产物)进行对比分析, 寻找反应物中各种原子的“归宿”, 再列方程进行计算, 这就是终态分析法解题的基本原理。利用这一原理可以解决许多化学中常见的有关计算问题。

1 循环反应问题

循环反应在化学计算尤其是涉及化工生产的计算中经常会出现, 在这种类型的计算中常常是涉及的反应较多, 过程较为复杂, 各反应的反应物和产物相互交错, 按照化学方程式计算极为繁琐甚至无法解决。如果利用终态分析法分析最终物质与起始物质之间的关系, 利用物料守恒可以较为简便的解决这类问题。

例1: 现有 NO_2 、 O_2 、 H_2 的混合气体在一定条件下点燃, 待完全反应后得到70%的硝酸溶液且无气体剩余。试求原混合气体中 NO_2 、 O_2 、 H_2 三者的体积比。

分析: 容器内首先发生的反应是 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$, 接下来发生的反应是 $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$, 而生成的NO又会和 O_2 生成 NO_2 , 循环往复直至反应结束, 整个过程极为复杂。但认真分析题意就会发现: 反应物 NO_2 、 O_2 和 H_2 已完全反应且最终得到70%的硝酸溶液(即 HNO_3 和 H_2O), 设硝酸的质量为70 g, 则水的质量为30 g, 因此两者的物质的量之比为: $n(\text{HNO}_3):n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{70}{63}:\frac{30}{18} = 2:3$ 。



设反应后生成了2 mol的 HNO_3 和3 mol的 H_2O , 则由图示可知, 参加反应的 NO_2 的物质的量为2 mol, H_2 的物质的量为 $(3+1) \text{ mol} = 4 \text{ mol}$, 反应后氧原子的总数为 $(2 \times 3 + 3 \times 1) \text{ mol} = 9 \text{ mol}$, 其中由 NO_2 提供了4 mol, 所以参加反应的 O_2 的物质的量为2.5 mol, 即原混合气体中 NO_2 、 O_2 、 H_2 三者的体积比为4:8:5。

2 平行反应问题

平行反应指的是在同一反应体系内,同时发生多个反应且各反应相对独立且没有先后之分。这种反应体系在化学中也是非常常见的,尤其在有机反应中更为常见,因为有机反应常常伴随有副反应的发生,副反应和主反应之间就属于平行反应,在混合溶液中也经常会发生平行反应。

例2:为了测定某 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 和 Na_2SO_4 混合溶液中各组成的含量,进行了如下实验:向混合溶液中加入250 mL $1.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐酸(足量),充分反应后生成标准状况下2.016 L的 CO_2 气体;向反应后的溶液中加入500 mL $0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液完全反应后生成2.33 g沉淀,再向反应溶液中加入10 mL $1.00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐酸恰好使溶液中性。求原混合溶液中各成分的物质的量。

分析:本题涉及反应较多。从化学反应角度分析有5个(HCl 分别与 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NaOH 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 以及 Na_2SO_4 与 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 的反应)且很容易遗漏 NaOH 与 HCl 的反应;从离子反应角度分析有4个(H^+ 与 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 OH^- 的反应以及 Ba^{2+} 与 SO_4^{2-} 的反应),因此,学生全面分析其中涉及的反应并根据反应方程式进行计算是有一定的困难,但若从反应的最终状态分析反应物中所有原子的“归宿”,利用原子守恒解决问题就比较简单,且正确率也大为提高。在第二步中当加入 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 反应后溶液呈碱性,因此 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 是过量的。 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 将分别和 Na_2SO_4 、 HCl 反应生成 BaSO_4 和 BaCl_2 ,故整个反应过程中反应物和最终产物如下:

反应物: Na_2CO_3 NaHCO_3 Na_2SO_4 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (0.05 mol) HCl (0.26 mol)

