

生物化学

习题分析与解答

44

复旦大学出版社

生物化学习题分析与解答

复旦大学

顾其敏 詹树萱 赵志安

冷麟 孙栋林

复旦大学出版社

生物化学习题分析与解答

复旦大学出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印刷

字数 140 千 开本 787×1092 1/32 印张 6

1984 年 9 月第一版 1984 年 9 月第一次印刷

印数: 1—18,000

书号: 7253·007 定价: 0.80 元

说 明

本书是以习题解答的方式来阐明有关生物化学的基本概念,同时也是作为我校沈仁权等编的《基础生物化学》一书的辅助教材。

书中所采用的例题是从近几年来在生物化学教学中使用的试题以及国外一些较著名的生化教科书的习题中选出,并作解答后汇编成此书。

本书可供各大专院校(包括医、农院校)学习生物化学课程的学生以及自学者参考使用。

本书编写过程中得到生物化学教研室沈仁权教授的关怀,并为本书第五章内多数习题提供解答,教研室内的许多同志提出了宝贵的意见和进行过有益的讨论。我们表示感谢。

由于我们水平有限,书中错误在所难免,希望读者批评和指正。

编 者

一九八三年五月

目 录

第一章	pH 和缓冲溶液	1
第二章	蛋白质化学	18
第三章	酶化学	59
第四章	核酸化学	95
第五章	代谢和分子生物学.....	120
附 录		167
参考书		187

pH 和缓冲溶液

生物体内的一切化学反应都是在一定的 pH 缓冲系统中进行的。pH 值的变化对生物大分子如蛋白质、核酸等的结构和功能起着重要作用，并进而影响细胞和组织的行为。所以 pH 的计算和缓冲液的配制，对从事生物学和生物化学者来讲是极其普通而又是最有用的。本章通过这些有限的习题，由浅入深地帮助读者建立起 pH、酸和碱、缓冲作用和缓冲液的基本概念及计算公式，以便有助于实际应用。

【例 1】 计算下列各题的 pH 或 pOH。

(a) $10^{-5} M$ HCl 的 pH。

解 $[H^+] = 10^{-5} M$

$$pH = \lg \frac{1}{[H^+]} = -\lg [H^+]$$

代入 $pH = -\lg 10^{-5} = 5$

(b) $3 \times 10^{-4} M$ HCl 的 pH。

解 $pH = -\lg(3 \times 10^{-4}) = -\lg 3 - \lg 10^{-4}$
 $= 4 - 0.477 = 3.523$

(c) $5 \times 10^{-3} M$ NaOH 的 pOH。

解 $pOH = \lg \frac{1}{[OH^-]} = -\lg [OH^-]$

$$pOH = -\lg(5 \times 10^{-3}) = -\lg 5 - \lg 10^{-3}$$

$$= 3 - 0.699 = 2.301$$

(d) $3 \times 10^{-6} M$ KOH 的 pH.

解 先求 $pOH = -\lg(3 \times 10^{-6}) = -\lg 3 - \lg 10^{-6}$
 $= 6 - 0.477 = 5.523$

故 $pH = 14 - 5.52 = 8.48$

(e) $3 \times 10^{-4} M$ HCl 的 pOH.

解 $3 \times 10^{-4} M$ HCl 的 $pH = 3.523$

故 $pOH = 14 - 3.523 = 10.477$

【例 2】 计算下列各题的 $[H^+]$ 或 $[OH^-]$.

(a) 血浆的 pH 为 7.4, 求 $[H^+]$.

解 因为 $pH = -\lg[H^+]$,

故 $\lg[H^+] = -pH = -7.4 = 8.6$

由对数表查得 0.6 的反对数是 3.99

故 $[H^+] = 3.99 \times 10^{-8} M$

(b) 肌肉细胞内汁液的 pH 为 6.1, 求其 $[H^+]$.

解 $\lg[H^+] = -pH = -6.1 = 7.9$

故 $[H^+] = 7.95 \times 10^{-7} M$

(c) 蕃茄汁的 pH 为 4.3, 求 $[OH^-]$.

