

# 黄河口及渤海湾海水的密度\*

陈国华 季荣 谢式南 张力军

(青岛海洋大学海洋化学系 266003)

**提要** 用磁力浮沉子法溶液密度测量装置,在 15—25℃ 之间的三个温度下测定了黄河口渤海湾 36 个站位海水样品(于 1989 年 7 月和 1990 年 7 月采集)的密度,发现所有实验测定值与根据其盐度和温度由 1980 年国际海水状态方程的计算值比较,均有明显的正偏差,此正偏差随海水盐度降低而增大。在黄河口渤海湾海水样品全部盐度范围内,已发现其海水密度正偏差与海水  $[Ca^{2+}]/s$ ,  $[Mg^{2+}]/s$ ,  $[SO_4^{2-}]/s$  之间呈指数曲线相关,而与碱度之间呈 S 形曲线相关,但在盐度 25.72—31.57 范围内都可近似看作直线相关。黄河口渤海湾海水的高碱度、高  $[Ca^{2+}]/s$  为其特征,这也是其密度正偏差的主要影响因素。本文还给出了计算黄河口及渤海湾海水密度的公式。

**关键词** 黄河口 渤海湾 海水密度 离子比

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(Unesco, 1981)。近 20 年来对世界各主要大洋及一些典型海区海水的密度与盐度、温度关系的大量研究表明:现有的海水状态方程只适用于那些与大洋表层海水或标准海水组成相近的海水,而对一些海水主要离子组成同大洋海水或标准海水有明显差异的封闭或半封闭的近岸海区和河口地区海水并不完全适用,往往出现不同程度的偏差(Brewer, P.G. et al., 1975; Millero, F. J. et al., 1976a; Millero, F. J. et al., 1976b; Millero, F. J., et al., 1976c; Poisson, A., 1980; 陈国华等, 1992a)。

作者已用新研制的精密的磁力浮沉子法溶液密度测量装置,测定研究了中国标准海水和长江口海水的密度与盐度及温度的关系(陈国华等, 1992a, 1992b)。本文报道对黄河口、渤海湾海水密度同盐度、温度关系的研究结果。

## 1 实验部分

**1.1 水样来源** 海水样品取自黄河口外及渤海湾,除了一个底层水样以外,其余皆为表层水样。采水站位参见表 1 和图 1,在 1989 年 7 月和 1990 年 7 月两次采水。样品密闭贮存在聚乙烯桶中带回,实验前用 0.45  $\mu m$  微孔滤膜减压抽滤,在与室内空气、温度充分平衡后,转移到 3L 的硬质玻璃小口试剂瓶中,瓶口配带有玻璃导管的橡皮塞。此外,在 1989 年 12 月从济南黄河大桥下采得黄河水 25L,与渤海湾外黄海水样混合配制 6 个

\* 国家自然科学基金资助项目,488023 号。

收稿日期:1991 年 5 月 10 日;接受日期:1992 年 3 月 15 日。

低盐度水样, 这些水样同样经过  $0.45\ \mu\text{m}$  滤膜过滤后保存在带玻璃导管橡皮塞的硬质玻璃小口瓶中待用。

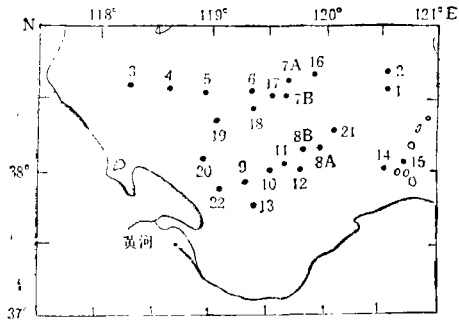


图1 采水站位图

Fig. 1 Sampling stations in the Huanghe Estuary and Bohai Bay

**1.2 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 (陈国华等, 1989), 以国际标准海水 P105 的相对电导率值为标准校准仪器, 该仪器测量海水盐度准确度为  $\pm 0.001$ , 测定结果已列于表 2 中。

