

含氮化合物常见计算类型分析

湖北枝江一中 (443200) 罗功举 周代华

氮族元素是元素化合物知识构成的重要内容,也是高考考查的热点,其有关计算一直为命题者所“青睐”。下面就含氮化合物的常见计算类型归类分析如下,供参考。

一、氮的氧化物的有关计算

此类问题主要有以下几种设题形式:一是 NO_x 与水或 NO_x 和 O₂ 的混合气体与水反应计算;二是 NO_x 和 CO₂ 的混合气体与 Na₂O₂ 反应计算;三是 NO_x 与 NaOH 溶液反应的有关计算;四是 NO_x 的氧化还原反应计算等。

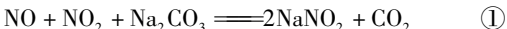
解法指要 处理这类问题时,一是运用关系式法(或原子守恒法)简化计算或判断,若 NO_x 和 O₂ 中的 N、O 原子个数比满足 2:5 则可完全反应;二是运用电子得失守恒法计算。

例 1 (2009 年上海化学) 烟气中 NO_x 是 NO 和 NO₂ 的混合物(不含 N₂O₄)。

(1) 根据废气排放标准,1 m³ 烟气最高允许含 400 mg NO_x。若 NO_x 中 NO 质量分数为 0.85,则 1 m³ 烟气中最高允许含 NO ____ L(标准状况,保留 2 位小数)。

(2) 工业上通常用溶质质量分数为 0.150 的 Na₂CO₃ 水溶液(密度 1.16 g·mL⁻¹) 作为 NO_x 吸收剂,该碳酸钠溶液物质的量浓度为 ____ mol·L⁻¹ (保留 2 位小数)。

(3) 已知:



1 m³ 含 2 000 mg NO_x 的烟气用质量分数为 0.150 的碳酸钠溶液吸收。若吸收率为 80%,吸收后的烟气 ____ 排放标准(填“符合”或“不符合”) 理由: ____。



压强/Pa	2 × 10 ⁵ Pa	5 × 10 ⁵ Pa	1 × 10 ⁶ Pa
D 的浓度 / mol · L ⁻¹	0.085	0.20	0.44

根据表中数据,回答下列问题:(1) 压强从 2 × 10⁵ Pa 增大到 5 × 10⁵ Pa 时,平衡向 ____ 反应方向移动(填“正”或“逆”)。(2) 压强从 5 × 10⁵ Pa 增加到 1 × 10⁶ Pa,平衡向 ____ 反应方向移动(填“正”或“逆”)。E 可能变成了 ____ (填物质状态名称)。

3. 一定条件下,反应 2NO₂(g) ⇌ N₂O₄(g) ΔH

(4) 加入硝酸可改变烟气中 NO 和 NO₂ 的比,反应为: NO + 2HNO₃ = 3NO₂ + H₂O。当烟气中 n(NO):n(NO₂) = 2:3 时,吸收率最高。1 m³ 烟气含 2 000 mg NO_x,其中 n(NO):n(NO₂) = 9:1。计算:(i) 为了达到最高吸收率,1 m³ 烟气需用硝酸的物质的量(保留 3 位小数)。(ii) 1 m³ 烟气达到最高吸收率 90% 时,吸收后生成 NaNO₂ 的质量(假设上述吸收反应中,反应①比反应②迅速,计算结果保留 1 位小数)。

分析 (1) 由题意知 1 m³ 中含 NO 的质量为 400 mg × 0.85 = 0.34 g,则 V(NO) = n(NO) · V_m = $\frac{m(\text{NO})}{M(\text{NO})} \cdot V_m = \frac{0.34 \text{ g}}{30 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.25 \text{ L}$ 。

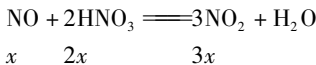
(2) 假设 Na₂CO₃ 溶液体积为 1 L,则溶液质量为 1160 g,溶质 Na₂CO₃ 的质量为 174 g,故该溶液的

$$\text{物质的量浓度为: } c = \frac{n}{V} = \frac{\frac{M}{V}}{V} = \frac{174 \text{ g}}{1 \text{ L}} = 1.64 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(3) 1 m³ 烟气中含有 2000 mg NO_x,吸收率为 80%,则剩余 NO_x 的质量为 400 mg,同时烟气中的 CO₂ 等气体被 Na₂CO₃ 吸收了,导致气体体积小于 1 m³,即吸收后烟气总体积减小,NO_x 含量仍超过 400 mg·m⁻³,不符合排放标准。

$$(4) \text{ (i) } 30 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot n(\text{NO}) + \frac{1}{9} \times 46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot n(\text{NO}) = \frac{2000 \text{ mg}}{1000 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}}, n(\text{NO}) = 0.057 \text{ mol}$$

