

# 长江口海水比重的直接测定\*

闵学颐 陈国华 李飞永 于春秀

(山东海洋学院)

## 一、引言

海水的比重是海水的一个重要物理性质,也是研究海水运动所必需的一个参数。关于大洋海水比重及其与氯度、盐度和电导的关系已有许多报导<sup>(3, 5-9)</sup>,为了制定新的国际海洋学常用表, Cox 等人对世界各海洋表层海水的比重、盐度和温度的关系又进行了重新研究<sup>(3)</sup>。他们指出,除去低盐海水以外,所得结果与 Knudsen 水文表数据吻合较好,但 Knudsen 水文表的比重数据平均偏低  $0.006\sigma_t$ 。

对于中国沿海海水比重的直接测定工作,至今还没有见到报告。我国各濒临海区海水比重资料,以往都是根据海水氯度数据由 Knudsen 水文表查算的,其查算结果的可靠性也还没有直接的实验证明。因此,对于我国近岸海水比重的直接测定的研究,在了解我国近岸海水性质及其有关海洋研究方面是具有一定意义的。

本文主要介绍了我们对长江口以北南黄海一个断面的 13 个海水样品,用比重瓶法直接测定的比重结果及其与氯度的关系。这些海水样品在我国近岸海水中具有一定典型代表性,因此本研究结果对于了解我国其他的近岸海水比重性质也是有益的。

## 二、海水样品

实验用海水样品取自南黄海  $N32^{\circ}30'$ ,  $E122^{\circ}15'$  至  $N32^{\circ}30'$   $E123^{\circ}50'$  断面,这一断面西临长江口,往东深入南黄海。在这一断面上共取水样 13 个,其中 7 个表层海水,3 个中层海水和 3 个底层海水。采水时间:1965 年 5 月 25 日。当时天气晴朗,海况 3—4 级,采水历时 13 小时。海水样品用密封的海水样品瓶贮存带回青岛,在 1965 年 5 月 31 日用 4 号砂芯漏斗过滤后,进行海水比重及氯度的测定。

## 三、实验方法

### 1. 海水比重的测定

本文 1979 年 2 月 19 日收到。

\* 本研究由闵学颐(已于 1968 年去世)提出并得到他的指导,实验于 1965 年完成,最后由陈国华整理完稿,李飞永现在中国科学院南海海洋研究所,于春秀现在国家海洋局第一海洋研究所。

我们采用比重瓶法测定海水比重, 此法具有设备简单, 操作方便的优点, 虽然精度不及浮沉子法, 但对于近岸海水比重的研究来说完全可以满足要求。将纯水和海水依次注入已称重的干净比重瓶, 在恒温水浴中恒温以后, 取出擦干外壁称重, 相同比重瓶体积的海水与纯水重量之比, 即为此海水在恒温水浴温度下的比重, 再根据纯水密度资料就可算得通常在海洋学中定义的海水条件密度  $\sigma_t$ 。

实验中用比重瓶体积 50 毫升, 内外瓶壁光滑, 瓶塞磨口经过仔细加工, 其体积有高度重现性, 为减少蒸发引入的误差, 瓶塞上有一小帽。比重瓶外形如图 1。比重瓶的干燥采用图 2 所示装置。将洗净的比重瓶放入真空干燥器中, 干燥器出气管连结一排充满硅胶、无水氯化钙作为干燥剂的干燥管, 然后接通抽气泵抽气, 干燥器中比重瓶就在减压下常温干燥, 直至恒重。