海水密度的测量使用磁力浮沉子法溶液密度测量装置, 在研究长江口海水密度之后又改进了该装置 (陈国华等, 1992b), 测量密度的灵敏度和精密度分别为  $0.3 \times 10^{-3}\text{kg/m}^3$  和  $2 \times 10^{-3}\text{kg/m}^3$ ; 校正用离子交换水, 其密度值比 SMOW 密度值偏低  $2.77 \times 10^{-3}\text{kg/m}^3$  (陈国华等, 1992b)。

表 1 采水站位表

Tab. 1 Sampling stations in the Huanghe Estuary and Bohai Bay

水样号	采水时间 1990.7	站 N	位 E	水深 (m)	备注	水样号	采水时间 1989.7	站 N	位 E	水深 (m)	备注
1	4日 8:00	38°34'	120°33'	51	湾外	16	13日 17:15	38°42'	119°54'	27	底层
2	4日 10:00	38°40'	120°33'	30	湾口	17A	13日 20:00	38°30'	119°30'	27	
3	6日 14:00	38°33'	118°19'	17		17B	13日 20:10	38°30'	119°30'	27	
4	9日 8:30	38°32'	118°40'	23	晴	18	15日 5:40	38°24'	119°18'	24	
5	9日 9:40	38°32'	119°00'	23	晴	19	15日 6:53	38°18'	119°06'	22	
6	9日 10:50	38°32'	119°19'	25	晴	20	15日 8:10	38°12'	118°54'	12.5	
7B	9日 12:20	38°31'	119°39'	27		7A	13日 18:42	38°36'	119°42'	29	
8B	9日 15:00	38°15'	119°40'	23		8A	16日 17:33	38°18'	119°54'	23	
9B	9日 22:00	37°58'	119°20'	17		9A	16日 20:52	37°54'	119°18'	17	
10B	9日 22:55	38°00'	119°29'	20		10A	16日 19:55	38°00'	119°30'	20	
11B	10日 3:20	38°00'	119°39'	19	下大雨	11A	16日 18:45	38°06'	119°42'	21	
12	10日 4:00	38°00'	119°44'	20	下小雨	21	16日 16:23	38°18'	120°06'	27	
13B	11日 10:00	37°45'	119°20'	13	晴	13A	19日 8:30	37°42'	119°24'	14	
14	11日 17:30	38°02'	120°37'	22	长山岛	22	16日 22:00	37°48'	119°06'	13	
15	11日 18:00	38°01'	120°43'	27	长山岛外						

在进行溶液密度测量前, 每个样品都经预热然后注入浮沉子容器中, 盖紧塞子恒温 15—20min。恒温槽控温准确度  $\pm 0.02^\circ\text{C}$ , 控温灵敏度  $\pm 0.001^\circ\text{C}$  (Poisson, A. et al., 1980), 所用两支贝克曼温度计示值经国家海洋局标准计量站事先校准。调节浮沉子平衡用的铂丝砝码在 DT-100 型天平 (北京光学仪器厂出品) 上预先称量, 该天平经一等标准砝码事先校准。

全部海水样品在三个温度下的密度测量结果见表 2。

**1.3 钙、镁、硫酸根、碱度、pH 和氯度的测定** (Kremling, K., 1976) 海水中的钙用 EGTA 络合滴定法测定, GHA 为指示剂, 用硼酸盐缓冲液调节 pH (pH = 11.6), 用正丁醇将 GHA-Ca 萃取到有机相中选择滴定钙的含量。海水中碱土金属总量采用 EDTA 为滴定剂, 铬黑 T 为指示剂。硫酸根含量用 BaSO<sub>4</sub> 重量法测定, 碱度用 pH 电测法测定, pH 用 pH S-2 型酸度计测定, 氯度用银量法测定。