又由方程式:



< 0,达到平衡后,要使混合气体颜色变深,可采取的措施是 ()。

- A. 增大体积 B. 降低温度
- C. 增大压强 D. 移走一部分 N₂O₄ 气体

参考答案:

- 1. (1) 逆反应 (2) 减小 (3) 减小 (4) <
- 2. (1) 逆 (2) 正 液态或固态 3. C

(收稿日期:2015-08-12)

根据题意可列式为： $\frac{\frac{1}{9} \times 0.057 \text{ mol} + 3x}{0.057 \text{ mol} - x} = \frac{3}{2}$ ，解得：

$x = 0.0176 \text{ mol}$ ，则 $n(\text{HNO}_3) = 2x = 0.0352 \text{ mol}$ 。

(ii) $n(\text{NaNO}_2) = 2n(\text{NO}) + 1/2 \times [n(\text{NO}_2) - n(\text{NO})] = 0.0887 \text{ mol}$ ，则 $m(\text{NaNO}_2) = 0.0887 \text{ mol} \times 69 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 90\% = 5.5 \text{ g}$ 。

二、氮的氢化物的有关计算

高考主要涉及到两种氢化物，一是 NH_3 的有关计算，如氨溶于水或氨水混合（稀释）计算、氮的氧化还原反应计算、图像分析等；二是 N_2H_4 的有关计算，如组成推断、热化学方程式中 ΔH 计算、混合物计算等。

解法指要 解答 NH_3 的有关计算时要注意两点，一是氨水中的溶质以氨分子计；二是氨水的质量分数或物质的量浓度越大，其密度越小。其它问题则按公式、反应方程式进行计算。

例 2（2011 年上海化学卷）氨和联氨（ N_2H_4 ）是氮的两种常见化合物，在科学技术和生产中有重要的应用。根据题意完成下列计算：

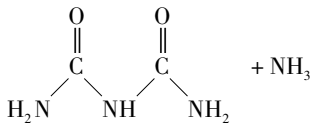
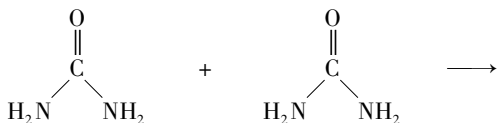
(1) 联氨用亚硝酸氧化生成氮的另一种氢化物，该氢化物的相对分子质量为 43.0，其中氮原子的质量分数为 0.977，计算确定该氢化物的分子式。

该氢化物受撞击则完全分解为氮气和氢气。4.30 g 该氢化物受撞击后产生的气体在标准状况下的体积为 _____ L。

(2) 联氨和四氧化二氮可用作火箭推进剂，联氨是燃料，四氧化二氮作氧化剂，反应产物是氮气和水。由联氨和四氧化二氮组成的火箭推进剂完全反应生成 72.0 kg 水，计算推进剂中联氨的质量。

(3) 氨的水溶液可用于吸收 NO 与 NO_2 混合气体，反应方程式为： $6\text{NO} + 4\text{NH}_3 = 5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $6\text{NO}_2 + 8\text{NH}_3 = 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$ 。NO 与 NO_2 混合气体 180 mol 被 $8.90 \times 10^3 \text{ g}$ 氨水（质量分数为 0.300）完全吸收，产生 156 mol 氮气。吸收后氨水密度为 0.980 g/cm^3 。计算：①该混合气体中 NO 与 NO_2 的体积比。②吸收后氨水的物质的量浓度（答案保留 1 位小数）。

(4) 氨和二氧化碳反应可生成尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 。尿素在一定条件下会失去氨而缩合，如两分子尿素失去一分子氨形成二聚物：



已知常压下 120 mol $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 在熔融状态发生缩合反应，失去 80 mol NH_3 ，生成二聚物（ $\text{C}_2\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_2$ ）和三聚物。测得缩合产物中二聚物的物质的量分数为 0.60，推算缩合产物中各缩合物的物质的量之比。

分析 (1) 该氢化物中氢原子与氮原子个数比为 $(1 - 0.977) / 1 : 0.977 / 14 = 1 : 3$ ，则其最简式为 HN_3 ；再结合相对分子质量为 43.0 可知其分子式为 HN_3 。

