

走进实验,感悟科学探究方法

——铝及其化合物核心知识归纳

□ 颜建河

铝及其化合物具有显著的两性,可随着酸(H^+)或碱(OH^-)的加入量及加入的先后次序而产生不同的现象和结果,尤其是 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的两性,是高中化学学习和复习的重点内容之一。为此,走进实验,从实验中感悟科学探究过程,并通过对 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 两性的讨论、归纳、总结,是学好这一重要知识点的关键所在。

一、走进实验,感悟科学探究方法

$\text{Al}(\text{OH})_3$ 为典型的两性化合物,它既能与强酸(H^+)溶液反应,又能与强碱(OH^-)溶液反应。其转化关系如下:



碱式电离 酸式电离

为了探究上述转化及其运用,可提出如下设问并进行探究实验。

设问1 实验室制取 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 为何选用浓氨水而不是 NaOH 溶液?

实验1 对比实验

实验编号	0.5 mol·L ⁻¹ 的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液	碱 液				下一步实验
		第一次所加试剂	现象	第二次所加试剂	现象	
甲	2 mL	浓氨水 3 mL	产生蓬松白色胶状沉淀	浓氨水 3 mL	沉淀无变化	过滤、洗涤,分成2份,分别转入A、B两试管
乙	2 mL	2 mol·L ⁻¹ 的 NaOH 溶液 3 mL	同上	2 mol·L ⁻¹ 的 NaOH 溶液 3 mL	沉淀溶解为无色透明溶液	取出2 mL溶液注入D试管

设问2 用何种方法才能实现 $\text{Al}^{3+} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{AlO}_2^-$ 的转化?

实验2 拓展实验

试管编号	所加物质	第一次所加试剂	现象	下一步实验	第二次所加试剂	现象
A	$\text{Al}(\text{OH})_3$ 固体	2 mol·L ⁻¹ 的 HCl 2 mL	固体溶解形成无色透明溶液	取出一半溶液注入C试管	2 mol·L ⁻¹ 的 NaOH 溶液 2 mL	生成蓬松白色胶状沉淀
B	$\text{Al}(\text{OH})_3$ 固体	2 mol·L ⁻¹ 的 NaOH 溶液 2 mL	同上	同上	2 mol·L ⁻¹ 的 HCl 2 mL	同上
C	从A试管中取出的2 mL溶液+B试管中取出的2 mL溶液					同上
D	从实验乙试管中取出的2 mL溶液+蒸馏水3 mL,吹入 CO_2 (呼吸浊气)					溶液浑浊

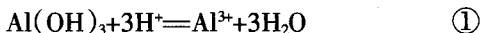
设问3 将 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 NaOH 溶液相互分量加入,其现象是否相同?

实验3 引伸实验

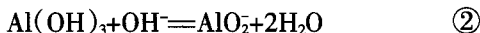
试管 编号	分量滴加溶液								
	初始溶液	第一次所加 试剂	现象	第二次所加 试剂	现象	第三次所加 试剂	现象	第四次所加 试剂	现象
a	$0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液 2 mL	$2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液 1 mL	产生蓬松白色胶状沉淀	$2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液 2 mL	沉淀量增加	$2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液 1 mL	沉淀量减少	$2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液 1 mL	沉淀溶解为澄清溶液
b	$2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液 3 mL	$0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液 0.5 mL	产生蓬松白色胶状沉淀,下沉过程中溶解	$0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液 1 mL	产生沉淀,沉淀立即溶解	$0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液 0.5 mL	产生蓬松白色胶状沉淀	$0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液 0.5 mL	沉淀量不再增加

综合分析上述实验,依据 $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{AlO}_2^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ 的转化关系可得如下化学性质。

1. $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀只溶于强酸,不溶于弱酸,其离子反应方程式为:



2. $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀只溶于强碱,不溶于弱碱,其离子反应方程式为:



3. 在 $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ 反应中。

(1) 若加酸,会抑制 Al^{3+} 的水解,而无 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀产生。

(2) 若加碱,则按下述情况讨论。

a. 弱碱。例如, $\text{Al}^{3+} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4^+$ 。

b. 强碱弱酸盐。例如, $\text{Al}^{3+} + 3\text{AlO}_2^- + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ 。

c. 强碱。例如, $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ 。③

若强碱过量。由②+③得: $\text{Al}^{3+} + 4\text{OH}^- = \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

4. 在 $\text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^-$ 反应中。

(1) 若加碱,会抑制 AlO_2^- 的水解,而无 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀产生。

(2) 若加酸,则按下述情况讨论。

a. 弱酸。例如, $\text{AlO}_2^- + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{HCO}_3^-$ 。

b. 强酸。例如, $\text{AlO}_2^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ 。

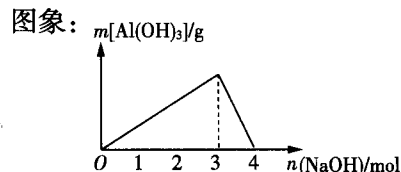
若强酸过量。由①+④得: $\text{AlO}_2^- + 4\text{H}^+ =$