## 2 结果与讨论

表 2 中归纳了黄河口及渤海湾海水的密度、盐度、氯度、钙、镁、硫酸根、碱度和 pH 的测定结果。在 15.230℃, 19.890℃ 和 24.950℃ 下 36 个水样密度的测定值相对于 1980 年国际海水状态方程 (Unesco, 1981) 计算值的平均偏差基本相近, 分别为  $(46.8 \pm 49.2) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ ,  $(45.9 \pm 49.5) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$  和  $(46.6 \pm 49.2) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ , 偏差与温度无关。两次采水样偏差值也相近, 而且密度平均偏差的地理分布趋势在渤海湾的中部也基本相同 (图 2), 可见, 黄河在这两年内输入渤海湾的总溶解固体的量基本相近。X<sub>30</sub> 为渤海湾外北黄海水样, 其密度偏差  $2.1 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ , 属于正常大洋海水的性质, 1 号、2 号和 15 号水样在渤海湾口附近, 其密度的偏差值在  $(9-14) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$  之间, 这与胶州湾口水样密度平均偏差类似<sup>1)</sup>。渤海湾内包括黄河口附近采集水样的密度平均偏差值随盐度降低而增加, 越接近河口, 水样盐度越低, 其密度正偏差值也越大, 0 号水样为黄河水样, 其密度偏差值达最大值  $202.1 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ 。用各站位海水密度偏差的平均值对盐度作图, 发现在盐度大于 5 时, 它们之间有明显的线性关系 ( $5 < s < 31.5$ ), 图 3 表示了  $\Delta\rho$  与  $s$  的关系。经回归统计, 得出下列经验公式 (相关系数  $r = 0.999$ ):

$$\Delta\rho = 236.5 - 7.5514s \quad (1)$$

该规律与长江口海水以及国外的波罗的海, 哥伦比亚河口和 St. Lawrence 河口得到的规律非常相似 (陈国华等, 1992a; Millero, F. J. and Kremling, K., 1976; Poisson, A. et al., 1980), 但黄河口及渤海湾的海水密度的平均偏差及偏差随盐度变化的梯度比

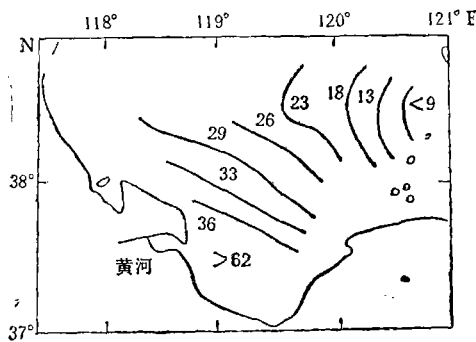


图 2 海水密度平均偏差  $\Delta\rho$  的平面分布图  
Fig. 2 The horizontal distribution of seawater density average differences ( $\Delta\rho$ )

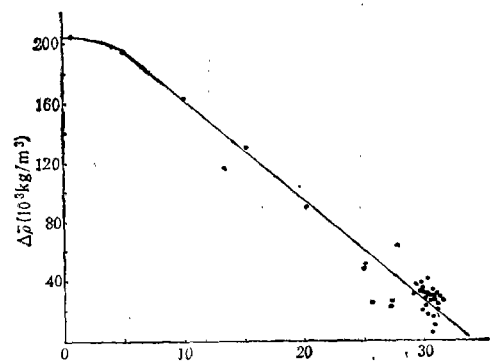


图 3 海水密度平均偏差 ( $\Delta\rho$ ) 与盐度 ( $s$ ) 的关系  
Fig. 3 The relationship between seawater density average differences ( $\Delta\rho$ ) and salinity ( $s$ )

