

长江口海水的密度*

陈国华 †胡博路 张力军 季荣 ††金建成

(青岛海洋大学化学系, 青岛 266003)

提要 为了核对 1980 年国际海水状态方程应用于中国近岸海水的可靠性, 高精度的磁力浮沉子密度计在 15—25℃, 盐度 5—35, 一个大气压条件下, 测量了长江口附近海水及其人工稀释海水的相对密度。结果表明, 海水密度直接测量值系统地偏高于状态方程计算值, 二者之间的偏差随水样盐度值降低而增大, 且与海水 $[Ca^{2+}]/s$ 比值成明显正相关关系。经计算机拟合, 导出了长江口附近海水及其稀释海水的状态方程, 该方程计算值与实验值的平均标准偏差为 $\pm 3.9 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ 。

关键词 长江口 海水密度 国际海水状态方程

由联合国教科文组织海洋学常用表和标准联合专家小组 (JPOTS) 确立的 1980 年国际海水状态方程和 1978 年实用盐标, 已在 1982 年 1 月 1 日起在全世界正式使用^[6,14]。该方程能比较准确的适用于那些与标准海水的离子组成相近的大洋表层海水。对于一些封闭和半封闭近岸海区河口地区海水, 由于海水的主要离子组成往往与标准海水有较明显的差异, 实际测定的海水密度与用该方程计算的海水密度会出现较大的误差^[14]。

世界一些主要河口地区的海水密度与盐度氯度及温度的关系已有不少报道^[6,9,10,12,13], 但对中国近岸海水这方面的研究报道甚少^[2]。本文报道了使用磁力浮沉子法测量溶液密度装置^[3]对长江口外一个断面的海水密度的测定结果及其与盐度、温度的关系的研究, 这对于了解 1980 年国际海水状态方程对中国近岸海水适用情况, 开展我国近岸海水物理海洋学与海洋化学研究有重要的实际意义。

一、实验部分

1. 水样来源

实验用海水样品取自长江口外一个断面的表层海水, 采水站位参见表 1 和图 1。于 1988 年 5 月 (枯水期) 和 8 月 (丰水期) 两次共采集 17 个水样, 密闭贮存在聚乙烯桶中带回青岛。实验前用 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜减压抽滤, 转移到 3L 容积的硬质玻璃小口试剂瓶中, 瓶口有橡皮塞, 塞上有细玻璃导管可引出海水进行密度和盐度的测定。此外, 还在 1989 年 2 月从长江芜湖段采取 15L 长江水, 用它与长江口外海水混合制备低盐稀释水样品 7 个, 也用 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后贮存在 3L 的硬质玻璃小口试剂瓶中。

* 国家自然科学基金资助, 4880238 号。山东大学化学系王集斗, 青岛海洋大学化学系祝召功技师精心吹制浮沉子及其容器, 中国科学院海洋研究所周仲怀、马锡年研究员提供高纯离子交换水, 均此一并致谢。

