

象山港盐度分布和水体混合*

I. 盐度分布和环流结构

董礼先 苏纪兰

(国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

提要 利用 1981—1990 年的实测水文资料分析了象山港与混合密切相关的盐度分布和环流结构,并对盐度锋面出现成因进行了探讨。研究表明,象山港盐度受长江冲淡水活动影响较大,冬、夏门口附近盐度分别为 24—25 左右和 31 以上,湾顶附近盐度季节变化不大。冬季湾内盐度空间梯度较小。夏季湾内有两个盐度锋面出现,水体垂向略有层化但并无明显的跃层出现。此外,象山港狭湾内以重力环流为主,狭湾外以水平环流为主。

关键词 盐度分布 锋面 环流 象山港

学科分类号 P731

象山港水域位于浙江省北部沿海,是一个纵长约 70km 的较为典型的半封闭狭长海湾。该海湾的盐度变化和混合状况研究在受长江径流和外海高盐水影响的浙江沿岸强潮海湾具有典型意义。另外,日益迫切的湾内水域环境保护研究要求我们充分了解湾内、外水交换和水体混合状况和控制机理。虽然自 1981 年以来在该水域曾进行过多次大规模的水文调查和水交换研究(蔡伟章等,1985;Gao *et al.*, 1990;董礼先等,2000¹⁾),但缺少针对水体混合的专门调查和研究。为此,在 1990 冬、夏季分别进行了两个航次各由五条船实施的水交换专题调查,并收集了 1981 年以来的实测水文资料¹⁾。本文使用这些资料着重分析了与湾内水体混合密切相关的盐度分布和环流结构,并对盐度锋面的成因进行了探讨。

1 资料收集和分析方法

象山港水域面积为 563km²,平均水深为 10m 左右,局部深潭可达 40m 以上,由牛鼻水道、佛渡水道和象山港狭湾三部分组成。佛渡水道宽约 3.5km,牛鼻水道宽约 15km,象山港狭湾长约 50km,湾口宽约 9.5km。(图 1)。

1990 年 6 月和 12 月分别进行了 A1—A2 和 A3—A5 两断面及 A15 和 A16 两站的同步连续周日逐时水文要素(温、盐、潮、流)观测,沿狭湾主槽的 G8—G1 站和 E4—E1 站的纵剖面水文观测及 Z1—Z4 的逐时连续 30 天水位观测。此外,收集了 1981 年 8 月 B1—B4 断面,1983 年 12 月 A10—A12 和 A6—A8 (与 B1—B4 同一断面)两条断面和 A13、A14 两站的大、小潮期间的连续周日逐时水文观测资料及 Z5—Z6 站的同期逐时水位资料²⁾。

* 国家自然科学基金资助项目, 48907026 号。董礼先,男,出生于 1948 年 12 月,副研究员, E-mail: lxdong@ust.hk

1) 董礼先,苏纪兰,2000. 象山港盐度分布和水体混合 II. 混合分析. 海洋与湖沼, 31(3), 待刊

2) 浙江省海岛资源调查资料及浙江省海岸带资源调查资料

收稿日期: 1996-08-26, 收修改稿日期: 1998-09-16

2 观测结果与讨论

2.1 盐度变化的基本特征

象山港汇水面积为 1445km^2 , 年均径流量为 $12 \times 10^8\text{m}^3$, 其中的 60% 的流量集中在 5—9 月份(谢钦春, 1992)。但夏季由于长江冲淡水主要向东北方向扩展(朱建荣等, 1997), 浙江沿岸水主要受台湾暖流等外海高盐水控制, 牛鼻和佛渡两水道中盐度可达 31 以上。冬季受长江径流的影响, 两个水道中的盐度只有 24—25 左右。狭湾顶附近冬、夏季的盐度都保持在 20—23 左右。狭湾内夏季盐度梯度比冬季大许多, 在 G7 站和 G1 站附近有盐度锋面存在。

