

例谈质子守恒的模型认知与教学价值*

经志俊

(南京市第三高级中学, 江苏南京 210001)

摘要:以二元弱酸钠盐溶液为例,明晰“代数推演法”“框图分析法”“数轴解析法”等“质子守恒”的模型认知方法的化学原理,优化二元混合溶液质子守恒问题解决的思维模型,基于发展学科核心素养阐述了“质子守恒”模型认知的教学价值。

关键词:质子守恒;模型认知;二元弱酸盐;教学价值;化学教学

文章编号: 1005-6629(2018)2-0092-05

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

“质子守恒”是化学守恒观念建构的重要组成部分,是基于“变化观念与平衡思想”探析微粒浓度关系的重要视角,也是基于“证据推理与模型认知”解决化学问题的重要案例,更是基于“科学探究与创新意识”促进学生发展的良好素材。

“质子守恒”的问题解决策略见诸文献的有“代数推演法^[1]”“框图分析法^[2]”和“数轴解析法^[3]”,但相关研究仅局限于探索解决问题的方法,未能深刻揭示方法背后的化学原理;针对二元混合溶液的质子守恒关系建构这一难点,文献中有多种突破方案^[4-7],这些方案虽各有建树,但囿于方法不够简明,在教学实践中难以大面积推广。

据此,以“二元弱酸钠盐溶液”为例,以“明晰化学原理、完善认知模型、突破教学难点”为目标,从“代数推演法”“框图分析法”和“数轴解析法”的不同视角聚焦质子守恒的模型认知,发掘

质子守恒的教学价值。

1 基于“代数推演法”的模型认知与教学价值

在 Na_2A 溶液或 NaHA 溶液中,存在多个发生质子转移的平衡体系,依据平衡体系定量分析质子守恒关系头绪繁杂,但溶液中阳离子所带正电荷浓度总和与阴离子所带负电荷浓度总和相等(电荷守恒),平衡体系中某一组分的分析浓度等于该组分各种存在形体的平衡浓度之和(物料守恒)的事实简单明了,且溶液中的质子守恒与电荷守恒、物料守恒存在内在的联系。

代数推演法,依据溶液中的电离与水解情况,分别建构电荷守恒关系式和物料守恒关系式,运用加减消元法从电荷守恒关系式和物料守恒关系式中消去不参与质子转移的离子浓度项,推演建构质子守恒关系式(见表1)。

表1 代数推演法建构质子守恒关系的模型认知

案例	分析电离与水解情况	建构质子守恒关系
Na_2A	$\text{Na}_2\text{A} \rightleftharpoons 2\text{Na}^+ + \text{A}^{2-},$ $\text{A}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HA}^- + \text{OH}^-,$ $\text{HA}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{A} + \text{OH}^-,$ $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$	建立电荷守恒关系式: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = 2c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{OH}^-) \cdots \text{①}$ 建立物料守恒关系式: $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{A}^{2-}) + 2c(\text{HA}^-) + 2c(\text{H}_2\text{A}) \cdots \text{②}$ ① - ② 消去 $c(\text{Na}^+)$, 整理得到质子守恒关系式: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HA}^-) + 2c(\text{H}_2\text{A})$
NaHA	$\text{NaHA} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{HA}^-,$ $\text{HA}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{A} + \text{OH}^-,$ $\text{HA}^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^{2-},$ $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$	建立电荷守恒关系式: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = 2c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{OH}^-) \cdots \text{①}$ 建立物料守恒关系式: $c(\text{Na}^+) = c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{H}_2\text{A}) \cdots \text{②}$ ① - ② 消去 $c(\text{Na}^+)$, 整理得质子守恒关系式: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{A}) - c(\text{A}^{2-})$

* 江苏省中小学教学研究重点课题“基于学科核心素养的高中化学教学评一致性研究”(编号 2015JK11-2004)研究成果之一。

在 Na_2A 和 NaHA 的混合溶液中,存在的微粒种类与 Na_2A 溶液或 NaHA 溶液相同,“代数推演法”模型认知的关键是正确把握投料比 $[n(\text{Na}_2\text{A}) : n(\text{NaHA})]$ 对物料守恒关系式的影响。

电荷守恒关系式依然为: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = 2c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{OH}^-) \cdots \textcircled{1}$;