$2\text{HN}_3 \xrightarrow{\text{撞击}} \text{H}_2 + 3\text{N}_2$ ，1 mol 氢化物受撞击后产生的气体为 2 mol，则其体积为 4.48 L。

(2) 根据反应式 $2\text{N}_2\text{H}_4 + 2\text{NO}_2 = 3\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ ，当生成 72.0 kg 水时，需要联氨

$$2 \times 32 \times 72.0 \text{ kg} / (4 \times 18) = 64 \text{ kg}。$$

(3) 设 NO 与 NO_2 的物质的量分别为 x 、 y ，则 $x + y = 180$ 、 $5x/6 + 7y/6 = 156$ ，解得： $x = 162 \text{ mol}$ 、 $y = 18 \text{ mol}$ ，即混合气体中 NO 与 NO_2 的体积比为 $162 : 18 = 9 : 1$ 。

两反应消耗氨气的物质的量为 $108 \text{ mol} + 24 \text{ mol} = 132 \text{ mol}$ ，剩余氨气的物质的量为 $157 \text{ mol} - 132 \text{ mol} = 25 \text{ mol}$ ；气体被吸收后，氨水的质量为 $8900 \text{ g} - 132 \text{ mol} \times 17 \text{ g/mol} + 198 \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} = 10220 \text{ g}$ ，则反应后氨水的质量分数为 $(25 \text{ mol} \times 17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} / 10220 \text{ g}) \times 100\% = 4.16\%$ ，那么，吸收后氨水的物质的量浓度 $c = 1000\rho_w/M = 1000 \times 0.980 \times 4.16\% / 17 = 2.4 \text{ mol/L}$ 。

(4) 三聚产物有两种分子式，一种为环状物 A（ $\text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{H}_3$ ），结构简式为 HNCONHCONHCO ，另一种为链状物 B（ $\text{C}_3\text{O}_3\text{N}_4\text{H}_6$ ）。设缩合物中含二聚物 $a \text{ mol}$ ，三聚物 A 为 $b \text{ mol}$ ，三聚物 B 为 $c \text{ mol}$ ，则： $2a + 3b + 3c = 120$ 、 $a + 3b + 2c = 80$ 、 $a / (a + b + c) = 0.60$ ，解得： $a = 30$ 、 $b = 10$ 、 $c = 10$ 。故三种聚合物的物质的量之比为 $3 : 1 : 1$ 。

三、金属与硝酸反应计算

一般有两类问题，一是金属（单质与合金）与硝酸反应计算，要注意变价金属在产物中的化合价、硝酸浓稀的差异性；二是金属与混酸（如硝酸与硫酸的混合物）反应计算，二者的差异是后者溶液中 NO_3^- 可能完全反应。

解法指要 分析这类问题时，一要把握三个守恒，即氮原子守恒、电子得失守恒、电荷守恒；二要了

解一个关系,即反应中起酸性作用的 HNO₃ 的物质的量等于生成的硝酸盐中 NO₃⁻ 的物质的量;三要熟悉一个技巧,可利用离子方程式快速找出各种量的相互关系.

例3 (2013年四川理综卷) 1.52 g 铜镁合金完全溶解于 50 mL 密度为 1.40 g/mL、质量分数为 63% 的浓硝酸中,得到 NO₂ 和 N₂O₄ 的混合气体 1120 mL(标准状况),向反应后的溶液中加入 1.0 mol/L NaOH 溶液,当金属离子全部沉淀时,得到 2.54 g 沉淀,下列说法不正确的是().

- A. 该合金中铜与镁的物质的量之比是 2:1
- B. 该浓硝酸中 HNO₃ 的物质的量浓度是 14.0 mol/L
- C. NO₂ 和 N₂O₄ 的混合气体中,NO₂ 的体积分数是 80%
- D. 得到 2.54 g 沉淀时,加入 NaOH 溶液的体积是 600 mL