狭湾内盐度垂向分布的季节变化较大。夏季水体垂向层化明显, 最大表、底盐度差可达 2 以上(图 2a)。象山港地区冬季的径流量较小, 沿底层入侵的外海水的盐度也较夏季低。在偏北大风的垂向涡动混合下, 湾内水体垂向基本均匀, 表、底盐度差不足 0.5(图 2b)。

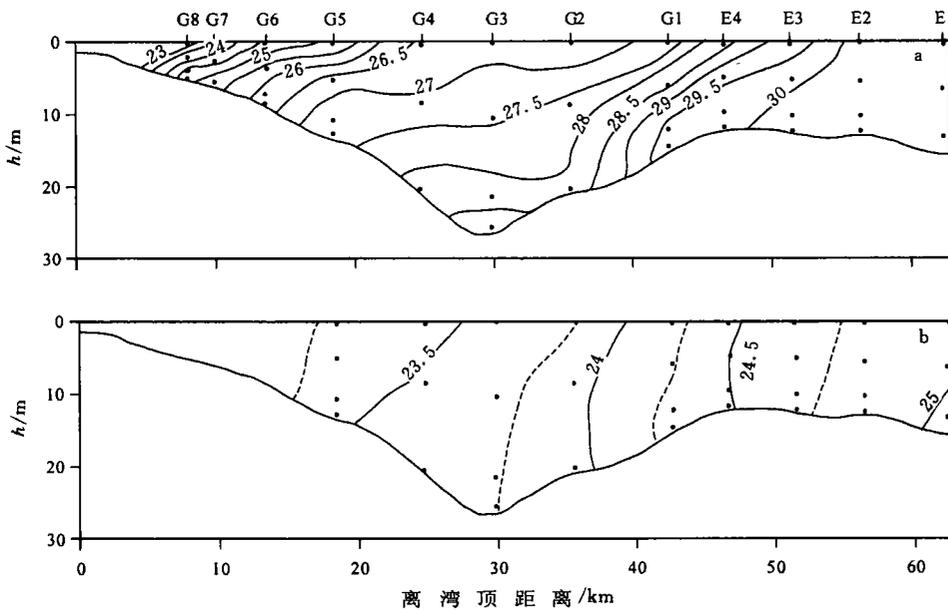


图2 象山港盐度纵向剖面图

Fig.2 Longitudinal salinity profiles in Xiangshangang Bay

a. 夏季; b. 冬季; ●盐度取样点; ---相邻两条实线的平均值

2.2 盐度断面分布特征

A3—A5断面潮均盐度分布的主要特点是水平差异较大的。夏季, 除了在两侧深槽内垂向盐差较大外, 水道两侧的潮均盐度明显高于中间。A4—A5之间水平盐差可达 1.5 以上(图 3a)。冬季 A3—A5 断面上盐度较均匀, 最大垂向和水平潮均盐差分别为 0.1 和 0.3。

A1、A2 两站冬季的表层潮均盐度分别为 22.4 和 25.14; 底层潮均盐度分别是 22.59 和 25.35。最大垂向盐度差为 0.3 左右, 但水平盐度差达 2.2 以上。夏季断面潮均盐度在 30 左右, 但盐度分布较为均匀, 垂、横向潮均盐差都小于 0.4。

与上述两断面的情形相反, A10-A12断面的垂向盐差大于横向。断面最大横向潮均水平盐差小于 0.1, 但冬季小潮期间的潮均表、底盐差在 0.8 以上, 夏季可达 2.0 以上, 层化强度居各断面之首(图 3b)。A13-A14、G7 等站的资料显示 A10-A12断面以里的象山港狭湾内段同样存在很大的垂向盐差(图 2a)。

A6-A8(B1-B4)断面位于象山港狭湾外段, 盐度分布随季节和潮汐而变。总的来说断面潮均盐度分布不但具有底层高于表层的特点, 而且具有 A8(B4)站一侧高于 A6(B1)站一侧的特点。冬季大潮期间断面上表、底盐差仅为 0.15, 但 A6 站一侧比 A8 站一侧盐度高约 0.3 左右。冬季小潮期间断面中部表层有一个局部低盐区, 表、底潮均盐差可达 1.0。在 5m 以下水层, 小潮期间盐度的横向盐度差异比大潮期间要大, 可达 0.5—1.0 左右。在靠近