物料守恒关系式随投料比 $[n(\text{Na}_2\text{A}) : n(\text{NaHA})]$ 的变化而不同,若投料时 $n(\text{Na}_2\text{A}) :$

$n(\text{NaHA}) = x : y$, 则溶液中 $c(\text{Na}^+)/[c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{H}_2\text{A})] = (2x + y)/(x + y)$, 经整理得物料守恒关系式: $(x + y)c(\text{Na}^+) = (2x + y)[c(\text{A}^{2-}) + c(\text{HA}^-) + c(\text{H}_2\text{A})] \cdots \textcircled{2}$; $\textcircled{1} \times (x + y) - \textcircled{2}$ 消去 $c(\text{Na}^+)$: $(x + y)c(\text{H}^+) = yc(\text{A}^{2-}) - x(\text{HA}^-) + (x + y)c(\text{OH}^-) - (2x + y)c(\text{H}_2\text{A})$, 经整理得质子守恒关系式: $(x + y)c(\text{OH}^-) = (x + y)c(\text{H}^+) + xc(\text{HA}^-) + (2x + y)c(\text{H}_2\text{A}) - yc(\text{A}^{2-})$ (案例见表 2)。

表 2 代数推演法解决二元混合溶液“质子守恒”问题的案例

案例	质子守恒关系建构
$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) :$ $n(\text{NaHCO}_3)$ $= 1 : 2$	建立电荷守恒关系式: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{OH}^-) \cdots \textcircled{1}$ 建立物料守恒关系式: $3c(\text{Na}^+) = 4[c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{H}_2\text{CO}_3)] \cdots \textcircled{2}$ $\textcircled{1} \times 3 - \textcircled{2}$ 消去 $c(\text{Na}^+)$, 经整理得质子守恒关系式: $3c(\text{OH}^-) = 3c(\text{H}^+) + c(\text{HCO}_3^-) + 4c(\text{H}_2\text{CO}_3) - 2c(\text{CO}_3^{2-})$
$n(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) :$ $n(\text{NaHC}_2\text{O}_4)$ $= 2 : 1$	建立电荷守恒关系式: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{OH}^-) \cdots \textcircled{1}$ 建立物料守恒关系式: $3c(\text{Na}^+) = 5[c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)] \cdots \textcircled{2}$ $\textcircled{1} \times 3 - \textcircled{2}$ 消去 $c(\text{Na}^+)$, 经整理得质子守恒关系式: $3c(\text{OH}^-) = 3c(\text{H}^+) + 2c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 5c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) - c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

“代数推演法”以溶液中的电离与水解为线索,聚焦溶液中存在的各种微粒,以电荷守恒与物料守恒为依据建立微粒间的浓度关系,用加减消元法导出质子守恒关系式。该认知模型基于“变化观念与平衡思想”引导学生微观探析电解质溶液中的微粒浓度关系,有助于学生加深对电离平衡和水解平衡的理解,把握质子守恒与电荷守恒、物料守恒的内存联系灵活分析问题,体验运用数学推演解决化学问题的方法。

2 基于“框图分析法”的模型认知与教学价值

在 Na_2A 溶液或 NaHA 溶液中, H_2O 、 HA^- 的

电离与 A^{2-} 、 HA^- 的水解,其本质都是质子的转移过程。电离与水解达到平衡时,整个体系中相关微粒失去质子总量与得到质子总量相等,锁定体系的始态和终态即可定量分析微粒间的质子转移情况。

框图分析法,首先聚焦溶液中参与质子转移的微粒,将参与质子转移的微粒自上而下排列在方框中,在方框的右侧列出微粒接受质子的情况,在方框的左侧列出微粒给出质子的情况,再依据给出质子与接受质子总量相等的事实建构质子守恒关系式(见表 3)。

表 3 框图分析法建立质子守恒关系的模型认知

案例	质子转移关系分析	建构质子守恒关系
Na_2A		依据结合与给出质子总量相等建立质子守恒关系式: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HA}^-) + 2c(\text{H}_2\text{A})$

续表

案例	质子转移关系分析	建构质子守恒关系
NaHA		依据结合与给出质子总量相等建立关系式： $c(\text{OH}^-) + c(\text{A}^{2-}) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{A})$ 经整理得质子守恒关系式： $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{A}) - c(\text{A}^{2-})$