$\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

5. 涉及 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀的图象。

(1) 在适量的可溶性铝盐溶液中逐滴加入 NaOH 溶液至过量。

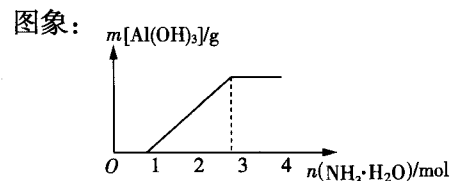
现象:立即产生白色沉淀→渐多→最多
[$n(\text{NaOH}) : n(\text{Al}^{3+}) = 3 : 1$]→渐少→消失
[$n(\text{NaOH}) : n(\text{Al}^{3+}) = 4 : 1$]。



其离子反应方程式为: $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- = \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$ 。

(2) 在适量的可溶性铝盐溶液中逐滴加入氨水至过量。

现象:立即产生白色沉淀→渐多→最多
[$n(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) : n(\text{Al}^{3+}) = 3 : 1$]→沉淀不消失。



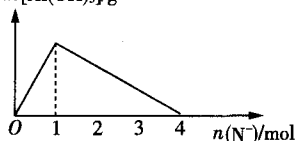
其离子反应方程式为: $\text{Al}^{3+} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 不反应。

(3) 在适量的偏铝酸盐溶液中逐滴加入稀盐酸至过量。

现象:立即产生白色沉淀→渐多→最多
[$n(\text{H}^+) : n(\text{AlO}_2^-) = 1 : 1$]→渐少→消失

$$[n(\text{H}^+):n(\text{AlO}_2^-)=4:1]$$

图象: $m[\text{Al}(\text{OH})_3]/\text{g}$

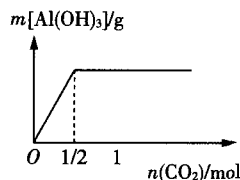


其离子反应方程式为: $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$, $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ = \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

(4) 在适量的偏铝酸盐溶液中缓慢通入 CO_2 至过量。

现象: 立即产生白色沉淀→渐多→最多
 $[n(\text{CO}_2):n(\text{AlO}_2^-)=1:2] \rightarrow$ 沉淀不消失。

图象:

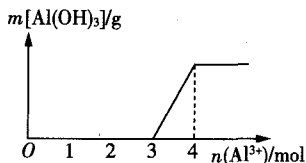


其离子反应方程式为: $2\text{AlO}_2^- + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{CO}_3^{2-}$, $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 不反应。

(5) 在适量强碱性溶液中逐滴加入铝盐溶液至过量。

现象: 局部产生白色沉淀→振荡消失→白色沉淀→渐多→最多→不消失。

图象:

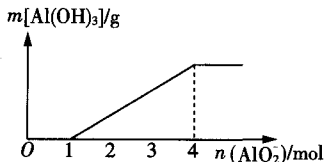


其离子反应方程式为: $\text{Al}^{3+} + 4\text{OH}^- = \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}^{3+} + 3\text{AlO}_2^- + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ 。

(6) 在适量强酸性溶液中逐滴加入偏铝酸盐溶液至过量。

现象: 局部产生白色沉淀→振荡消失→白色沉淀→渐多→最多→不消失。

图象:



其离子反应方程式为: $\text{AlO}_2^- + 4\text{H}^+ = \text{Al}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}^{3+} + 3\text{AlO}_2^- + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ 。

二、运用

涉及 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的化学反应, 大多数都是连续反应, 反应的发生可随着所加物质的量的不同, 产物不同。因此, 这方面的讨论型计算题是学习中的难点和重点。下面介绍用数轴来确定产物种类及其取值范围, 并巧解这类计算问题的方法。

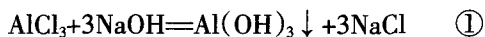
例1 在 $50\text{ mL } b\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 AlCl_3 溶液中加入 $50\text{ mL } a\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液。

(1) 当 $a \leq 3b$ 时, 生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀的物质的量为_____。

(2) 当 a, b 满足_____条件时, 无沉淀生成。

(3) 当 a, b 满足_____条件时, 先有沉淀生成, 后又有部分沉淀溶解, 此时 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的质量为_____。

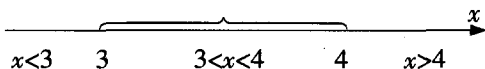
解析 依据题意知, 在 AlCl_3 溶液中加入 NaOH 溶液有如下两反应发生:



从上述两反应可确定出如下比值:

$$\frac{n(\text{NaOH})}{n(\text{AlCl}_3)} = 3 \text{ 或 } 4。$$

若将其比值(x)作为自变量表示在数轴上, 可划分出如下3个区域。



根据题中条件及数轴上划分出的区域分别进行如下讨论。

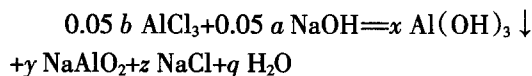
(1) 当 $\frac{n(\text{NaOH})}{n(\text{AlCl}_3)} \leq 3$, 即 $\frac{0.05a}{0.05b} \leq 3$, 即 $a \leq 3b$ 时, 说明反应按①式进行, 且碱量不足或恰好使 Al^{3+} 完全沉淀。则

$$\begin{array}{ccc} 3\text{NaOH} & \sim & \text{Al}(\text{OH})_3 \\ 3\text{ mol} & & 1\text{ mol} \\ 0.05a\text{ mol} & & \frac{0.05a}{3}\text{ mol} \end{array}$$

所以 $n[\text{Al}(\text{OH})_3] = 0.05a\text{ mol}$ 。

(2) 当 $\frac{n(\text{NaOH})}{n(\text{AlCl}_3)} \geq 4$, 即 $\frac{0.05a}{0.05b} \geq 4$, 即 $a \geq 4b$ 时, 说明反应按②式进行, 且无沉淀。

(3) 当 $3 < \frac{n(\text{NaOH})}{n(\text{AlCl}_3)} < 4$, 即 $3 < \frac{0.05a}{0.05b} < 4$, 即 $3 < a < 4b$ 时, 说明反应按①和②两式进行, 依据题中条件, 可写出如下待定总反应式:



根据 Al^{3+} 、 Na^+ 、 Cl^- 守恒, 可得

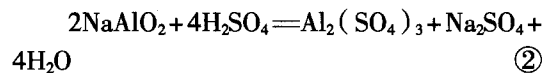
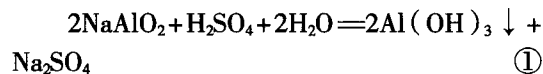
$$\begin{cases} 0.05b = x + y, \\ 0.05a = y + z, \\ 3 \times 0.05b = z, \end{cases}$$

解得 $x = 0.05(4b - a) \text{ mol}$ 。

所以 $m[\text{Al(OH)}_3] = 78 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.05(4b - a) \text{ mol} = 3.9(4b - a) \text{ g}$ 。

例2 在含 $a \text{ mol NaAlO}_2$ 的偏铝酸钠溶液中, 加入含 $b \text{ mol H}_2\text{SO}_4$ 的稀硫酸溶液。试讨论当 b 的取值范围不同时, 生成沉淀的质量。

解析 依题意知, 在 NaAlO_2 溶液中, 加入稀 H_2SO_4 有如下两个反应发生:

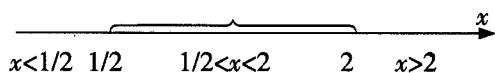


从上述两反应可确定如下比值:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{NaAlO}_2)} = \frac{1}{2} \text{ 或 } 2。$$

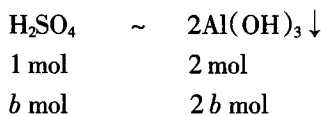
若将其比值(x)作为自变量表示在数轴

上, 可划分出如下3个区域。



根据题中条件及数轴上划分出的区域分别进行如下讨论。

(1) 当 $\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{NaAlO}_2)} \leq \frac{1}{2}$, 即 $\frac{b}{a} \leq \frac{1}{2}$, 即 $b \leq \frac{a}{2}$ 时, 说明反应按①式进行, 且 H_2SO_4 量不足, 则有

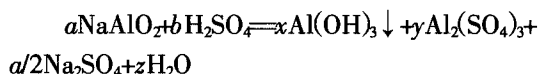


所以 $m[\text{Al(OH)}_3] = 78 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 2b \text{ mol} = 156b \text{ g}$ 。

(2) 当 $\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{NaAlO}_2)} \geq 2$, 即 $\frac{b}{a} \geq 2$, 即 $b \geq 2a$ 时, 说明反应按②式进行, 且 H_2SO_4 足量, 则无沉淀。

(3) 当 $\frac{1}{2} < \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{NaAlO}_2)} < 2$, 即 $\frac{1}{2} < \frac{b}{a} < 2$, 即 $\frac{a}{2} < b < 2a$ 时, 说明反应按①和②两式进行。

根据题意, 可写出如下待定总反应式:



根据 Al 、 S 元素守恒, 则得

$$\begin{cases} a = x + 2y, \\ b = 3y + a/2. \end{cases}$$

解得 $x = (4a - 2b)/3 \text{ mol}$ 。

所以 $m[\text{Al(OH)}_3] = 78 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times (4a - 2b)/3 \text{ mol} = 52(2a - b) \text{ g}$ 。