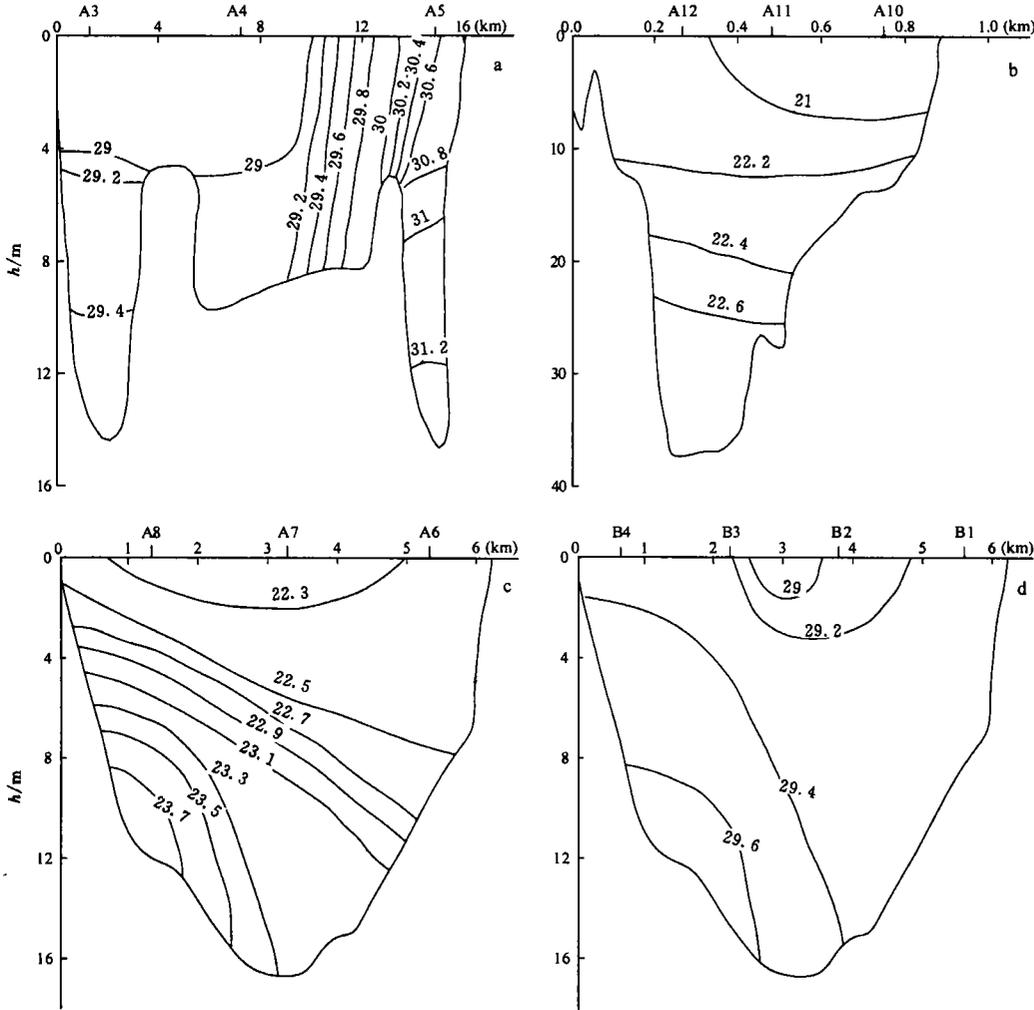


图3 象山港断面潮均盐度分布

Fig.3 Distribution of tide-mean salinity in Xiangshangang Bay

- a. A3-A5断面1990年夏季大潮; b. A10-A12断面1983年冬季小潮;
c. A6-A8断面1983年冬季小潮; d. B1-B4断面1981年夏季大潮