在 Na_2A 和 NaHA 的混合溶液中, A^{2-} 与 HA^- 既相互依存又相互制约。“框图分析法”模型认知的关键是准确反映投料比 $[n(\text{Na}_2\text{A}) : n(\text{NaHA})]$ 对质子转移的影响。

Na_2A 在溶液中的质子守恒关系式: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HA}^-) + 2c(\text{H}_2\text{A}) \dots \textcircled{1}$

NaHA 在溶液中的质子守恒关系式: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{A}) - c(\text{A}^{2-}) \dots \textcircled{2}$

在 Na_2A 和 NaHA 的混合溶液中, 上述两式不能简单加和, 应结合投料比反映两者对溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 的贡献大小。

若 $n(\text{Na}_2\text{A}) : n(\text{NaHA}) = x : y$, 则 $\textcircled{1} \times x + \textcircled{2} \times y$ 得质子守恒关系式:

$$(x+y)c(\text{OH}^-) = (x+y)c(\text{H}^+) + xc(\text{HA}^-) + (2x+y)c(\text{H}_2\text{A}) - yc(\text{A}^{2-})$$

两边均除以“ $x+y$ ”得:

$$c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + \frac{x}{x+y} \times c(\text{HA}^-) + \frac{2x+y}{x+y} \times$$

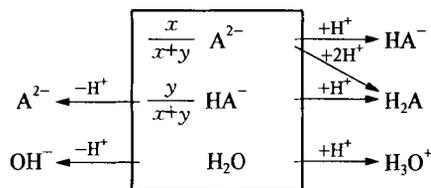
$$c(\text{H}_2\text{A}) - \frac{y}{x+y} \times c(\text{A}^{2-})$$

经整理得:

$$c(\text{OH}^-) + \frac{y}{x+y} \times c(\text{A}^{2-}) = c(\text{H}^+) + \frac{x}{x+y} \times$$

$$c(\text{HA}^-) + \frac{x}{x+y} \times 2c(\text{H}_2\text{A}) + \frac{y}{x+y} \times c(\text{H}_2\text{A})$$

与该关系式匹配的框图分析为:



建构质子守恒关系式时, 将 A^{2-} 、 HA^- 的物质的量分数作为系数代入相关浓度项即可(案例见表4)。

表4 框图分析法解决二元混合溶液“质子守恒”问题的案例

案例	质子转移关系分析	质子守恒关系建构
$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) :$ $n(\text{NaHCO}_3) = 1 : 2$		依据框图分析建立关系式： $c(\text{OH}^-) + \frac{2}{3} \times c(\text{CO}_3^{2-})$ $= c(\text{H}^+) + \frac{1}{3} \times c(\text{HCO}_3^-) + \frac{1}{3} \times 2c(\text{H}_2\text{CO}_3) + \frac{2}{3} \times c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ 经整理得质子守恒关系式： $3c(\text{OH}^-) = 3c(\text{H}^+) + c(\text{HCO}_3^-) + 4c(\text{H}_2\text{CO}_3) - 2c(\text{CO}_3^{2-})$
$n(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) :$ $n(\text{NaHC}_2\text{O}_4) = 2 : 1$		依据框图分析建立关系式： $c(\text{OH}^-) + \frac{1}{3} \times c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ $= c(\text{H}^+) + \frac{2}{3} \times c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + \frac{2}{3} \times 2c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + \frac{1}{3} \times c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 经整理得质子守恒关系式： $3c(\text{OH}^-) = 3c(\text{H}^+) + 2c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 5c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) - c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

“框图分析法”以溶液中参与质子转移的微粒及其变化为抓手, 运用图示凸显质子给出与接

受的变化, 依据给出与接受质子总量相等建构质子守恒关系式。该认知模型, 基于“证据推理与

模型认知”引导学生学会透过错综复杂的过程准确把握问题的本质。在此基础上建构直观简明的解决问题模型,并通过问题解决体验模型认知的意义;通过二元混合溶液质子守恒认知模型建构的过程分析,引导学生重视模型建构的理论依据及渗透科学精神的教育。