1) 陈国华等, 胶州湾海水的密度, 海洋学报, 等发表。

表2 黄河口及渤海湾海水密度、

Tab. 2 The measured results of density, salinity, chlorinity and

水样号	盐度	氯度 (Cl)	(密度测量值-计算值) $10^{-3}\text{kg/m}^3$			
			15.230°C	19.890°C	24.950°C	平均
1	31.567	17.474	8.8	9.8	9.5	9.4
2	31.557	17.477	14.7	15.0	11.7	13.8
3	30.869	17.078	33.2	29.2	31.2	31.2
4	30.839	17.080	29.8	27.9	30.5	29.4
5	30.904	17.099	28.1	22.7	25.6	25.5
6	30.798	17.036	27.1	23.7	24.7	25.2
7A	30.614	16.947	26.0	23.4	31.6	27.0
7B	30.862	17.082	23.6	22.3	24.0	23.3
8A	30.427	16.843	29.9	22.5	25.8	26.1
8B	29.154	16.131	27.9	30.6	29.3	29.3
9A	29.399	16.266	32.0	35.0	40.1	35.7
9B	30.175	16.710	29.1	26.5	32.9	29.5
10A	29.685	16.426	33.5	32.5	31.6	32.5
10B	30.359	16.807	28.5	29.0	26.2	27.9
11A	30.371	16.810	30.6	27.8	27.1	28.5
11B	27.514	15.214	23.0	19.8	23.4	22.1
12	25.723	14.218	26.8	24.3	20.0	23.7
13A	27.941	15.442	59.8	59.4	66.7	62.0
13B	13.329	7.332	111.3	114.7	116.1	114.0
14	29.984	16.595	17.1	16.6	20.8	18.2
15	30.456	16.869	12.2	9.7	17.8	13.2
16	30.806	17.052	20.5	21.9	26.1	22.8
17A	31.131	17.217	22.4	23.5	22.9	22.9
17B	31.457	17.406	18.9	17.5	14.5	17.0
18	31.062	17.185	25.1	20.9	29.7	25.2
19	30.908	17.099	30.6	31.7	31.8	31.4
20	30.365	16.807	37.3	39.8	35.2	37.4
21	30.351	16.797	20.0	22.2	23.5	21.9
22	29.488	16.340	35.1	33.0	29.4	32.5
0	0.422	0.091	202.5	203.1	200.7	202.1
X5	5.068	2.692	194.6	192.8	194.9	194.1
X10	10.077	5.513	161.8	160.0	162.5	161.4
X15	15.212	8.387	125.1	123.4	124.3	124.3
X20	20.135	11.135	89.9	91.4	84.7	88.7
X25	25.011	13.830	46.8	48.7	47.5	47.7
X30	30.537	16.918	1.6	1.5	3.2	2.1
G132	34.990	19.373	—	3.8	2.0	2.9
P110	34.9996	19.375	—	—	—	—
P105	34.995	19.373	—	1.4	-2.0	—

1—22 为站位海水；0 为自济南黄河大桥下取得的黄河水；X<sub>5</sub>—X<sub>25</sub> 为用 X<sub>30</sub> 与黄河水混合所得的稀释海水；国际标准海水。

## 盐度、氯度及离子浓度测量结果

content of ions on samples from the Huanghe Estuary and Bohai Bay

pH	[Ca <sup>2+</sup> ]/s	[Mg <sup>2+</sup> ]/s	[SO <sup>2-</sup> ]/s	Alk (meq/kg)	比碱度
7.94	0.012 0 2	0.037 21	0.077 60	2.289	0.1310
8.06	0.012 0 5	0.037 19	0.077 76	2.352	0.1348
8.28	0.012 0 4	0.037 14	—	2.569	0.1504
8.25	0.012 0 6	0.036 97	—	2.535	0.1484
5.05	0.012 0 5	0.036 98	—	2.521	0.1474
7.96	0.012 1 4	0.036 86	—	2.535	0.1488
7.97	0.011 9 5	0.037 0 4	—	2.491	0.1470
8.08	0.012 1 6	0.037 20	0.077 79	2.456	0.1438
7.92	0.012 0 6	0.036 92	—	2.501	0.1485
7.93	0.012 0 6	0.036 85	—	2.477	0.1536
7.83	0.012 1 8	0.037 0 2	—	2.463	0.1514
7.94	0.012 1 5	0.036 79	—	2.430	0.1454
7.56	0.012 2 7	0.037 33	0.077 87	2.527	0.1538
7.98	0.012 1 4	0.037 32	0.077 98	2.514	0.1496
7.65	0.012 1 6	0.036 96	—	2.495	0.1484
7.70	0.012 0 3	0.036 84	—	2.284	0.1501
8.10	0.012 1 6	0.037 30	0.078 30	2.218	0.1560
8.00	0.012 5 7	0.036 97	—	2.918	0.1890
7.98	0.015 0 7	0.037 53	0.082 16	2.741	0.3738
—	0.012 0 8	0.037 35	0.077 44	2.440	0.1470
8.04	0.011 9 6	0.037 81	—	2.360	0.1399
8.10	0.012 0 6	0.036 82	—	2.467	0.1447
7.91	0.012 0 7	0.037 0 1	—	2.497	0.1450
7.61	0.011 9 2	0.036 81	—	2.447	0.1406
7.79	0.012 0 3	0.036 87	—	2.589	0.1507
7.90	0.012 0 7	0.036 89	—	—	—
8.00	0.012 1 8	0.036 94	—	—	—
7.75	0.012 1 8	0.037 43	0.077 81	2.457	0.1463
8.00	0.012 3 3	0.037 29	0.077 77	2.575	0.1576
8.28	0.159 8 0	0.082 28	0.304 60	3.676	40.40
8.06	0.022 3 0	0.038 52	0.096 10	3.458	1.285
8.20	0.016 0 8	0.037 65	0.086 15	3.224	0.584
8.15	0.013 9 0	0.037 44	0.081 65	2.944	0.3510
8.25	0.012 8 6	0.037 0 9	0.079 19	2.686	0.2412
8.14	0.012 2 7	0.037 21	0.078 90	2.463	0.1781
8.14	0.011 8 4	0.037 0 5	0.077 95	1.920	0.1135
7.92	0.011 7 5	0.036 80	0.077 42	2.391	0.1234
—	0.011 7 5	0.036 97	—	—	—
—	—	—	—	—	—

