

海水、卤水、苦卤冲稀前后盐分浓度与波美度的关系

RELATIONSHIP OF SALINITY AND BAUME DEGREE PRIOR TO OR AFTER DILUTION OF SEAWATER, BRINE AND BITTERN

刘怀京

(广东省南澳县盐务局 515900)

海水、卤水、苦卤冲稀前后的浓度与波美度之间存在着定量的计算关系。现以冲稀苦卤为例,对其进行推导。

1 公式推导

为了方便推导,做如下设定:

(1) 原始苦卤用淡水冲稀后得到稀释苦卤;

(2) 原始苦卤体积为 V_1 (L)、密度为 d_1 (kg/L), 其中盐的总重量为 G (kg), 盐的浓度为 a_1 。稀释苦卤体积为 V_2 (L)、密度为 d_2 (kg/L), 其中盐的总重量为 G (kg), 盐的浓度为 a_2 , 由此可得:

$$V_1 d_1 - W_1 = V_2 d_2 - W_2 = G$$

(其中 W_1 、 W_2 分别为两种状态下苦卤中纯水的重量)

引入辅助值 β , $\beta = V - W$ 。因为溶液体积的数值一定大于溶液中纯水重量的数值, 所以 $\beta > 0$ 。

将 $W = V - \beta$ 代入上式, 整理后得

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot (d_1 - 1) + \beta_1 - \beta_2}{d_2 - 1} \quad (1)$$

冲稀倍数的增大使 W/V 值逐渐趋近于 1, β 值就相应趋近于 0, 因此可以判定 $0 < \beta_2 < \beta_1$, 再有 $d_2 - 1 >$

0, 所以 $\frac{\beta_1 - \beta_2}{d_2 - 1} > 0$ 。

在误差允许范围内将盐溶解于纯水后引起的体积的变化忽略不计, 即 $\beta_1 = \beta_2 = 0$, 那么(1)式可记为:

$$V_2 = \frac{V_1(d_1 - 1)}{d_2 - 1} \quad (2)$$

收稿日期: 1996 年 1 月 30 日

将 $d = \frac{144.3}{144.3 - \text{Be}}$ 代入其中, 得

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{\text{Be}_1(144.3 - \text{Be}_2)}{\text{Be}_2(144.3 - \text{Be}_1)} \quad (3)$$

(3)式表明了溶液冲稀前后各自的体积与波美度之间的关系。为了验证该公式的正确性, 作者做了以下验证:

表 1 证实试验测试数据

原始苦卤体积 $V_1(\text{ml})$	稀释比	稀释后 体积 $V'(\text{ml})$	波美度 Be'_2	稀释体积理论值 $V_2(\text{ml})$	$\frac{V_2 - V'}{V'}$	修正值 $V_2(\text{ml})$
200.0	0	200.0	31.19	200.0	0	200.0
	2.5%	205	30.68	204.24	- 0.37%	204.76
	5.0%	210	30.13	208.98	- 0.49%	210.09
	7.5%	215	29.67	213.07	- 0.90%	214.70
	10.0%	220	29.19	217.48	- 1.15%	219.68
150.0	20.0%	240	27.40	235.29	- 1.96%	239.83
	30.0%	195	25.83	189.71	- 2.71%	194.93
100.0	40.0%	210	24.71	200.18	- 4.68%	206.88
	90.0%	190	19.11	180.64	- 4.93%	192.25
	150.0%	250	15.34	231.82	- 7.27%	251.77

表 2 不同波美度海水中各主要盐分的浓度

波美度 Be'	盐分浓度(g/L)						
	NaCl	MgCl ₂	MgSO ₄	CaSO ₄	K ₂ SO ₄	CaCO ₃	MgBr ₂
3.5 ¹⁾	27.889	3.902	1.699	1.291	0.884	0.126	0.078
3.3	26.258	3.673	1.600	1.216	0.833	0.119	0.073
3.1	24.632	3.446	1.501	1.141	0.781	0.111	0.069
2.9	23.010	3.219	1.402	1.065	0.730	0.104	0.064
2.7	21.393	2.993	1.303	0.991	0.678	0.097	0.060
2.5	19.781	2.767	1.205	0.916	0.627	0.089	0.055
2.3	18.172	2.542	1.107	0.841	0.576	0.082	0.051
2.1	16.569	2.318	1.009	0.767	0.525	0.075	0.046
1.9	14.970	2.094	0.912	0.693	0.475	0.068	0.042
1.7	13.375	1.871	0.815	0.619	0.424	0.060	0.037
1.5	11.785	1.649	0.718	0.546	0.374	0.053	0.033
1.3	10.200	1.427	0.621	0.472	0.323	0.046	0.028
1.1	8.618	1.206	0.525	0.399	0.273	0.039	0.024
0.9	7.042	0.985	0.429	0.326	0.223	0.032	0.020
0.7	5.469	0.765	0.333	0.253	0.173	0.025	0.015
0.5	3.901	0.546	0.238	0.181	0.124	0.018	0.011
0.3	2.337	0.327	0.142	0.108	0.074	0.011	0.007

