

有关溶液中溶质析出的计算

山东省博兴县第一中学 256500 穆玉鹏

溶液中溶质析出的计算是中学化学内容的重点, 现把其中两种难点分析如下, 仅供大家参考。

一、结晶水合物析出的计算

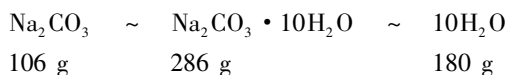
求析出结晶水合物的质量, 常有两种思维:

(1) 过程思维: 按晶体析出分过程计算的一种方法, 思维朴素易接受, 但计算量大; (2) 终态思维: 摒弃晶体析出过程, 直接由最终结果计算的方法, 优点是计算量相对较小。

例 1 已知某温度下, 无水 Na_2CO_3 的溶解度是 $10.0 \text{ g}/(100 \text{ g 水})$ 。在该温度下, 向足量的饱和 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ 中加入 1.06 g 无水 Na_2CO_3 , 搅拌后静置。试求最终所得晶体的质量。

解析 解答本题有两种方法, 一是过程思维法, 二是终态思维法。

方法 1 (过程思维法) 先求加入的 1.06 g 无水 Na_2CO_3 形成并析出晶体的质量 $m_1(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ 及溶液中由此减少的水的质量 $m_1(\text{H}_2\text{O})$



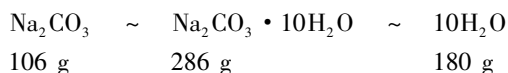
$$1.06 \text{ g} \quad m_1(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \quad m_1(\text{H}_2\text{O})$$

$$m_1(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 2.86 \text{ g}$$

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = 1.80 \text{ g}$$

再求溶解在 1.80 g 水中 Na_2CO_3 的质量 $m_2(\text{Na}_2\text{CO}_3)$, 及这些 Na_2CO_3 析出所形成晶体的质量 $m_2(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ 和溶液由此而减少水的质量 $m_2(\text{H}_2\text{O})$

$$m_2(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{10.0 \text{ g} \times 1.80 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 0.180 \text{ g}$$



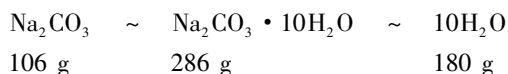
$$0.180 \text{ g} \quad m_2(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \quad m_2(\text{H}_2\text{O})$$

$$m_2(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0.486 \text{ g}$$

$$m_2(\text{H}_2\text{O}) = 0.306 \text{ g}$$

依次类推, 求 $m_3(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ 及 $m_3(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ 和 $m_3(\text{H}_2\text{O})$, 直至所得晶体质量 $m_i(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ 在 $\sum_{i=1}^n m_i(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ 中可以忽略为止。

$$m_3(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{10.0 \text{ g} \times 0.306 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 0.0306 \text{ g}$$



$$0.0306 \text{ g} \quad m_3(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \quad m_3(\text{H}_2\text{O})$$

$$m_3(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0.0826 \text{ g} \quad m_3(\text{H}_2\text{O})$$

$$= 0.0520 \text{ g}$$

$$m_4(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{10.0 \text{ g} \times 0.0520 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 0.00520 \text{ g}$$

$$m_4(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{0.00520 \text{ g} \times 286 \text{ g}}{106 \text{ g}} =$$

$$0.0140 \text{ g}$$

……(生成固体质量以 0.170 倍递减)

最后得出所得晶体质量:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \sum_{i=1}^n m_i(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) =$$

$$2.86 \text{ g} + 0.486 \text{ g} + 0.0826 \text{ g} + 0.0140 \text{ g} + \dots$$

$$= 3.44 \text{ g}$$

方法 2 (终态思维法) 设最终析出 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

$= c(\text{NH}_4^+)$, A 错误; 若 $\text{pH} = 2$ 的一元酸是强酸, 和 $\text{pH} = 12$ 的一元强碱等体积混合呈中性; $\text{pH} = 2$ 的一元酸是弱酸, 和 $\text{pH} = 12$ 的一元强碱等体积混合呈酸性, B 项错误。C 选项 NH_4^+ 水解是微弱的, 则 $c(\text{NH}_4^+) > c(\text{SO}_4^{2-}) > c(\text{H}^+)$, C 正确; 硫化钠溶液中存在质子守恒: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HS}^-) + 2c(\text{H}_2\text{S})$, D 错误。答案: C

(收稿日期: 2014 - 11 - 04)

► B. $\text{pH} = 2$ 的一元酸和 $\text{pH} = 12$ 的一元强碱等体积混合: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$

C. $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫酸铵溶液中: $c(\text{NH}_4^+) > c(\text{SO}_4^{2-}) > c(\text{H}^+)$

D. $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫化钠溶液中: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HS}^-) + c(\text{H}_2\text{S})$

解析 A 选项, 由电荷守恒: $c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-) = c(\text{NH}_4^+) + c(\text{H}^+)$, $\text{pH} = 7$ 可知 $c(\text{Cl}^-)$

的质量为 x , 则其中含有 Na_2CO_3 和水的质量分别为:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{106x}{286} \quad m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{180x}{286}$$