X<sub>30</sub> 为自渤海湾外北黄海中取的海水; G<sub>132</sub> 为中国标准海水; P<sub>105</sub>, P<sub>110</sub> 为英国 Wormly 海洋科学研究所生产的

这些河口水要大得多。

我们还发现黄河口渤海湾海水密度的平均偏差与水样的  $[Ca^{2+}]/s$  或  $[Mg^{2+}]/s$  或  $[SO_4^{2-}]/s$  的比值为正相关, 呈指数相关关系 (见图 4—图 6), 而海水密度的平均偏差  $\Delta\rho$  与碱度也为正相关, 但呈 S 形曲线相关关系 (见图 7)。在盐度 25.72—31.57 范围内  $[Ca^{2+}]/s$  平均为  $0.01211 \pm 1.3 \times 10^{-4}$ ,  $[Mg^{2+}]/s$  平均为  $0.03705 \pm 1.9 \times 10^{-4}$ ,  $[SO_4^{2-}]/s$  平均为  $0.07781 \pm 2.3 \times 10^{-4}$ , 比碱度平均为  $0.1486 \pm 1.0 \times 10^{-2}$ , 他们与海水密度正偏差呈近似直线关系。大洋海水  $[Ca^{2+}]/s$ ,  $[Mg^{2+}]/s$ ,  $[SO_4^{2-}]/s$  和比碱度平均值分别为