解 $pH 4.3 = pOH 9.7$

$\lg[OH^-] = -pOH = -9.7 = 10.3$

故 $[OH^-] = 2 \times 10^{-10}$

(d) 胃液的 pH 为 1.4, 求其 $[H^+]$.

解 $\lg[H^+] = -pH = -1.4 = 2.6$

故 $[H^+] = 3.99 \times 10^{-2} M$

(e) 唾液的 pH 为 6.5, 求其 $[OH^-]$.

解 $pH 6.5 = pOH 7.5$

$\lg[OH^-] = -pOH = -7.5 = 8.5$

故 $[OH^-] = 3.16 \times 10^{-8} M$

(f) 海水的 pH 为 7.5, 求其 $[H^+]$.

解 $\lg[H^+] = -pH = -7.5 = 8.5$

故 $[H^+] = 3.16 \times 10^{-8} M$

【例 3】 计算醋酸在 pH 3.0, pH 4.0 和 pH 4.70 的电离度. 已知醋酸的 $K_a = 1.74 \times 10^{-5}$.

解 设初始浓度为 c , 电离度为 α .



$$\frac{[H^+][Ac^-]}{[HAc]} = K_a$$

$$[Ac^-] = c \cdot \alpha$$

$$[HAc] = c(1 - \alpha)$$

pH 3 时

$$[H^+] = 10^{-3} M$$

$$\frac{[H^+][Ac^-]}{[HAc]} = \frac{10^{-3} \cdot c \cdot \alpha}{c \cdot (1 - \alpha)} = 1.74 \times 10^{-5}$$

$$(10^{-3} + 1.74 \times 10^{-5}) \alpha = 1.74 \times 10^{-5}$$

$$\alpha = 0.0171$$

pH 4 时

$$[H^+] = 10^{-4} M$$

$$\alpha = \frac{1.74 \times 10^{-5}}{10^{-4} + 1.74 \times 10^{-5}} = 0.148$$

pH 4.7 时

$$[H^+] = 1.995 \times 10^{-5} M$$

$$\alpha = \frac{1.74 \times 10^{-5}}{(1.995 + 1.74) \times 10^{-5}} = 0.466$$

【例 4】 0.1M 的丙酸在 25°C 时有 1.16% 电离, 计算它的电离常数和 pK .



$$[H^+] = 0.1 \times 1.16\%$$

$$[CH_3CH_2COO^-] = 0.1 \times 1.16\%$$

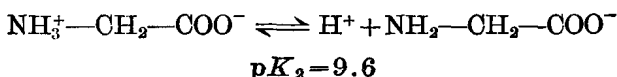
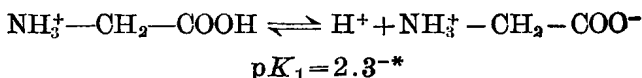
$$[CH_3CH_2COOH] = 0.1 \times (1 - 1.16\%)$$

$$\begin{aligned}\text{电离常数 } K &= \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}]} \\ &= \frac{(0.1 \times 1.16\%)^2}{0.1 \times (1 - 1.16\%)} = 1.36 \times 10^{-5} \\ pK &= -\lg K = 4.866\end{aligned}$$

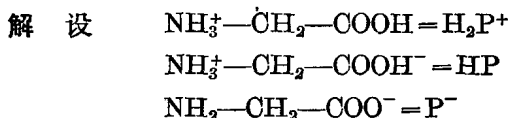
【例 5】甘氨酸($\text{NH}_2\text{—CH}_2\text{—COOH}$)在水溶液中得到或失去质子而成下列诸形式:



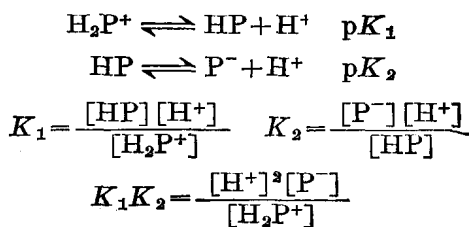
且



当甘氨酸分子上正电荷和负电荷相等时, 溶液的 pH 是多少? (这时的 pH 称为等电点).