† 胡博路现在青岛大学化学系。

†† 金建成工程师在国家海洋局东海分局宁波海洋调查队工作。

接受日期: 1991 年 9 月 10 日。

表 1 采水记录

Tab. 1 Sampling record

站号	站 位 坐 标 N E	水层	水 深 (m)	水温(°C)	采 水 时 间 (年.月.日 时:分)
4032	32°00' 122°30'	表	21.6	15.07	1988.5.18 21:14
4033	32°00' 123°01'	表	29.0	15.98	1988.5.18 23:38
4034	32°01' 123°30'	表	38.0	14.38	1988.5.19 1:55
4035	32°00' 124°00'	表	40.0	13.85	1988.5.19 4:05
4036	32°00' 124°30'	表	38.0	13.76	1988.5.19 5:52
4038	32°00' 152°31'	表	63.0	15.57	1988.5.19 9:15
4039	32°00' 126°00'	表	78.0	18.12	1988.5.19 11:30
4040	32°01' 126°30'	表	98.0	18.15	1988.5.19 13:50
4041	32°00' 126°59'	表	98.0	19.38	1988.5.19 15:54
4032	32°00' 122°32'	表	28.0	25.31	1988.8.21 19:54
4033	32°00' 123°00'	表	37.0	25.26	1988.8.21 17:50
4034	32°00' 123°30'	表	39.0	25.80	1988.8.21 15:43
4036	32°00' 124°30'	表	35.0	25.87	1988.8.21 11:45
4038	32°00' 125°30'	表	64.0	27.29	1988.8.21 7:32
4039	32°00' 126°00'	表	80.0	28.01	1988.8.21 4:59
4040	32°00' 126°30'	表	95.0	28.12	1988.8.21 2:45
4041	32°00' 126°59'	表	119.0	28.55	1988.8.21 0:30

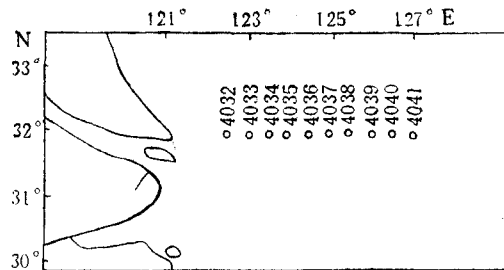


图 1 长江口采水站位

Fig. 1 Sampling stations in the Changjiang River estuary

2. 海水样品盐度和密度的测定

海水样品的盐度用 WDA 相对电导率仪测定^[1], 以国际标准海水 P105 的相对电导率值为标准校准仪器, 测量盐度准确度为 ± 0.001 , 测定结果已列于表 3 中。

海水密度使用磁力浮沉子法测量^[3], 精密度的 $\pm 3.5 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$, 准确度为 $\pm 3.8 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ 。该装置用二次去离子水作为纯水标准进行校准, 该水为一般去离子水再经 Millipore Super Q 型离子交换器处理, 所得离子交换水在 18°C 时电阻率为 18M Ω , 经国家海洋局第一海洋研究所的 MAT 251 型质谱仪, 以 SMOW (Standard Mean Ocean Water)^[7] 纯水的同位素比值为标准, 用 CO₂/H₂O 平衡法测得 $\delta^{18}\text{O}\text{‰} = -7.45$, 根据文献^[11]所列公式算得我们所用的基准纯水密度比 SMOW 纯水密度值偏低 $2.77 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$, 因此我们的纯水密度在 25°C 时取值为 997.04519kg/m³^[5,7,14]。该装置经纯水密度

校准后,按下式求算海水样品密度:

$$d_s = \frac{W_s + fi_s + \bar{W}}{V + \frac{W_s}{d_{Pt}}} \quad (1)$$

式中, \bar{W} 为浮沉子在真空中的重量; V 为浮沉子体积; W_s 为辅助调节浮沉子平衡而在浮沉子平底部加的铂丝砝码重量; d_{Pt} 为其密度值; i_s 为浮沉子平衡电流的平均值; f 为仪器常数。计算海水密度所用各常数数值列于表 2 中。

表 2 计算海水密度公式(1)所用常数数值

Tab. 2 Constants for equation (1)

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	f (g/A)	\bar{W} (g)	V (ml)	d_{Pt} (g/ml)
25.004	1.105 3	27.727 5	28.659 584	21.482 6
20.007	1.105 3	27.727 5	28.657 823	21.485 4
15.011	1.105 3	27.727 5	28.656 06	21.488 3

在 15.011 $^{\circ}\text{C}$, 20.007 $^{\circ}\text{C}$ 和 25.004 $^{\circ}\text{C}$ 三个温度条件下,对水样进行了测量,测量结果列于表 3 中。表中 Δd_0 为实验测量的海水密度 (d_s) 与 SMOW 纯水密度值 (d_w) 之差, Δ 为实测的海水密度值与已知盐度和温度根据 1980 年国际海水状态方程计算的海水密度值之间的偏差。图 2 为该偏差对海水盐度的关系曲线。