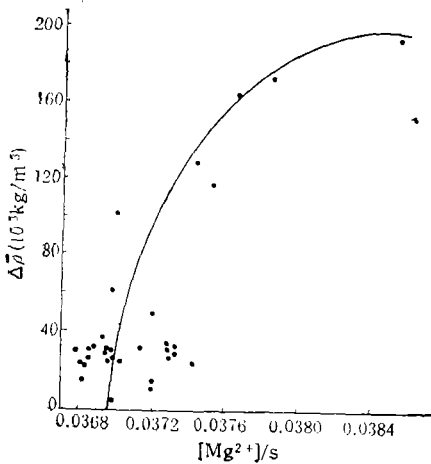


图 4 海水密度平均偏差 ( $\Delta\rho$ ) 与  $[Mg^{2+}]/s$  的关系

Fig. 4 The relationship between  $\Delta\rho$  and  $[Mg^{2+}]/s$

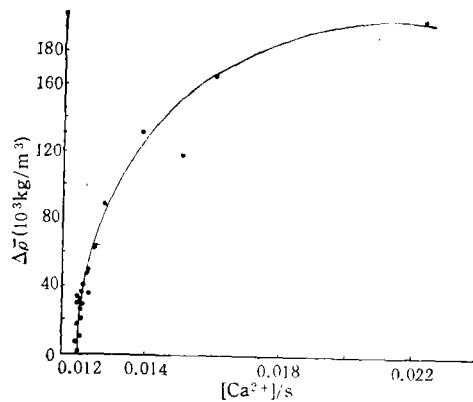


图 5 海水密度平均偏差 ( $\Delta\rho$ ) 与  $[Ca^{2+}]/s$  的关系

Fig. 5 The relationship between  $\Delta\rho$  and  $[Ca^{2+}]/s$

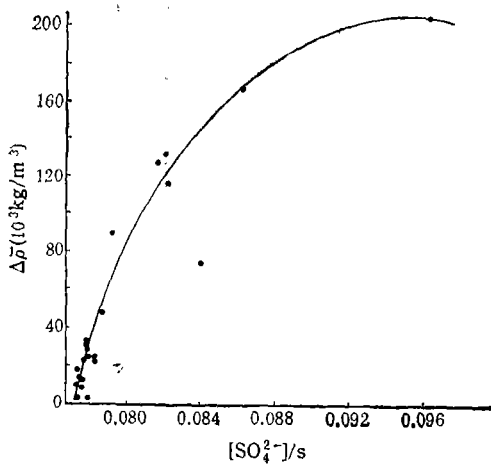


图 6 海水密度平均偏差 ( $\Delta\rho$ ) 与  $[SO_4^{2-}]/s$  的关系

Fig. 6 The relationship between  $\Delta\rho$  and  $[SO_4^{2-}]/s$

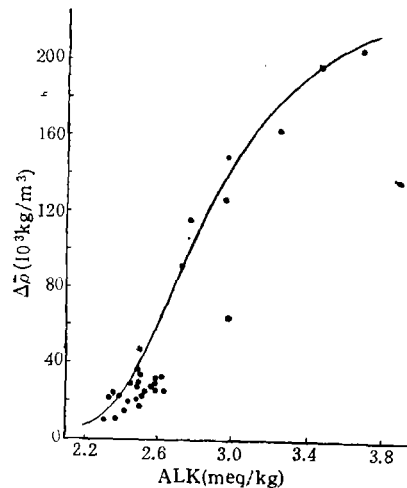


图 7 海水密度平均偏差 ( $\Delta\rho$ ) 与碱度 (alk) 的关系

Fig. 7 The relationship between  $\Delta\rho$  and alkalinity

0.011 78, 0.037 04, 0.077 50, 0.126 (Riley, J.P. et al., 1974)。可见, 黄河口及渤海湾海水以其高比碱度、高  $[Ca^{2+}]/s$  值为其特征的, 正因为这些海水主要离子组成有了如此明显变化, 海水的相对盐含量明显高于同盐度的大洋水, 因此实测海水密度高于适用于大洋水平均组成的 1980 年国际海水状态方程计算值。

根据  $\Delta\rho$  与  $s$  的线性关系式  $\Delta\rho = a + bs$ , 同时由于在河口地区海水中的主要离子仍有保守性质, 海水中每种主要离子浓度  $C_i$  和盐度  $s$  之间都具有下列关系:  $C_i = a' + b's$ , 两式结合可导出:

$$\Delta\rho = \frac{A + B(C_i/s)}{D + (C_i/s)} \quad (2)$$

对于  $Ca^{2+}$ , 通过黄河水与黄海水模拟混合实验数据, 我们已求得

$$\Delta\rho(10^3\text{kg/m}^3) = \frac{-2.79 + 236.5([Ca^{2+}]/s)}{-9.7464 \times 10^{-3} + ([Ca^{2+}]/s)} \quad (3)$$

根据此式绘出的  $\Delta\rho$  与  $[Ca^{2+}]/s$  之间关系曲线与图 3 曲线非常一致。这进一步证实了由于黄河水的主要离子组成不同对海水密度偏差的影响。利用公式(3)和 1980 年国际海水状态方程就可求得水样的实际密度值, 对本文水样的计算值与实际值的标准偏差为  $\pm 8.3 \times 10^{-3}\text{kg/m}^3$ 。

两次采水均在丰水季节, 海水受河水冲淡作用明显, 正如长江口海水一样(陈国华等, 1992c) 海水密度偏差值较大, 而且变化梯度大; 但在枯水期, 海水密度偏差值及其随盐度变化梯度将随河水注入量减少而减小。