则上述两平衡变为



* 某些酸和盐的 pK 值参见附录 1.

因为 P^- 和 H_2P^+ 是甘氨酸带电荷的形式, 故当 $[P^-] = [H_2P^+]$ 时, 甘氨酸分子上的正电荷将等于负电荷。

所以在等电点时,

$$\begin{aligned} K_1 K_2 &= [H^+]^2 \\ \lg [H^+] &= \frac{1}{2} (\lg K_1 + \lg K_2) \\ \text{pH} &= \frac{1}{2} (\text{p} K_1 + \text{p} K_2) \\ &= \frac{1}{2} (2.3 + 9.6) = 5.95 \end{aligned}$$

【例 6】人尿的正常 pH 值为 6, 如果某病人每天排尿 1300 ml, 多少摩尔的酸被排出?

解 $[H^+] = 1 \times 10^{-6} M$

H^+ 的摩尔数 $= 1 \times 10^{-6} \times 1.3 = 1.3 \times 10^{-6}$ 摩尔

答: 排出了 1.3×10^{-6} 摩尔的酸。

【例 7】用 0.50 摩尔 HAc ($\text{p} K = 4.75$) 和 2.50 摩尔 $NaAc$ 加于足量水中使成 1 升溶液, 求它的 pH 值。

解
$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p} K + \lg \frac{[\text{盐}]}{[\text{酸}]} = 4.75 + \lg \frac{2.5}{0.50} \\ &= 4.75 + 0.70 = 5.45 \end{aligned}$$

【例 8】(a) 计算 pH 7.4 的血浆中 $[HCO_3^-]/[H_2CO_3]$ 的比例。

25°C 时 H_2CO_3 的 $K_1 = 4.3 \times 10^{-7}$, $K_2 = 4.7 \times 10^{-11}$

解 pH 7.4 的血浆含 $[H^+] = 3.98 \times 10^{-8} M$ 。

根据碳酸一级电离平衡关系

$$\begin{aligned} \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} &= K_{a1} \\ \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} &= K_{a1}/[H^+] = \frac{4.3 \times 10^{-7}}{3.98 \times 10^{-8}} = 10.8 \end{aligned}$$

(b) 计算血浆中 $[\text{HPO}_4^{2-}]/[\text{H}_2\text{PO}_4^-]$ 的比例。

解 25°C 时 H_3PO_4 的

$$K_{a1}=7.52 \times 10^{-3} \quad K_{a2}=6.23 \times 10^{-8}$$

根据 H_3PO_4 的二级电离平衡关系得

$$[\text{HPO}_4^{2-}]/[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = K_{a2}/[\text{H}^+] = \frac{6.23 \times 10^{-8}}{3.98 \times 10^{-8}} = 1.6$$

【例 9】肌肉细胞内的 pH 是 6.8，计算这细胞内的 $[\text{H}_2\text{PO}_4^-]/[\text{HPO}_4^{2-}]$ 的比例。

已知 H_3PO_4 的 $K_{a2}=6.23 \times 10^{-8}$

解 pH 6.8 时 $[\text{H}^+] = 1.58 \times 10^{-7} \text{ M}$

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-]/[\text{HPO}_4^{2-}] = \frac{[\text{H}^+]}{K_{a2}} = \frac{1.58 \times 10^{-7}}{6.23 \times 10^{-8}} = 2.5$$

【例 10】计算 0.01 M H_2CO_3 溶液的 (a) pH (b) CO_3^{2-} 离子的浓度 (或 pCO_3)。

H_2CO_3 的 $K_1=4.3 \times 10^{-7}$, $K_2=4.7 \times 10^{-11}$

解 由于 H_2CO_3 的 $K_{a2} \ll K_{a1}$ ，故计算 pH 时可只考虑一级电离，

$$\frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = K_{a1}$$

(a) 设 $[\text{H}^+] \simeq [\text{HCO}_3^-] = x$ ，则 $[\text{H}_2\text{CO}_3] = 0.01 - x \simeq 0.01$

$$\frac{x^2}{0.01} = 4.3 \times 10^{-7}$$

$$x = \sqrt{4.3 \times 10^{-7} \times 0.01} = 6.56 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = 4.18$$