生成物: CO_2 (0.09 mol) NaCl BaSO_4 (0.01 mol) BaCl_2 H_2O

由 Na_2SO_4 中的 SO_4^{2-} 完全转移到 BaSO_4 中可知: $n(\text{Na}_2\text{SO}_4)=n(\text{BaSO}_4)=0.01 \text{ mol}$;由 Ba^{2+} 的“归宿”(BaSO_4 和 BaCl_2)可求出 BaCl_2 的物质的量为 $(0.05-0.01) \text{ mol}=0.04 \text{ mol}$;再根据 Cl^- 的“归宿”(NaCl 和 BaCl_2)可求出 NaCl 的物质的量为 $(0.26-0.04\times 2) \text{ mol}=0.18 \text{ mol}$,最后根据 Na^+ 和 C 原子的“归宿”即可求出 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 的物质的量。设 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 的物质的量分别为 x 和 y :

$$\begin{cases} \text{C原子守恒: } x+y=0.09 \text{ mol} \\ \text{Na}^+\text{守恒: } 2x+y+0.01\times 2 \text{ mol}=0.18 \text{ mol} \end{cases}$$

$$\text{解得: } x=0.07 \text{ mol} \quad y=0.02 \text{ mol}$$

在解决这类问题时,不要纠缠在某个具体反应上,而要整体把握,分析反应前后物质或者微粒存在的形式,利用物料守恒建立方程即可解决。

3 多步反应问题

多步反应指的是从原料到最终产物需经过多个连续的反应过程,在这些反应中,上一步反应的产物,即是下一步反应的反应物。中学阶段最典型的多步反应是接触法制硫酸。

例3:某硫酸溶液40 mL,加入1.6 g氧化铁粉末后,溶液呈黄色,再加入5 g铁粉,溶液呈浅绿色,并有气体放出,最后有残余铁粉3.32 g。求原硫酸溶液的物质的量浓度。

分析:首先发生的反应是氧化铁和硫酸生成硫酸铁和水,接下来发生两个平行反应,即 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3+\text{Fe}=3\text{FeSO}_4$; $\text{H}_2\text{SO}_4+\text{Fe}=\text{FeSO}_4+\text{H}_2\uparrow$ 。因此本题既有平行反应,也有连续反应即多步反应,仔细分析会发现最后溶液中只有 FeSO_4 。利用终态分析法求出 FeSO_4 的物质的量即可得到 H_2SO_4 物质的量,本题可迎刃而解。

反应物: 40 mL H_2SO_4 Fe_2O_3 (1.6 g) Fe (5-3.22)g

生成物: FeSO_4 H_2

$$\begin{aligned} n(\text{H}_2\text{SO}_4) &= n(\text{FeSO}_4) = \frac{(5.00-3.22) \text{ g}}{56 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} + \frac{1.60 \text{ g}}{160 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} \times 2 \\ &= 0.03 \text{ mol} + 0.02 \text{ mol} = 0.05 \text{ mol}, \quad c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0.05 \text{ mol}}{0.04 \text{ L}} \\ &= 1.25 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \end{aligned}$$

在利用终态分析方法解决这类问题时,应注意各步的转化率均假设为100%,换句话说就是理论上的数据,但在实际生产中,各步反应都存在转化率的问题,即原子转化率并不是100%,此时应利用实际转化的原子数目列出等量关系,这就是所谓的关系式法解题,因此关系式法解题就是终态分析法解题的一个特殊应用。

综上所述,利用终态分析法解决问题,要求我们必须具有大局观和全局观,从整体上把握反应前后的变化,忽视反应过程的细节性问题。这种思考问题的方式在盖斯定律中已经有所体现,即反应的起始状态和反应的最终状态总能量守恒而与反应所经历的过程无关,因此,也可以利用终态分析法解决有关反应中的能量转化问题。而对于化学反应中另一类重要反应类型——氧化还原反应,利用氧化还原反应的特征(即反应过程中电子的得失相等),也可以运用终态分析法的原理加以解决。总之,只要我们真正领会化学反应的本质,对于有关化学计算的问题我们就能找到解决问题的突破口,从而提高解题的效率。