3 基于“数轴解析法”的模型认知与教学价值

在 Na_2A 溶液或 NaHA 溶液中,水电离出的 H^+ 和 OH^- 浓度相等,即 $c(\text{H}^+)_{\text{水}} = c(\text{OH}^-)_{\text{水}}$, HA^- 电离给出 H^+ 抑制水的电离, A^{2-} 、 HA^- 水解结合 H^+ 促进水的电离,且溶液中的 OH^- 全来源于水的电离,可见 $c(\text{OH}^-) = c(\text{OH}^-)_{\text{水}} = c(\text{H}^+)_{\text{水}} = c(\text{H}^+) + \Sigma c(\text{H}^+)_{\text{盐水解消耗}} - \Sigma c(\text{H}^+)_{\text{盐电离生成}}$, 即: $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) =$

$\Sigma c(\text{H}^+)_{\text{盐水解消耗}} - \Sigma c(\text{H}^+)_{\text{盐电离生成}} = \Sigma c(\text{粒子})_{\text{A}^{2-} \text{或 HA}^- \text{的水解产物}} \times \text{结合质子数目} - \Sigma c(\text{粒子})_{\text{HA}^- \text{的电离产物}} \times \text{给出质子数目}$ 。

数轴解析法,用数轴表示“ $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+)$ ”,将盐电离出的酸根离子置于数轴的原点,该酸根离子给出质子形成的微粒置于原点的左侧、结合质子形成的微粒置于原点的右侧,并按其结合质子的次序在数轴上从左到右依次排开,每相邻 2 个微粒在数轴上相距 1 个单位。将“ $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = \Sigma c(\text{粒子})_{\text{A}^{2-} \text{或 HA}^- \text{水解产物}} \times \text{结合质子数目} - \Sigma c(\text{粒子})_{\text{HA}^- \text{电离产物}} \times \text{给出质子数目}$ ”抽象为数学公式“ $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = \Sigma c(\text{粒子}) \times \text{粒子刻度}$ ”,依据数轴解析建构质子守恒关系式(见表 5)。

表 5 数轴解析法建立质子守恒关系的模型认知

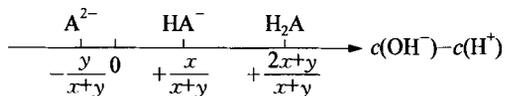
案例	质子转移情况解析	建构质子守恒关系
Na_2A	$\begin{array}{c} \text{A}^{2-} \quad \text{HA}^- \quad \text{H}_2\text{A} \\ \quad \quad \\ 0 \quad +1 \quad +2 \end{array} \rightarrow c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+)$	依据数轴解析建立等量关系: $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = c(\text{HA}^-) + 2c(\text{H}_2\text{A})$ 移项,得到质子守恒关系式: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{HA}^-) + 2c(\text{H}_2\text{A})$
NaHA	$\begin{array}{c} \text{A}^{2-} \quad \text{HA}^- \quad \text{H}_2\text{A} \\ \quad \quad \\ -1 \quad 0 \quad +1 \end{array} \rightarrow c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+)$	依据数轴解析建立等量关系: $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = c(\text{H}_2\text{A}) - c(\text{A}^{2-})$ 移项,得到质子守恒关系式: $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{A}) - c(\text{A}^{2-})$

在 Na_2A 和 NaHA 的混合溶液中, A^{2-} 、 HA^- 分置于数轴原点的两侧,具体位置随投料比 $[n(\text{Na}_2\text{A}) : n(\text{NaHA})]$ 的变化而不同。“数轴解析法”模型认知的关键是在数轴上对 A^{2-} 、 HA^- 准确定位。

若投料比 $n(\text{Na}_2\text{A}) : n(\text{NaHA}) = x : y$,起始时 A^{2-} 的物质的量分数为 $\frac{x}{x+y}$ 、 HA^- 的物质的量

分数为 $\frac{y}{x+y}$,因数轴上表示的微粒是质子转移的产物,故利用 A^{2-} 、 HA^- 物质的量的分数交叉定位,将 A^{2-} (HA^- 给出质子的产物)置于距原点

$-\frac{y}{x+y}$ 处、 HA^- (A^{2-} 接受质子的产物)置于距原点 $+\frac{x}{x+y}$ 处,依据 HA^- 、 H_2A 在数轴上相距 1 个单位,将 H_2A 置于距原点 $+\left(\frac{x}{x+y} + 1\right)$ 处,即 $+\frac{2x+y}{x+y}$ 处。