(b) $[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+]/[\text{HCO}_3^-] = K_{a2}$ ，由于 $[\text{H}^+] \simeq [\text{HCO}_3^-]$

故 $[\text{CO}_3^{2-}] = K_{a2} = 4.7 \times 10^{-11} \text{ M}$

或 $\text{pCO}_3 = 10.33$

【例 11】今有 0.1 N NaOH 溶液， 0.1 N H_2SO_4 溶液以及

浓度均为 $0.1N$ 的醋酸 ($pK=4.76$)，乳酸 ($pK=3.86$)，磷酸 ($pK_2=7.2$) 和氯化铵 ($pK=9.25$) 溶液。

(a) 假定上述溶液不加水稀释，在一个酶催化反应的实验中如何配制 50 ml pH 值为 5.4 的缓冲溶液，并采用哪种酸来配制？

解 因要配制的缓冲液的 pH 值为 5.4 ，而醋酸的 $pK=4.76$ ，故采用醋酸来配制最为合适。

$$\text{由} \quad pH = pK + \lg \frac{[Ac^-]}{[HAc]}$$

$$\text{代入} \quad 5.4 - 4.76 = \lg \frac{[Ac^-]}{[HAc]}$$

$$\lg \frac{[Ac^-]}{[HAc]} = 0.64$$

$$\therefore \frac{[Ac^-]}{[HAc]} = 4.365$$

今假定所用醋酸体积为 $x\text{ ml}$ ， $NaOH$ 体积为 $y\text{ ml}$ 。

$$x > y$$

由于 $NaOH + HAc = NaAc + H_2O$ 反应，溶液中有 $NaAc$ 生成，并有多余 HAc 存在。因为同离子效应， HAc 的电离可以忽略， $[Ac^-]$ 可近似地看作由 $NaAc$ 而来，因此它们的浓度分别为：

$$[HAc] = \frac{x-y}{x+y} \times 0.1$$

$$[Ac^-] = \frac{y}{x+y} \times 0.1$$

$$\text{由方程组} \quad \begin{cases} x+y=50 \\ \frac{y}{x-y}=4.365 \end{cases}$$

可得 $y=22.43\text{ ml}$ $x=27.57\text{ ml}$ 。

所以：用 $22.43\text{ ml } 0.1N NaOH$ 与 $27.57\text{ ml } 0.1N HAc$ 混

合即可配制得 pH 为 5.4 的缓冲液。

(b) 当反应过程中产生 0.1 毫克当量的酸, 则最终缓冲液的 pH 值为多少?

$$[\text{Ac}^-] = \frac{0.1 \times 22.43 - 0.1}{50}$$

$$[\text{HAc}] = \frac{0.1 \times (27.57 - 22.43) + 0.1}{50}$$

$$\frac{[\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]} = \frac{0.1 \times 22.43 - 0.1}{0.1 \times (27.57 - 22.43) + 0.1} = 3.49$$

$$\lg \frac{[\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]} = 0.5429$$

$$\text{pH} = \text{p}K + \lg \frac{[\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]} = 4.76 + 0.543 = 5.3$$

所以, 该缓冲液的最终 pH 值为 5.3。

【例 12】取 100 ml 0.1 M NaOH 加于

150 ml 0.2 M CH_3COOH ($K_a = 1.74 \times 10^{-5}$)

溶液中, 计算此混合溶液的 pH 值。

解

150 ml 0.2 M CH_3COOH 中含 0.03 克分子 CH_3COOH

100 ml 0.1 M NaOH 中含 0.01 克分子 NaOH

当二者混合时, 0.01 克分子的 NaOH 中和等量的 CH_3COOH 而形成 0.01 克分子的 CH_3COONa , 溶液中剩下 0.02 克分子的 CH_3COOH , 上述这些物质都含在 250 ml 中, 构成一个缓冲溶液。

求得 CH_3COOH 的

$$\text{p}K_a = -\lg 1.74 \times 10^{-5} = 5 - 0.24 = 4.76$$

因此

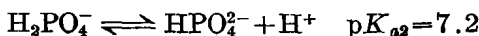
$$\text{pH} = 4.76 + \lg \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4.76 + \lg \frac{[0.01/250]}{[0.02/250]} = 4.76 + \lg \frac{1}{2} \\
 &= 4.76 - \lg 2 = 4.76 - 0.3 = 4.46
 \end{aligned}$$

此混合液的 pH 为 4.46.