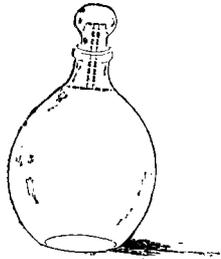


图1 比重瓶

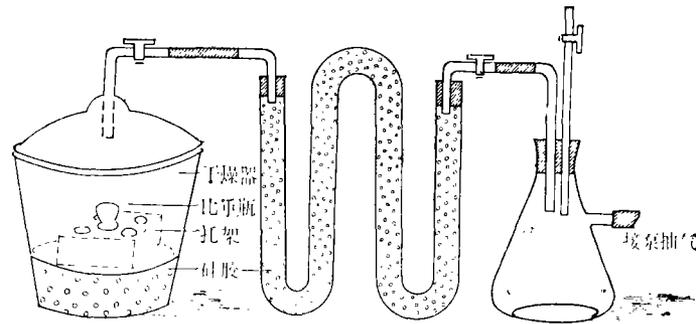


图2 比重瓶干燥装置

空比重瓶、盛满纯水的比重瓶及盛满海水的比重瓶的称量, 用载重 200 克的一等光电分析天平。其感量为 0.1 毫克, 变动性在 0.1 毫克以内, 砝码预先经过校正。纯水与海水重量均经浮力校正。

测定海水比重所用基准纯水是用自来水经二次蒸馏所得,  $20^{\circ}\text{C}$  时其比电导为  $6 \times 10^{-6}$  厘米<sup>-1</sup>·欧姆<sup>-1</sup>, 曾与用三次蒸馏所得纯水 (比电导为  $1 \times 10^{-6}$  厘米<sup>-1</sup>·欧姆<sup>-1</sup>) 为基准纯水测定海水比重结果比较, 发现没有影响, 故本实验中均用二次蒸馏水为基准纯水测定海水比重。据报导<sup>[4, 8]</sup>, 纯水中同位素组成的变化可使纯水密度改变  $2 \times 10^{-5}$ 。Cox 等人测定海水比重采用地中海水经三次蒸馏得到的纯水为基准纯水, 同时分析了其同位素组成<sup>[3]</sup>。我们的纯水来源与其不同, 也没有分析纯水同位素组成, 所以对比重测定结果将有少量影响, 然而对于比重瓶法测定近岸海水比重时, 这种影响并不重要。

为使比重瓶法测定海水比重得到精确的结果, 准确的称量非常重要。而实验成功的关键, 在于注意防止比重瓶内液体在恒温过程中产生气泡; 以及掌握盛满液体的比重瓶, 在恒温以后从恒温水浴中取出后将其外壁擦干的方法。海水在注入比重瓶前, 事先预热以及通过一只带细管的注水器慢慢往比重瓶底部注入海水, 可有效地防止恒温过程中气泡的产生。

测定比重时用的恒温水浴恒温灵敏度约为  $0.003^{\circ}\text{C}$ , 恒温准确度约  $0.02^{\circ}\text{C}$ 。盛液体的比重瓶恒温时间 30 分钟。

本实验在 25°C 时用 5 个比重瓶对每个海水样品进行 5 次平行测定。

## 2. 海水氯度的测定法

本实验采用电位滴定方法测定海水氯度<sup>[1]</sup>，测定结果实际精度约为  $\pm 0.002\text{Cl}\%$ 。

## 四、结果讨论

我们用比重瓶法直接测定了长江口一个断面 13 个不同氯度的海水样品在 25°C 时相对于 4°C 纯水的比重(即条件密度  $\sigma_{25}$ )，其结果列于表 1 和图 3 中。

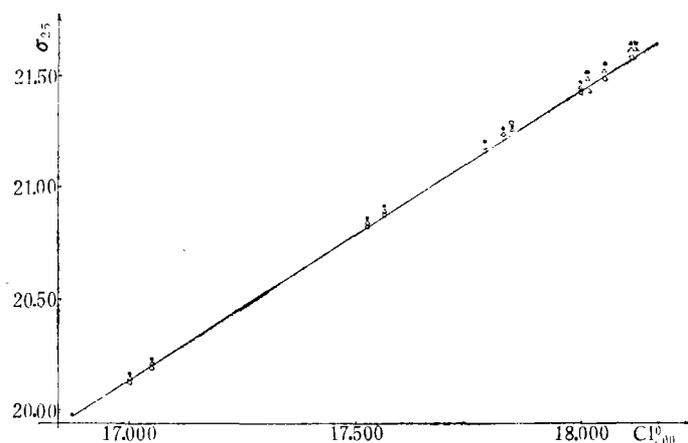


图3 长江口海水  $\sigma_{25} \sim \text{Cl}\%$

○ 本文结果  $\sigma_{25}$ ;  $\Delta$   $\sigma_{25}^*$ ;  $\blacktriangle$   $\sigma_{25}^{**}$ 。