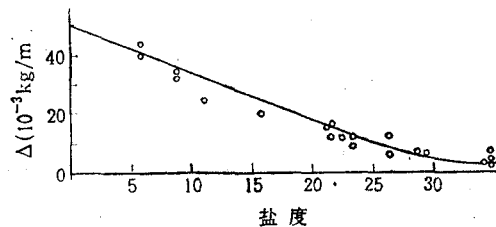


图 2 海水密度测量值与计算值之间的偏差同海水盐度之间的关系

Fig. 2 Relationship between salinity and average difference of d_s measured and d_n calculated

3. 海水样品主要离子浓度的测定

用硫酸钡沉淀重量法测定水样的 SO_4^{2-} 浓度,用 EDTA 络合滴定法测定水样的 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 浓度,结果列于表 4。用 ICP 等离子光谱仪测定水样的 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ 和 Sr^{2+} 等浓度,结果列于表 5^[4]。

二、讨 论

三个温度条件下的枯水期和丰水期海水样品密度实测值同按国际海水状态方程计算值之间的偏差与温度的相关关系不明显,说明长江口海水的膨胀系数与大洋水相近。9个

表3 长江口海水密度测量值与计算值

Tab. 3 Measured and calculated density (d_s and d_n) of sea water in the Changjiang River estuary

站号	盐度 (s)	$\Delta d_0 = d_s - d_w$ (kg/m ³)			$\Delta = d_s - d_n$ (10 ³ kg/m ³)			
		15.011°C	20.007°C	25.004°C	15.011°C	20.007°C	25.004°C	
枯水期	4032	31.114	23.883 ₉	23.603 ₃	23.370 ₇	7.3	8.3	9.5
	4033	30.223	23.199 ₁	22.926 ₀	22.699 ₂	8.1	9.1	9.8
	4034	30.098	24.642 ₀	24.354 ₂	24.113 ₅	7.8	9.9	10
	4035	32.957	25.300 ₀	25.006 ₄	24.759 ₉	4.2	7.7	8.1
	4036	32.798	25.180 ₇	24.885 ₂	24.640 ₇	7.4	7.7	8.9
	4038	32.477	24.930 ₆	24.640 ₈	24.398 ₃	4.6	7.8	8.8
	4039	34.334	26.356 ₂	26.053 ₀	25.795 ₅	-0.7	4.7	3.9
	4040	34.692	26.635 ₂	26.326 ₂	26.064 ₈	2.3	4.8	2.6
	4041	34.453	26.454 ₄	26.147 ₂	25.884 ₀	5.7	8.1	2.4
丰水期	4032	30.530	23.433 ₈	23.159 ₅	22.930 ₁	6.6	9.0	9.2
	4033	31.223	23.968 ₆	23.686 ₆	23.543 ₄	8.1	8.6	10.0
	4034	31.157	23.914 ₈	23.638 ₅	23.403 ₅	5.1	10.7	9.9
	4036	31.149	23.910 ₉	23.630 ₉	23.397 ₆	7.3	9.2	10.0
	4038	31.195	23.945 ₆	23.665 ₄	23.432 ₃	6.6	8.7	10.0
	4039	29.700	22.797 ₀	22.529 ₆	22.306 ₆	8.4	10.6	11.3
	4040	30.952	23.757 ₀	23.478 ₉	23.249 ₆	5.1	7.2	10.6
	4041	32.873	25.232 ₇	24.939 ₁	24.695 ₁	1.6	4.4	6.7
稀释长江口海水	1	25.929	19.896 ₃	19.662 ₄	19.468 ₅	6.1	9.6	12.3
	2	22.751	17.460 ₃	17.253 ₂	17.080 ₄	9.4	12.3	13.0
	3	20.991	16.112 ₈	15.921 ₂	15.761 ₈	11.7	14.7	16.0
	4	15.552	11.951 ₇	11.806 ₄	11.685 ₄	18.2	19.3	18.7
	5	10.641	8.200 ₈	8.097 ₉	8.013 ₅	27.8	26.7	25.7
	6	8.141	6.290 ₃	6.212 ₆	6.149 ₆	32.1	33.0	34.3
	7	5.376	4.177 ₅	4.126 ₅	4.086 ₆	38.9	40.4	43.4
芜湖长江水	0.134	0.148 ₂	0.155 ₃	0.146 ₃	44.2	52.7	44.8	