分析 A 项,设 Cu、Mg 的物质的量分别为 X mol、Y mol,则存在以下等式: 64X + 24Y = 1.52、X × 98 + Y × 58 = 2.54 解得: X = 0.02、Y = 0.01. B 项, c(HNO₃) = 1000ρω/M = 1000 × 1.40 × 0.63/63 = 14.0 mol/L. C 项 n(HNO₃) = 14.0 × 0.05 = 0.7 mol = n(NO₂) + 2n(N₂O₄), 又 n(NO₂ + N₂O₄) = 1.12L/22.4L · mol⁻¹, 解得: n(NO₂) = 0.04 mol、n(N₂O₄) = 0.01 mol, 可知 C 正确. D 项,与硝酸反应的 NaOH 的物质的量 n(NaOH)₁ = 0.7 mol - 0.04 mol - 0.02 mol = 0.64 mol,与金属离子反应的 NaOH 的物质的量 n(NaOH)₂ = 0.06 mol,故 NaOH 总的物质的量 n_总 = 0.64 mol + 0.06 mol = 0.7 mol,故需要 NaOH 溶液的体积为 700 mL. 答案为 D.

四、铵盐的有关计算

常见的问题有下列几类:一类是混合物计算,考查 NH₄⁺ 与碱的反应、铵盐的分解反应等;二类是铵盐溶液的配制;三类是结合图像、实验等分析物质的组成,如推算铵盐的化学式等.

解法指要 对于混合物计算,一要理清并正确书写反应方程式,二要合理选择解题方法,如方程组法、关系式法等;对于铵盐溶液的配制问题,则可选用守恒法;对于图像、实验类问题,则可根据数据特征或实验现象先推出组成微粒,再通过计算确定化学式.

例4 (2013年江苏化学卷) 硫酸镍铵 [(NH₄)_xNi_y(SO₄)_m · nH₂O] 可用于电镀、印刷等领域.某同学为测定硫酸镍铵的组成,进行如下实验:

①准确称取 2.3350 g 样品,配制成 100.00 mL

溶液 A;

②准确量取 25.00 mL 溶液 A,用 0.04000 mol · L⁻¹ 的 EDTA (Na₂H₂Y) 标准溶液滴定其中的 Ni²⁺ (离子方程式为 Ni²⁺ + H₂Y²⁻ = NiY²⁻ + 2H⁺),消耗 EDTA 标准溶液 31.25 mL;

③另取 25.00 mL 溶液 A,加足量的 NaOH 溶液并充分加热,生成 NH₃ 56.00 mL(标准状况).

(1) 若滴定管在使用前未用 EDTA 标准溶液润洗,测得的 Ni²⁺ 含量将____(填“偏高”、或“偏低”或“不变”).

(2) 氨气常用____检验,现象是.

(3) 通过计算确定硫酸镍铵的化学式(写出计算过程).

分析 本题属于物质组成分析与化学综合计算题.利用电荷守恒计算 n(SO₄²⁻),利用质量守恒计算 n(H₂O).

(1) 滴定管在使用前未用 EDTA 标准溶液润洗,会使 EDTA 标准溶液的浓度降低,则滴定过程中消耗 EDTA 标准溶液量增大,故测得的 Ni²⁺ 含量将偏高.

(2) 氨气是碱性气体,通常用湿润的红色石蕊试纸检验,实验现象是试纸颜色由红变蓝.

(3) n(Ni²⁺) = 0.04000 mol · L⁻¹ × 31.25 mL × 10⁻³ L · mL⁻¹ = 1.250 × 10⁻³ mol, n(NH₄⁺) = 56.00 mL × 10⁻³ L · mL⁻¹ / 22.4 L · mol⁻¹ = 2.500 × 10⁻³ mol,

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{2n(\text{Ni}^{2+}) + n(\text{NH}_4^+)}{2} = \frac{2 \times 1.25 \times 10^{-3} \text{ mol} + 2.500 \times 10^{-3} \text{ mol}}{2} = 2.500 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m(\text{Ni}^{2+}) = 59 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.250 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0.07375 \text{ g}$$

$$m(\text{NH}_4^+) = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 2.500 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0.04500 \text{ g}$$

$$m(\text{SO}_4^{2-}) = 96 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 2.500 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0.2400 \text{ g}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2.3350 \text{ g} \times \frac{25.00 \text{ mL}}{100.00 \text{ mL}} - 0.07375 \text{ g} - 0.04500 \text{ g} - 0.2400 \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1.250 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

那么 x : y : m : n = n(NH₄⁺) : n(Ni²⁺) : n(SO₄²⁻) : n(H₂O) = 2 : 1 : 2 : 10, 则硫酸镍铵的化学式为 (NH₄)₂Ni(SO₄)₂ · 10H₂O.

通过上述分析,可以了解到高考对含氮化合物计算的常考类型,可以更有针对性的复习,以提高学习效率.