表1 长江口各站位海水密度与氯度

站号	站位坐标 N E	水层	海水氯度 Cl%	海水计算 盐度 S‰	海水密度 $\sigma_{25}$ 测定结果			$\sigma_{25}^*$	$\sigma_{25}^{**}$
					各次测定值	平均值	测定值的 标准偏差		
1	32°30' 122°45'	表	16.878	30.491	①19.97 ②19.97 ③19.98 ④19.97 ⑤19.98	19.97	$\pm 7 \times 10^{-3}$	19.97	19.97 <sub>s</sub>
2	32°30' 122°30'	表	16.996	30.704	①20.11 ②20.12 ③20.12 ④20.12 ⑤20.11	20.12	$\pm 7 \times 10^{-3}$	20.13	20.13 <sub>s</sub>
3	32°30' 123°0'	表	17.042	30.787	①20.18 ②20.18 ③20.18 ④20.19 ⑤20.19	20.18	$\pm 7 \times 10^{-3}$	20.19	20.19 <sub>s</sub>
4	32°30' 122°15'	表	17.519	31.649	①20.84 ②20.84 ③20.84 ④20.85 ⑤20.83	20.84	$\pm 7 \times 10^{-3}$	20.84	20.84 <sub>s</sub>

续表 1

5	32°30' 123°15'	表	17.558	31.719	①20.89 ②20.89 ③20.89 ④20.90 ⑤20.90	20.89	$\pm 7 \times 10^{-3}$	20.89	20.89 <sub>9</sub>
5	32°30' 123°15'	20米	17.822	32.196	①21.24 ②21.24 ③21.24 ④21.24 ⑤21.25	21.24	$\pm 4 \times 10^{-3}$	21.25	21.25 <sub>9</sub>
5	32°30' 123°15'	底	17.841	32.231	①21.29 ②21.29 ③21.29 ④21.29 ⑤21.31	21.29	$\pm 10 \times 10^{-3}$	21.28	21.28 <sub>6</sub>
6	32°30' 123°30'	表	17.776	32.113	①21.18 ②21.18 ③21.18 ④21.18 ⑤21.19	21.18	$\pm 4 \times 10^{-3}$	21.19	21.19 <sub>7</sub>
6	32°30' 123°30'	20米	18.004	32.525	①21.45 ②21.45 ③21.46 ④21.46 ⑤21.47	21.46	$\pm 9 \times 10^{-3}$	21.50	21.50 <sub>7</sub>
6	32°30' 123°30'	底	17.994	32.507	①21.46 ②21.46 ③21.46 ④21.45 ⑤21.45	21.46	$\pm 7 \times 10^{-3}$	21.48	21.49 <sub>4</sub>
7	32°30' 123°50'	表	18.039	32.588	①21.52 ②21.52 ③21.52 ④21.52 ⑤21.53	21.52	$\pm 4 \times 10^{-3}$	21.54	21.55 <sub>4</sub>
7	32°30' 123°50'	20米	18.100	32.699	①21.61 ②21.61 ③21.62 ④21.62 ⑤21.60	21.61	$\pm 9 \times 10^{-3}$	21.63	21.64 <sub>0</sub>
7	32°30' 123°50'	底	18.104	32.706	①21.61 ②21.61 ③21.62 ④21.63 ⑤21.63	21.62	$\pm 10 \times 10^{-3}$	21.63	21.64 <sub>4</sub>

表 1 中  $\sigma_{2*}$  是根据海水氯度用 Knudsen 水文表查算的结果, 而  $\sigma_{2**}$  则是根据海水“计算盐度” ( $S_{\text{‰}} = 1.80655 C_{\text{‰}}$ ) 按照 Cox 等人提供的公式计算的结果<sup>[3]</sup>。本实验测定比重结果的精密度用标准偏差表示在  $\pm 1 \times 10^{-5}$  以内 (即  $\pm 0.001\sigma_{2*}$ )。由图 3 可见, 长江口海水的比重与氯度成近似直线关系。