【例 13】 如何用 0.1 M H_3PO_4 溶液和 0.1 M NaOH 配制 pH 6.7 的磷酸缓冲溶液. (H_3PO_4 的 $\text{p}K_{a1}=2.14$, $\text{p}K_{a2}=7.20$, $\text{p}K_{a3}=12.4$).

解 pH 6.7 时, 可选用磷酸的第二级电离平衡来计算,



HPO_4^{2-} 和 H_2PO_4^- 的比例可从方程式求得

$$6.7 = 7.2 + \lg \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} - 0.5 = \lg \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

$$\lg \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]} = 0.5$$

$$\frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]} = 3.16$$

因此在此 pH 6.7 的缓冲液中有 316 份 H_2PO_4^- 和 100 份 HPO_4^{2-} , 总量为 416. 由于所用磷酸缓冲溶液的成份必须是 0.1 M 的 H_3PO_4 , 因此先取 41.6 ml 的 0.1 M H_3PO_4 , 加入 41.6 ml 的 0.1 N NaOH 以中和 H_3PO_4 上第一个质子 ($\text{p}K_{a1}=2.1$), 再加入 10.0 ml 的 NaOH, 使之产生 1.0 毫克当量的 HPO_4^{2-} , 并留下 3.16 毫克当量的 H_2PO_4^- , 这样可以得到 pH 为 6.7 的所需 $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ 的比例.

此缓冲溶液的浓度为 H_3PO_4 的毫克当量 (4.16) 除以溶液的最终毫升数 (93.2 ml) 得 0.045 M.

所以, pH 6.7 的磷酸缓冲液可取 41.6 ml 0.1 M H_3PO_4 加入 51.6 ml 0.1 N NaOH 配制而成.

【例 14】 如何以 1 M H_3PO_4 和 1 M NaOH 来配制 100 ml

pH 6.7 的 0.1 M 的磷酸缓冲溶液。

解 和上题一样的比例 $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ 为 3.16。

先取 10 ml 1 M 的 H_3PO_4 ，加入 10 ml 1 M NaOH 以中和 H_3PO_4 的第一个解离的质子，然后再加入

$$10 \times \frac{1}{4.16} = 2.4 \text{ ml } 1 \text{ M}$$

的 NaOH，并加水稀释到 100 ml，就可得到上述比例。

所以，10 ml 1 M H_3PO_4 加入 12.4 ml 1 M NaOH 混合后加水稀释到 100 ml 即成 pH 6.7 1.1 M 的磷酸缓冲溶液。

【例 15】取 3.48 克 K_2HPO_4 和 2.72 克 KH_2PO_4 溶于 250 ml 水中，求此缓冲溶液的 (a) pH 及 (b) 浓度为多少？

解 K_2HPO_4 分子量为 174；

KH_2PO_4 分子量为 136；

$$\text{K}_2\text{HPO}_4 \text{ 的克分子数为 } \frac{3.48}{174} = 0.02,$$

$$\text{KH}_2\text{PO}_4 \text{ 的克分子数为 } \frac{2.72}{136} = 0.02$$

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad \text{pH} &= \text{p}K_{a2} + \lg \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} \\ &= 7.2 + \lg \frac{0.02 \times 1000 / 250}{0.02 \times 1000 / 250} = 7.2 \end{aligned}$$

(b) 缓冲溶液的浓度为

$$2 \times \left(\frac{0.02 \times 1000}{250} \right) = 0.16 \text{ M}.$$

【例 16】一缓冲溶液含有 0.1 M CH_3COOH 及 0.1 M 醋酸钠 (即 0.2 M 醋酸盐缓冲溶液) 当在 10 ml 此缓冲液中加入 4 ml 0.025 N HCl 后，计算其 pH 为多少？