表4 化学分析法测定海水中离子浓度

Tab. 4 Contents of several ions of seawater samples analyzed by chemical method

水样	盐度(s)	[SO ₄ ²⁻] (×10 ⁻³)	[SO ₄ ²⁻]/s	[Ca ²⁺] (×10 ⁻³)	[Ca ²⁺]/s	[Mg ²⁺] (×10 ⁻³)	[Mg ²⁺]/s	pH ^{a)}
副标准海水	35.111	2.699	0.07686	0.4115	0.01172	1.310	0.03731	7.40
丰4041	32.873	2.532	0.07702	0.3856	0.01173	1.230	0.03742	7.34
丰4040	30.952	2.379	0.07686	0.3659	0.01182	1.156	0.03735	7.19
丰4033	31.223	2.405	0.07703	0.3712	0.01189	1.170	0.03747	7.11
丰4032	30.530	2.361	0.07733	0.3626	0.01188	1.145	0.03750	7.62
枯4041	33.729	2.593	0.07687	0.3953	0.01172	1.262	0.03741	7.60
枯4040	34.692	2.662	0.07676	0.4068	0.01173	1.295	0.03733	7.67
枯4033	30.223	2.337	0.07702	0.3633	0.01202	1.136	0.03758	7.40

a) 在聚乙烯桶中贮存后海水 pH 值有明显降低。

表 5 ICP 等离子光谱仪测定海水中离子浓度

Tab. 5 Contents of several major ions of sea water samples analyzed by ICP

水 样	盐度 (s)	[Mg ²⁺] (×10 ⁻³)	[Ca ²⁺] (×10 ⁻³)	[Na ⁺] (×10 ⁻³)	[Sr ²⁺] (×10 ⁻³)	[K ⁺] (×10 ⁻³)
枯4033	30.223	1.101	0.3590	8.922	0.00686	0.297
枯4040	34.692	1.272	0.4114	10.751	0.00781	0.354
枯4041	34.453	1.218	0.3955	10.181	0.00761	0.333
中国标准海水	34.992	1.194	0.3906	10.520	0.00751	0.360
芜湖长江水	0.134	0.00735	0.0348	0.00503	0.00079	0.00077

水 样	[Ca ²⁺]/s	[Mg ²⁺]/s	[Na ⁺]/s	[K ⁺]/s	[Sr ²⁺]/s
枯4033	0.01188	0.03643	0.2952	0.00983	2.27×10 ⁻⁴
枯4040	0.01186	0.03667	0.3099	0.01020	2.25×10 ⁻⁴
枯4041	0.01148	0.03535	0.2955	0.00967	2.26×10 ⁻⁴
中国标准海水	0.01116	0.03412	0.3006	0.01029	2.15×10 ⁻⁴
芜湖长江水	0.2597	0.0549	0.0375	0.00575	0.0059

枯水期水样 27 次测定, 实测值与计算值之间的偏差平均值为 $(6.7 \pm 2.6) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$; 8 个丰水期水样 24 次测定, 平均偏差为 $(8.1 \pm 2.3) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$, 比枯水期值略有增加。在枯水期各站位海水的盐度变化大, 而在丰水期各站位海水明显被长江水冲淡, 其盐度变化不明显。由图 2 看出, 在盐度值 25—35 之间, 密度实测值与计算值之间的偏差随盐度变化较小, 而在盐度 25 以下, 偏差值明显随盐度降低而增加, 芜湖长江水盐度为 0.134, 偏差值达到 $47.2 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ 。