这样, 若将 $(\frac{106x}{286} - 1.06 \text{ g}) \text{ Na}_2\text{CO}_3$ 溶解在质量为 $\frac{180x}{286}$ 的水中, 在题设温度下, 当形成饱和溶液, 所以:

$$\frac{\frac{106x}{286} - 1.06 \text{ g}}{\frac{180x}{286}} = \frac{10.0 \text{ g}}{100 \text{ g}} \quad x = 3.45 \text{ g}$$

答案: 3.45 g

点评 二法相比, 方法一不及方法二简捷、准确。方法一之答案较方法二之答案出现一定的误差, 是有效运算和四舍五入的结果。若进行纯数字运算, 则两种方法的计算结果应该是完全相同的。

二、多离子盐溶液的结晶析出的计算

多离子溶液中的任何一种阳离子与任何一种阴离子相结合都可构成溶液的一种溶质, 若忽略同离子效应和盐效应, 当溶液中各离子浓度相等时, 不论蒸发还是降温, 溶解度最小的溶质首先析出, 且析出盐的阳离子(或阴离子)与溶液中的其他阴离子(或其他阳离子)不会结晶析出, 但与析出盐晶体中阴、阳离子无关的其他阴、阳离子所形成的溶质有析出的可能。

若溶液中各离子浓度不等, 则有析出多种晶体的可能。若 $S_A > S_B > S_C > S_D$, 则晶体析出的先后顺序为: D, C, B , 一般不会析出 A 。

例 2 下面是四种盐在不同温度下的溶解度 ($\text{g}/100 \text{ g H}_2\text{O}$):

	NaNO_3	KNO_3	NaCl	KCl
10℃	80.5	20.9	35.7	31.0
100℃	175	246	39.1	56.6

(计算时假定: ①盐类共存时不影响各自的溶解度; ②过滤晶体时, 溶剂损耗忽略不计)

(1) 取 23.4 g NaCl 和 40.4 g KNO_3 加 70.0 g H_2O 加热溶解。在 100℃ 时蒸发掉 50.0 g H_2O , 维持该温度, 过滤析出晶体, 计算所得晶体的质量 ($m_{\text{高温}}$)。

将滤液冷却至 10℃, 待充分结晶后过滤。计

算所得晶体的质量 ($m_{\text{低温}}$)。

(2) 另取 34.0 g NaNO_3 和 29.8 g KCl , 同样进行如上实验。10℃ 时析出的晶体是____(写化学式)。100℃ 和 10℃ 得到的晶体质量 ($m_{\text{高温}}$ 和 $m_{\text{低温}}$) 分别是多少?

解析 (1) 100℃ 时 $S(\text{NaCl})$ 最小, 所以析出 NaCl 晶体, 则不析出 KCl 、 NaNO_3 、 KNO_3 溶液未达饱和, 亦不会析出。

$$\begin{aligned} m_{\text{高温}} &= 23.4 \text{ g} - 39.1 \text{ g} \times (70.0 \text{ g} - 50.0 \text{ g}) \div 100 \text{ g} \\ &= 23.4 \text{ g} - 7.82 \text{ g} \\ &= 15.6 \text{ g} \end{aligned}$$

将溶液冷却到 10℃, 析出晶体为 KNO_3 和 NaCl 析出 KNO_3 晶体质量为:

$$\begin{aligned} &40.4 \text{ g} - 20.9 \text{ g} \times (70.0 \text{ g} - 50.0 \text{ g}) \div 100 \text{ g} \\ &= 40.4 \text{ g} - 4.18 \text{ g} \\ &= 36.2 \text{ g} \end{aligned}$$

析出 NaCl 晶体的质量为:

$$(39.1 \text{ g} - 35.7 \text{ g}) \times (70.0 \text{ g} - 50.0 \text{ g}) \div 100 \text{ g} = 0.68 \text{ g}$$

$$\text{则: } m_{\text{低温}} = 0.68 \text{ g} + 36.2 \text{ g} = 36.9 \text{ g}$$

(2) 两种原始溶液中, 各种盐的物质的量都相等。

$$\begin{aligned} n(\text{NaCl}) &= \frac{23.4 \text{ g}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = n(\text{KNO}_3) = \\ &= \frac{40.4 \text{ g}}{101 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = n(\text{NaNO}_3) \\ &= \frac{34.0 \text{ g}}{85.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = n(\text{KCl}) = \frac{29.8 \text{ g}}{74.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 0.400 \text{ mol} \end{aligned}$$

因而溶解后得到的两种溶液中四种离子浓度完全相同, 根据溶解度数据可知, 100℃ 时蒸发后得到的是 NaCl 晶体, 冷却后得到的是 KNO_3 晶体, 但也含有少量的 NaCl 。所以第 (2) 小题不必再计算, 便知:

$$\begin{aligned} m_{\text{高温}} &= m_{\text{高温}} = 15.6 \text{ g} \quad m_{\text{低温}} = m_{\text{低温}} = 36.9 \text{ g} \\ \text{答案: (1) } &15.6 \text{ g} \quad 36.9 \text{ g} \quad (2) \quad 15.6 \text{ g} \quad 36.9 \text{ g} \end{aligned}$$

点评 多离子盐溶液中晶体的析出属初中所学内容, 但初中所学不能满足于高考的要求, 因此高中阶段有必要加深。必须掌握多离子溶液中晶体的析出的过程和溶解度的概念及计算技能。

(收稿日期: 2014 - 11 - 17)