图 4 为本文比重测定结果与按氯度从 Knudsen 水文表计算的比重值及按氯度从 Cox 等 (1970) 公式计算的结果比较。与 Knudsen 结果比较, 13 个水样平均绝对偏差  $0.012\sigma$ , 水文表的结果高于本文结果。由图 4 可见, 大部分水样测定结果与水文表的结果, 基本上都在本实验误差以内, 只有少数几个高氯度的海水按水文表查算结果, 比本文测定结果平均偏高约  $0.02\sigma$ , 略高于实验误差 ( $0.01\sigma$ )。根据氯度从 Cox 等 (1970) 公式计算的比重比本文结果平均偏高约  $0.020\sigma$ , 其中那几个高氯度的水样偏差也较大 (约偏高  $0.034\sigma$ )。但从表 1 数据表明, 那几个氯度靠近 18‰ 的水样, 按 Cox 等公式计算的结果与根据水文表查算的结果之间偏差 (即  $\sigma_{2**} - \sigma_{2*}$ ) 也增大了, 平均偏差约  $0.012\sigma$ , 而 13 个水样总的绝对平均偏差为  $0.009\sigma$ 。

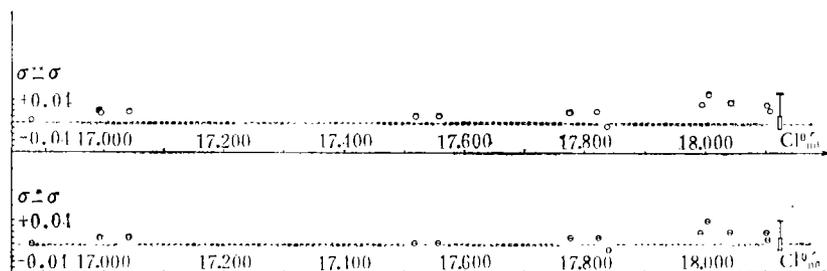


图4 本文结果与 Knudsen 水文表结果及 Cox 等(1970)结果比较

$\sigma$  为本文结果;  $\sigma^*$  为 Knudsen 水文表结果;  $\sigma^{**}$  为 Cox 等结果;  
 $\square$  表示本结果精度范围;  $\triangle$  表示  $(\sigma^* - \sigma)$  或  $(\sigma^{**} - \sigma)$  值超过本结果精度范围。

造成本结果与 Cox 等 (1970) 结果偏差的原因, 据我们分析主要有三方面: 一是分析方法及实验操作中的误差; 二是测定比重所用基准纯水的同位素组成不同; 三是长江口海水与大洋海水平均组成略有差别。我们测定比重所用的基准纯水是用自来水蒸馏而得, 大概与 Forch 等所用的相似<sup>[4]</sup> (严格地说来河水的同位素组成也有差异, Forch 等所用纯水来源没有详细记录, 只是根据后人推测), 而 Cox 等所用的基准纯水是用海水蒸馏制备, 由于所用纯水同位素组成不同, 将对结果产生一定的系统偏差, 根据近代分析表明, 此类误差大约为  $0.0015\sigma$ <sup>[4]</sup>, 因此对本文结果偏差影响不大。产生上述偏差的原因看来主要是海水组成上的差异。Forch 等低盐水样大都采自波罗的海附近, 受陆地水影响较大, 可能是这些海水的组成与长江口低盐海水比较接近, 因此结果很吻合。而较高氯度的长江口海水, 受长江口影响相对较小, 这种水样与 Forch 等所用的水样组成可能有少量差异, 因而在氯度与密度关系上也就反应出少量不同。Cox 等 (1970) 结果与本文结果偏差看来也主要是反映了海水组成上略有差异的原因。根据近代掌握的资料分析<sup>[7]</sup>, 这是很可能的, 但还有待今后进一步深入研究验证。如果是这样的原因, 那么根据长江口海水比重数据略偏低的结果, 我们可以推测长江口海水相同氯度所对应的溶解物含量略低于大洋海水平均值。