由表 5 数据看出, 长江水离子组成与长江口外海水明显不同, 其中以 $[\text{Ca}^{2+}]/s$ 的值相差最大, 长江水的 $[\text{Ca}^{2+}]/s$ 值为 0.2597, 比长江口外海水高 22 倍。按表 4, 7 个长江口外海水, 在盐度 30—34.7 之间测得 $[\text{Mg}^{2+}]/s$ 值, 平均为 $0.03743 \pm 8.1 \times 10^{-5}$; $[\text{Ca}^{2+}]/s$ 平均值为 $0.01183 \pm 1.0 \times 10^{-4}$; $[\text{SO}_4^{2-}]/s$ 平均值为 $0.07698 \pm 1.7 \times 10^{-4}$; $[\text{Sr}^{2+}]/s$ 平均值为 $2.26 \times 10^{-4} \pm 1.0 \times 10^{-6}$ 。而大洋水中这些值分别为 $0.03704 \pm 2 \times 10^{-5}$, $0.01177-0.01178$, $0.07750 \pm 1.1 \times 10^{-4}$, $2.26 \times 10^{-4[4]}$ 。以 $[\text{Ca}^{2+}]/s$ 对盐度作图(图 3a), 可见在盐度值低于 33 时变化明显, 此时主要是长江水的影响。以丰水期的 4 个水样的 $[\text{Ca}^{2+}]/s$ 对实测密度与计算密度的偏差值作图(图 3b), 可见两者呈明显直线相关, 这种变化趋势与波罗的海、哥伦比亚河口和 St. Lawrence 河口得到的规律非常相似^[9,12,13]。

由于 1980 年的国际海水状态方程不能准确适用于长江口海水, 为了今后计算方便, 我们已对实验测定结果用计算机进行拟合, 对拟合方程可能的形式进行尝试(整数与半整数方次), 最后选择如下公式:

$$d - d_w = B_1 s^{1/2} + B_2 s + B_3 s^{3/2} + B_4 s^2 \quad (2)$$

式中, d_w 为 SMOW 纯水的密度值^[5,7]。

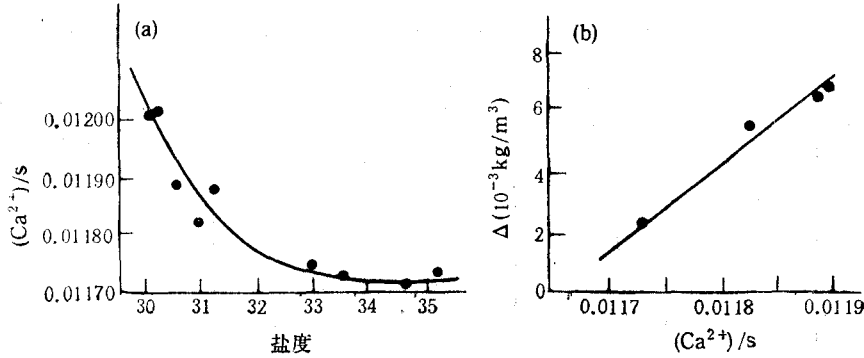


图3 长江口外海水 $[Ca^{2+}]/s$ 与盐度 (a) 及密度偏差 Δ (b) 的关系

Fig. 3 $[Ca^{2+}]/s$ of sea water versus salinity (a) or average difference of density (b) in the Changjiang River estuary

$$d_w = 999.842594 + 6.793952 \times 10^{-2}t - 9.095290 \times 10^{-3}t^2 + 1.001685 \times 10^{-4}t^3 - 1.120083 \times 10^{-6}t^4 + 6.536332 \times 10^{-9}t^5$$

$$B_1 = -0.07018763 + 2.358058 \times 10^{-2}t - 9.816499 \times 10^{-4}t^2 + 2.909451 \times 10^{-5}t^3 - 5.145927 \times 10^{-7}t^4$$