1) 3.5°Be'时各成分浓度数值摘自《制盐工业手册》(中国轻工业出版社, 1994年出版)。

较, 填入表 1。

2 实验

2.1 仪器 250ml 量筒; 7 支 0~ 35°C Be'精密波美计(浙江余姚比重计厂生产)。

2.2 溶液 31.19°Be'苦卤(15°C)。自来水(静置过夜)。

2.3 实验步骤 用自来水按不同稀释比将原始苦卤稀释至 V' 后测其波美度, 然后代入(3)式计算出稀释苦卤的理论体积 V_2 , 再与实际稀释体积 V' 相比

3 结果及讨论

3.1 表 1 中 V' 值与 V_2 值具有较好的重合性。稀释比在 0~ 90% 范围内 V_2 的相对误差仅为 0~ 5%。

3.2 V_2 值恒小于 V' 值说明存在系统误差, 这是因为 V_2 、 V' 的理论表达式分别为(2)式和(1)式, 而(2)式比(1)式少 $(\frac{\beta_1 - \beta_2}{d_2 - 1})$ 项, 由于 $\frac{\beta_1 - \beta_2}{d_2 - 1} > 0$, 所以 V_2 值

小于 V' 值, 两者关系为 $V' = V_2 + \frac{\beta_1 - \beta_2}{d_2 - 1}$ ①。为了缩小 V_2 值的误差, 所以将(3)式修正为:

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot \text{Be}_1(144.3 - \text{Be}_2)}{\text{Be}_2(144.3 - \text{Be}_1)} \cdot \left[\frac{200}{200 - (\text{Be}_1 - \text{Be}_2)} \right]$$

3.3 通过推算可知, 稀释比在 0~150% 之间时, 辅助值 β 的变化幅度只有 0~2.18%, 在稀释比不大的情况下, 可视 $\beta_1 \approx \beta_2$, 这样将(1)式中的 $(\frac{\beta_1 - \beta_2}{d_2 - 1})$ 项忽略不计就可理解了。

由假设 2 得:

$$a_1 \cdot V_1 = a_2 \cdot V_2$$

将之代入(3)式得:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{\text{Be}_2(144.3 - \text{Be}_1)}{\text{Be}_1(144.3 - \text{Be}_2)} \quad (4)$$

前文的两个假设对海水、卤水同样适用, 所以(4)式就是关于海水、卤水、苦卤冲稀前后盐份的浓度与波美度的定量计算公式。同理可以修正为:

$$A_2 = \frac{a_1 \cdot \text{Be}_2 \cdot (144.3 - \text{Be}_1)}{\text{Be}_1(144.3 - \text{Be}_2)} \cdot \left[\frac{200 - (\text{Be}_1 - \text{Be}_2)}{200} \right]$$

运用(4)式就可以直接计算出不同波美度的海水中主要盐份的浓度。海水中总的盐量虽然因客观条件的变化而有所不同, 但其主要成份的比值却几乎保持恒定, 那么总盐量与各主要盐分之间的比值也相对保

持有恒定关系。因此借助公式(4)就可以得表 2, 此表为调配人工海水培育海洋生物的有关部门带来很大方便。同时使不同波美度海水中的各盐分浓度具有了统一的可比性。

4 小结

海水、卤水、苦卤冲稀前后 6 个量 a_1 、 Be_1 、 V_1 、 a_2 、 Be_2 、 V_2 中只要知道其中的 4 个, 综合利用(3)式和(4)式就可以求出未知的两个量, 这就为利用波美计这种简单、快捷、易掌握的测量工具现场测量海水、卤水、苦卤中某盐分的浓度提供了理论依据。

推而广之, (3)式和(4)式也适用于:

(1) 任何溶液的稀释。当 $d < 1$ 时, V_2 值恒大于 V' 值。

(2) 溶液浓缩至饱和之前的任意阶段。浓缩是稀释的逆过程, 本质都是单位体积内分子或离子的量随着溶剂的量的改变而改变。

① $(\frac{\beta_1 - \beta_2}{d_2 - 1})$ 值可准确计算, 但本文不予推算。