长江口是我国沿岸受江河水影响最大的海区, 用这一区域的海水直接测定海水比重, 与根据 Knudsen 水文表由氯度值查算的比重基本符合, 与 Cox 等 (1970) 结果比较, 平均只有  $0.02\sigma$  误差, 为这一部分 Knudsen 水文表在我国的沿海海区使用提供了直接的实验证据。Cox 等的结果是为制定新的盐度与比重的海洋学表作准备的, 因此本实验结果也为新的海洋学表将来在我国濒临海区使用提供了依据。

## 五、结 论

长江口 13 个不同氯度的海水样品, 在  $25^\circ\text{C}$  时相对于  $4^\circ\text{C}$  纯水的比重的测定结果表明, 其比重与氯度值成近似直线关系。本文结果与以 Forch, Knudsen 和 Srensen (1902) 结果为根据的 Knudsen 水文表数据基本吻合, 但比近代 Cox 等 (1970) 结果平均偏低约  $0.02\sigma_{25}$ 。看来, Knudsen 水文表有关盐度与比重的查算可适应于长江口海水。同时, 本

文结果也为此表及以后新的海洋学表, 使用于中国濒临海区的海水进行盐度与比重的查算提供了一种依据。长江口的海水比重略低于 Cox 等 (1970) 结果, 看来主要反映了长江口海水的一些特性, 很可能是, 对于相同氯度所对应的溶解物含量, 长江口海水略低于大洋海水平均值。

### 参 考 文 献

- (1) 中国标准海水厂, 中国标准海水的制备, 海洋与湖沼, 3 (1960), 1, 29—35.
- (2) 朱波夫, H.H., 海洋学常用表, 科学出版社, 1965, 68—73.
- (3) Cox, R. A., McCartney, M.J. and Culkin, F., The specific gravity/salinity/temperature relationship in natural Sea water, *Deep-Sea Res.*, 17 (1970), 4, 679—691.
- (4) Cox, R. A., McCartney, M.J. and Culkin, F., Pure water for relative density standard, *Deep-Sea Res.*, 15 (1968), 3, 319—325.
- (5) Kremling, K., Comparison of specific gravity in natural Sea water from hydrographic tables and measurements by a new density instrument, *deep-Sea Res.*, 19 (1972), 4, 377—383.
- (6) Millero, F. J., Gonzalez, A. and Ward, G. K., The density of seawater Solutions at one atmosphere as a function of temperature and salinity, *J. Mar. Res.* 1976, 34, 61—93.
- (7) Millero, F.J., Means, D. and Miller, C., The densities of Mediterranean Sea water, *Deep Sea Res.*, 25 (1978), 6, 565—569.
- (8) Riley, J.P. and Skirrow, G., *Chemical Oceanography*, Academic press, London and New York, 1965, 1, 97—98, 101—103.
- (9) Thompson, T.G. and Wirth, H.E., The specific gravity of Sea water at zero degrees in relation to the chlorinity, *J. Cons. int. Explor. Mer.*, 6 (1931), 232—240.

## DETERMINATION OF SPECIFIC GRAVITY OF SEA WATER FROM THE ESTUARY OF CHANGJIANG RIVER

Min Xueyi (the Late), Chen Guohua, Li Feiyong and Yu Chunxiu

(Shandong College of Oceanology)

### ABSTRACT

The specific gravity of 13 sea water samples from the estuary of Changjiang River at 25 °C has been determined by the pycnometer method. The results are consistent with the values computed from Knudsen's chlorinity tables within the experimental error of the method and are lower on an average of about 0.02 in sigma-25 than the values computed from the salinity by Cox, *et al.* equation (1970).

The standard deviation of our measurements was estimated to be  $\pm 0.01$  in sigma-25.

The differences between the present results and the values computed from the chlorinity by Cox, *et al.* equation (1970) may imply that, for water of the same chlorinity, the sea water at the estuary of Changjiang River tends to have a lower concentration of dissolved substances than that of the ocean water.

Our work shows that the Knudsen's tables may apply to the sea water at the estuary of Changjiang River, and also provides experimental evidence that the new oceanographic tables can be applied in studies on the Sea water of China Sea areas.