$$B_2 = 0.6897096 + 1.234062 \times 10^{-2}t - 1.156184 \times 10^{-3}t^2 + 2.243322 \times 10^{-6}t^3 + 7.683595 \times 10^{-8}t^4$$

$$B_3 = 3.379665 \times 10^{-3} + 1.335356 \times 10^{-4}t + 1.941641 \times 10^{-5}t^2 + 2.459122 \times 10^{-6}t^3 - 1.002083 \times 10^{-7}t^4$$

$$B_4 = -2.287495 \times 10^{-4} + 1.893682 \times 10^{-5}t - 3.225756 \times 10^{-6}t^2 - 1.219577 \times 10^{-7}t^3 + 6.508086 \times 10^{-9}t^4$$

该拟合方程计算的海水密度值与实验值结果比较,在 25°C, 20°C 和 15°C 时标准偏差分别为 $\pm 2.6 \times 10^{-3}$, $\pm 3.9 \times 10^{-3}$, $\pm 3.3 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ 。

我们将文献[2]长江口海水氯度值按我们对大量中国标准海水盐度与氯度经验关系 $s = 1.8063Cl$ 换算为盐度,代入公式(2)计算海水密度,与用比重瓶法测定结果比较(平均标准偏差为 $\pm 13 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$)在比重瓶法实验误差以内。

由于长江水的 $[Ca^{2+}]/s$ 与 $[Mg^{2+}]/s$ 值比大洋水高,受其影响的长江口外海水的 $[Ca^{2+}]/s$ 和 $[Mg^{2+}]/s$ 增加了,因此相对密度值增加,故出现实测海水密度值高于按国际海水状态方程计算的密度值。愈接近河口的海水,含江河水比例大,盐度低,这种偏差也愈大。这种规律在我们对黄河口海水密度的研究中也得到了证实。

由于长江口外海水主要由流量巨大的长江水与大洋水混合形成,江、海水主要组成恒定,两者混合过程中主要离子行为又具有保守的性质^[10,13],因此预计长江口外海水的密度与盐度、氯度及温度的关系应有相对稳定性,公式(2)与文献[2]的结果基本吻合就是一个例证。

三、结 论

1. 用磁力浮沉子法测量溶液密度装置对长江口外一个断面的表层海水丰水期和枯水期水样密度的测定结果发现: 海水密度测定值与由1980年国际海水状态方程计算的密度值之间有明显系统的正偏差, 9个枯水期水样平均偏高 $(6.3 \pm 2.3) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$, 8个丰水期水样平均偏高 $(8.1 \pm 2.3) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$; 这种正偏差与海水盐度值明显相关, 随海水盐度值降低, 正偏差明显增大, 芜湖长江水密度的正偏差达到最大(平均为 $47.2 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$)。

2. 长江口海水密度正偏差与海水的 $[\text{Ca}^{2+}]/s$ 值明显相关, 随盐度降低, 稀释度增大, $[\text{Ca}^{2+}]/s$ 值增大, 此密度正偏差也愈大。说明长江口海水中主要是单位盐度海水中钙含量比标准海水升高了, 因此其密度也增大, 呈现了海水密度系统正偏差。

3. 根据海水密度的实验测定结果, 用计算机拟合得出长江口外海水的状态方程: $d - d_w = B_1 s^{1/2} + B_2 s + B_3 s^{3/2} + B_4 s^2$, 式中 B 为温度的函数。用该方程计算的海水密度与实测值平均标准偏差小于 $\pm 3.9 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ 。