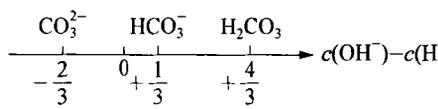
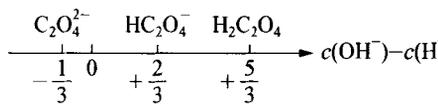
依据公式“ $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = \Sigma c(\text{粒子}) \times \text{粒子刻度}$ ”建立关系式:

$$c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = \frac{x}{x+y} \times c(\text{HA}^-) + \frac{2x+y}{x+y} \times c(\text{H}_2\text{A}) - \frac{y}{x+y} \times c(\text{A}^{2-})$$

经整理,得质子守恒关系式:

$$(x+y)c(\text{OH}^-) = (x+y)c(\text{H}^+) + xc(\text{HA}^-) + (2x+y)c(\text{H}_2\text{A}) - yc(\text{A}^{2-}) \quad (\text{案例见表6}).$$

表6 数轴解析法解决二元混合溶液“质子守恒”问题的案例

案例	质子转移关系分析	质子守恒关系建构
$\frac{n(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{n(\text{NaHCO}_3)} = 1:2$		依据公式和数轴解析建立关系式: $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = \frac{1}{3} \times c(\text{HCO}_3^-) + \frac{4}{3} \times c(\text{H}_2\text{CO}_3) - \frac{2}{3} \times c(\text{CO}_3^{2-})$ 经整理得质子守恒关系式: $3c(\text{OH}^-) = 3c(\text{H}^+) + c(\text{HCO}_3^-) + 4c(\text{H}_2\text{CO}_3) - 2c(\text{CO}_3^{2-})$
$\frac{n(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{n(\text{NaHC}_2\text{O}_4)} = 2:1$		依据公式和数轴解析建立关系式: $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = \frac{2}{3} \times c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + \frac{5}{3} \times c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) - \frac{1}{3} \times c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ 经整理得质子守恒关系式: $3c(\text{OH}^-) = 3c(\text{H}^+) + 2c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 5c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) - c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

“数轴解析法”以水的电离平衡及其移动为依据,以数轴为工具解析盐的组成离子对溶液中“ $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+)$ ”的影响,运用基于化学分析并经数学抽象得出的公式建构质子守恒关系式。该认知模型,基于“科学探究与创新意识”引导学生从定量探究 A^{2-} 、 HA^- 对水的电离平衡的影响入手,结合“ $c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) = \sum c(\text{粒子}) \times \text{粒子刻度}$ ”的化学分析和数学抽象过程,激发学生的探究欲望和创新意识,体验学科融合的魅力和乐趣;通过二元混合溶液中的 A^{2-} 、 HA^- 在数轴上的定位,引导学生深度理解数学模型的化学意义、养成严谨的研究态度。

“质子守恒”模型认知的3种策略,从不同的视角审视质子守恒及其内涵的化学原理,从不同侧面展现“质子守恒”的教学价值。其教学价值不应只局限于方法应用,而应该通过模型建构的过程深化对化学原理的理解,赋予认知模型完

整的化学意义,将认知模型的建构过程作为重要的教学资源培育与发展学生的化学学科核心素养。

参考文献:

[1] 翁光龙. 浅谈质子守恒及其应用[J]. 中学化学教学参考, 1998, (12): 53~54.
 [2] 林飞, 戴洁. 用图示法解决混合溶液中质子守恒题[J]. 化学教学, 2013, (3): 65~66.
 [3] 叶书林, 洪赛君. 用数轴法快速书写质子守恒表达式[J]. 化学教育, 2016, (11): 32~34.
 [4] 曾应超. 用组分分离法书写混合溶液的质子守恒式[J]. 化学教学, 2013, (5): 70~71.
 [5] 杨青山, 叶漫, 朱方仕. 框图等效法书写浓度不同的混合溶液的质子守恒式[J]. 化学教学, 2014, (9): 78~79.
 [6] 周惠忠. 双组分混合溶液中质子守恒式的书写[J]. 化学教学, 2015, (3): 67~69.
 [7] 朱庆斌. 框图法书写混合溶液质子守恒式的改进[J]. 化学教学, 2016, (3): 92~93, 97.