## 参 考 文 献

- 陈国华等, 1992a, 长江口海水的密度, 海洋与湖沼, 23(6): 573—580。  
 陈国华等, 1992b, 一种高精密的溶液密度测量装置——磁力浮沉子密度计, 海洋技术, 11(1): 1—6。  
 陈国华等, 1992c, 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。  
 陈国华, 吴葆仁, 1989, WDA 型相对电导率仪, 见: 青岛海洋大学海洋化学系编, 海洋化学论文集, 海洋出版社, 北京, 71—82。  
 Kremling, K. 1976. 主要组分的测定, 海水分析方法, 1982, 陆贤昆等译, 科学出版社, 148—149。  
 Riley, J.P. and Skirrow, G., 1974, 化学海洋学, Vol. 1, 刘光等译, 1982 年, 海洋出版社, 446—451。  
 Bigg, P.H., 1967, Density of water in S.I. units over the range 0—40°C, *British J. Applied Physics*, 18:521—537。  
 Brewer, P.G. and Bradshaw, A.B., 1975, The effect of the non-ideal composition of seawater on salinity and density, *J. Mar. Res.*, 33:157—175。  
 Cox, R. A., et al., 1968, Pure water for relative density standard, *Deep-Sea Res.*, 15:319—325。  
 Millero, F.J. and Emmet, R. T., 1976a, The effect of dissolved air and natural isotopic distributions on the density of water, *J. Mar. Res.*, 34: 15—24。  
 Millero, F.J. and Kremling, K., 1976b, The density of Baltic seawater, *Deep-Sea Res.*, 23(12):1129—1138。  
 Millero, F. J., et al., 1976c, The density of artificial river and estuarine water, *J. Geophysical Res.* 81: 1177—1179。  
 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。  
 Unesco, 1981, Tenth report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards, Unesco Tech. Paper in Mar. Sci., 36:17—21。

## DENSITY OF SEAWATER IN THE HUANGHE RIVER ESTUARY AND BOHAI BAY

Chen Guohua, Ji Rong, Xie Shinan, Zhang Lijun

(Department of Chemistry, Ocean University of Qingdao, 266003)

### ABSTRACT

The density and salinity of 36 seawater samples collected from the Huanghe River Estuary and Bohai Bay were measured with a high precision magnetic float densimeter at 24.950°C, 19.890°C and 15.230°C, respectively. The chemical parameter of the calcium, magnesium, alkalinity, pH,  $\text{SO}_4^{2-}$ , chlorinity etc. were also determined. All the measured densities were higher than that calculated by the International Equation of State of Seawater, 1980. The average difference between the measured and computed densities increase with the decrease of salinity. The average differences for the North Huanghai, the outside and the inside of the Bohai Bay were  $2.1 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ ,  $9.4 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$  and  $13.8 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ , respectively. The average differences were  $(26.6 \pm 9.4) \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$  in the Huanghe River Estuary and Bohai Bay from 25.72 to 31.57 in salinity ranges. For the Huanghe River water (Jinan), the difference was  $202.1 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ . The relationship between the average difference and the ratio of  $[\text{Ca}^{2+}]/s$  or  $[\text{Mg}^{2+}]/s$  or  $[\text{SO}_4^{2-}]/s$  appeared in exponential curve in all salinities, but the relationship between average difference and alkalinity exhibited S type curve. And all the ionic ratios mentioned above were linear with salinity in the salinity range from 25.72 to 31.57. The seawater average ionic ratio values of  $[\text{Ca}^{2+}]/s$ ,  $[\text{Mg}^{2+}]/s$ ,  $[\text{SO}_4^{2-}]/s$  was  $0.01211 \pm 1.3 \times 10^{-4}$ ,  $0.03705 \pm 1.9 \times 10^{-4}$  and  $0.07781 \pm 2.3 \times 10^{-4}$ , respectively. The high specific alkalinity and the high  $[\text{Ca}^{2+}]/s$  ratio are the characteristics of the Huanghe Estuary and Bohai Bay seawater. They are the main factors affecting positive deviation of seawater density.

**Key words** Huanghe River estuary Bohai Bay Seawater density  
Ionic ratio