参 考 文 献

- [1] 陈国华、吴葆仁, 1989, WDA型相对电导率仪, 海洋化学论文集, 海洋出版社, 71—82。
- [2] 闵学颀、陈国华等, 1980, 长江口海水比重的直接测定, 海洋学报, 2(4): 86—91。
- [3] 陈国华等, 1992, 大气压下磁力浮沉子法测量中国标准海水的密度。青岛海洋大学学报, 22(3): 23—34。
- [4] 赖利, J. P., 斯基罗, G., 1974, 化学海洋学, Vol. 1, 刘光等译, 1982年, 海洋出版社, 446—451。
- [5] Bigg, P. H., 1967, Density of water in S. I. units over the range 0—40°C, *British J. Appl. Phys.*, 18: 521—537.
- [6] Brwer, P. G. and Bradshaw, A. B., 1975, The effect of the nonideal composition of seawater on salinity and density, *J. Mar. Res.*, 33:157—175.
- [7] Cox, R. A. et al., 1968, Pure water for relative density standard, *Deep-Sea Res.*, 15(3): 319—325.
- [8] Millero, F. J. and Poisson, A., 1981, International one atmosphere equation of state of seawater, *Deep-Sea Res.*, 28(6A): 625—629.
- [9] Millero, F. J. and Kremling, K., 1976, The density of Baltic seawater, *Deep-Sea Res.*, 23(12): 1129—1138.
- [10] Millero, F. J. et al. 1976, The density of artificial river and estuarine water, *J. Geophys. Res.*, 81:1177—1179.
- [11] Millero, F. J. and Emmet, R. T., 1976, The effect of dissolved air and natural isotopic distributions on the density of water, *J. Mar. Res.*, 34:15—24.
- [12] Park, K., 1966, Columbia river plume identification by specific alkalinity, *Limn. Oceanogr.*, 11(1): 118—120.
- [13] Poisson, A. et al., 1980, Influence of local variations in the ionic ratios on the density of seawater in the St. Lawrence area, *Deep-Sea Res.*, 27(10A): 763—781.
- [14] UNESCO, 1981, Tenth report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standard, *UNESCO Tech Paper in Mar. Sci.*, 36:17—21.

DENSITY OF CHANGJIANG RIVER ESTUARY SEAWATER

Chen Guohua, Hu Bolu, Zhang Lijun, Ji Rong and Jin Jiancheng

(Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)

ABSTRACT

In order to check the validity of the International Equation of State of Seawater, 1980 (UNESCO Equation), in its application to Chinese coastal waters, we have measured the relative density of seawater from the estuary of Changjiang River and seawater solutions diluted with the Changjiang River water at one atmosphere from 5—35 salinity and 15—25°C with a high precision magnetic float densimeter designed by us. The average standard deviation of measurement values was $\pm 2.3 \times 10^{-3}$ kg/m³. The statistical results have shown that for all samples from the estuary of Changjiang River, the measured density with our densimeter was always higher than the density calculated by the UNESCO Equation, the average difference, for seawater samples taken in dryseason and floodseason, being $(6.3 \pm 2.3) \times 10^{-3}$ kg/m³ and $(8.1 \pm 2.3) \times 10^{-3}$ kg/m³, respectively. The average difference between the measured and calculated densities increased with decreased salinity and reached 47.2×10^{-3} kg/m³ (Changjiang River water). We have also found linear correlation relationships between this average difference and [Ca²⁺]/s value. Our experimental average value of [Ca²⁺]/s, [SO²⁻]/s, [Mg²⁺]/s and [Sr²⁺]/s was $0.01183 \pm 1.0 \times 10^{-4}$, $0.07698 \pm 1.7 \times 10^{-4}$, $0.03743 \pm 8.1 \times 10^{-5}$ and 2.26×10^{-4} , respectively, at the salinities of samples range from 30 to 35. The experimental value of [Ca²⁺]/s for the Wuhu section of Changjiang River was 0.2597. The resulting densities of all samples have been fitted to an equation of the form: $d - d_w = B_1s^{1/2} + B_2s + B_3s^{3/2} + B_4s^2$, where d_w is the density of SMOW and B_1, B_2, B_3, B_4 are temperature dependent parameters. The average standard deviation between calculated densities of this equation and experimental value was $\pm 3.9 \times 10^{-3}$ kg/m³.

Key words Changjiang River estuary, Density of seawater, International Equation of State of Seawater.