解 加入 4 ml 0.025 N HCl 后， $[\text{Ac}^-]$ 和 $[\text{HAc}]$ 均发生改变

$$[Ac^-] = \frac{0.1 \times 10 - 0.025 \times 4}{14}$$

$$[HAc] = \frac{0.1 \times 10 + 0.025 \times 4}{14}$$

$$\frac{[Ac^-]}{[HAc]} = \frac{0.1 \times 10 - 0.025 \times 4}{0.1 \times 10 + 0.025 \times 4} = 0.818$$

$$pH = pK + \lg \frac{[Ac^-]}{[HAc]}$$

$$= 4.76 + \lg 0.818 = 4.76 - 0.09 = 4.67$$

其最终 pH 为 4.67.

【例 17】试述如何用固体氯化铵和 1M NaOH 来配制 1 升 pH 9.0, 0.1 M 的氯化铵缓冲溶液, (已知 NH_4^+ 的 $pK_a = 9.26$)

$$\text{解 } pH = pK_a + \lg \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} \quad pH = 9.0 \quad pK_a = 9.26$$

$$\text{代入等式} \quad 9.0 = 9.26 + \lg \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$$

$$\lg \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = -0.26 \quad \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = 0.55$$

$$\text{由方程组: } \begin{cases} \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = 0.55 \\ [NH_3] + [NH_4^+] = 0.1 \end{cases}$$

$$\text{解得} \quad [NH_3] = 0.0355 M$$

由反应 $NH_4Cl + NaOH \longrightarrow NaCl + H_2O + NH_3$ 已知在反应中产生的 NH_3 的克分子数与消耗的 NaOH 克分子数相等, 故要获得 0.0355 克分子的 NH_3 则需用 NaOH 0.0355 克分子, 今用 1M NaOH 来配制时则需用 35.5 ml (因溶液总体积为 1 升).

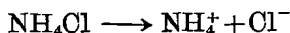
由于 NH_4Cl 的分子量为 53.5, 0.1M NH_4Cl 溶液含 NH_4Cl 5.35 克, 所以配制方法为: 取 5.35 克 NH_4Cl 加入适量水溶解, 然后加入 35.5 ml 1M NaOH, 再用水稀释到 1000 ml 即可.

【例 18】 试述如何用 $1\text{ M NH}_4\text{OH}$ 和 1 M HCl 来配制 $1\text{ 升 pH } 9.0, 0.1\text{ M}$ 的氯化铵缓冲液。

解 与上题情况相似, 最终的缓冲液浓度为 0.1 M , 所以应用 $1\text{ M NH}_4\text{OH}$ 溶液 100 ml 。

$$\text{得方程组: } \begin{cases} \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 0.55 \\ [\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+] = 0.1 \end{cases}$$

$$\text{解得 } [\text{NH}_4^+] = 0.0645\text{ M}$$



所需的 HCl 为 0.0645 克分子, 若用 1 M HCl 来配制, 则需 64.5 ml , 配制方法: 取 $64.5\text{ ml } 1\text{ M HCl}$ 加入 $100\text{ ml } 1\text{ M NH}_4\text{OH}$, 然后加水稀释至 1000 ml 即可。

【例 19】 试述要用多少重量的冰醋酸和多少重量的醋酸钠(含三分子结晶水)配制成 $100\text{ ml pH } 4.5, 0.2\text{ M}$ 的缓冲溶液。

解 冰醋酸的分子量为 60

$\text{NaAc} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的分子量为 136 。

$$\text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{[\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]} \quad \text{pH} = 4.5 \quad \text{pK} = 4.76$$

$$\text{代入等式 } \lg \frac{[\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]} = 4.5 - 4.76 = -0.26$$

$$\frac{[\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]} = 0.55$$

设 n 代表 $\text{NaAc} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的克分子数, n' 代表 HAc 的克分子数

$$\text{则由方程组 } \begin{cases} \frac{n}{n'} = 0.55 \\ n + n' = 0.2 \times \frac{100}{1000} = 0.02 \end{cases}$$