断面 A8 站一侧 10m 水深附近有一股高盐水,其核心处的盐度值在小潮期间比周围水体高出约 0.5 左右(图 3c)。夏季的断面表、底盐差比冬季大。大潮期间,断面中部表层 3m 以内盐度较低,表、底潮均盐差由冬季大潮的 0.15 左右增大到 0.8 以上。同冬季的情况一样, A8 站一侧水深 10—15m 处依然有一股高盐水存在(图 3d)。

2.3 断面上的余流和水域环流结构

A3-A5 断面的余环流基本以 A4 站为界相向流动, A5 站一侧由外海向象山港水域内流入,流速 0.05m/s; A3 站一侧向外海流去,夏季表层余流速度可达 0.3m/s(图 4a)。冬季余流的结构与夏季基本相同,但流速一般小于 0.05m/s。

A1-A2 断面冬季的余环流几乎全是向象山港方向流动,流速大约在 0.05—0.1m/s 左右。夏季 A1 站一侧余流向湾内流入,流速在 0.1m/s 以上; A2 站一侧向湾外流去,流速都在 0.06m/s 左右。

A10-A12 断面冬、夏两季的余流均以 15—20m 水深为界呈上、下两层相向流动,上层向海而下层向湾顶,最大流速可达 0.1m/s(图 4b)。

A6-A8(B1-B4)断面的余流也象盐度分布一样随季节和潮汐而变(图 4c—d)。总的来说,小潮期间余流结构垂向差异大于大潮,夏季的垂向差异大于冬季。不管何时,断面 A8 站一侧 10m 水深附近的余流总是向湾顶方向流动的, A6 站一侧上层的余流总是向海方向流动。这种双向流动在大潮期间比小潮期间强,夏季大潮期间最强。

2.4 环流结构

从各断面的余流和盐度分布上可以勾画出象山港水域的余环流结构。A6-A8 断面外侧水域的余环流基本上以水平结构的为主。外海水由 A3-A5 断面的 A5 站一侧流入并向佛渡水道南端流动。这一高盐水体与沿佛渡水道进入的水体会汇合后转向狭湾口方向流动,并与狭湾的下泻低盐水体混合后沿牛鼻水道中间和南侧的 A3 站上层流出。受离心力的影响,这一环流的部分水体沿狭湾口 A8 站一侧下层进入狭湾造成 A8 站一侧下层总有一股高盐水体存在。这一水平环流的流速较小,一般在大约 0.02—0.05m/s 左右。但在夏季,由于来自象山港狭湾内的下泻低盐水的加强作用, A3 站夏季表层的向海余流速度可达 0.3m/s 以上。

当然,这只是一个很概化的描述,可能还有许多小尺度的环流结构迭加在这一水平环流上。在夏季 A5 站一侧流入的高盐水体中的一小部分向右转湾,经 A5 站流出。A3-A5 断面的盐度分布说明横向盐度分布差异所产生的不平衡水体密度梯度力可能驱动横-垂向结构的余环流(West *et al.*, 1986; Huzzey, 1988)。另外,这一区域复杂的水下地形和较强的潮流必然会产生一些尺度较小的潮余流结构(Huthnance, 1973; Pingree *et al.*, 1980; Kashiwai, 1984)。但这些小尺度的环流不大可能改变总的水平余环流格局。

A10-A12 断面以里的象山港狭湾内段的余环流基本上是以表层向海而下层向湾顶的重力环流为主。A6-A8 断面附近的狭湾外段则是两种余环流的叠加。环流的断面结构取决于狭湾内重力环流和狭湾外水平环流二者的强弱对比。

2.5 盐度锋面成因探讨

象山港狭湾外为平流和潮弥散所控制区域,纵向混合强烈。由此造成狭湾口外的盐度与浙江沿岸水体的盐度相近。狭湾内水体则以重力环流和潮振荡的垂向剪切为主要混

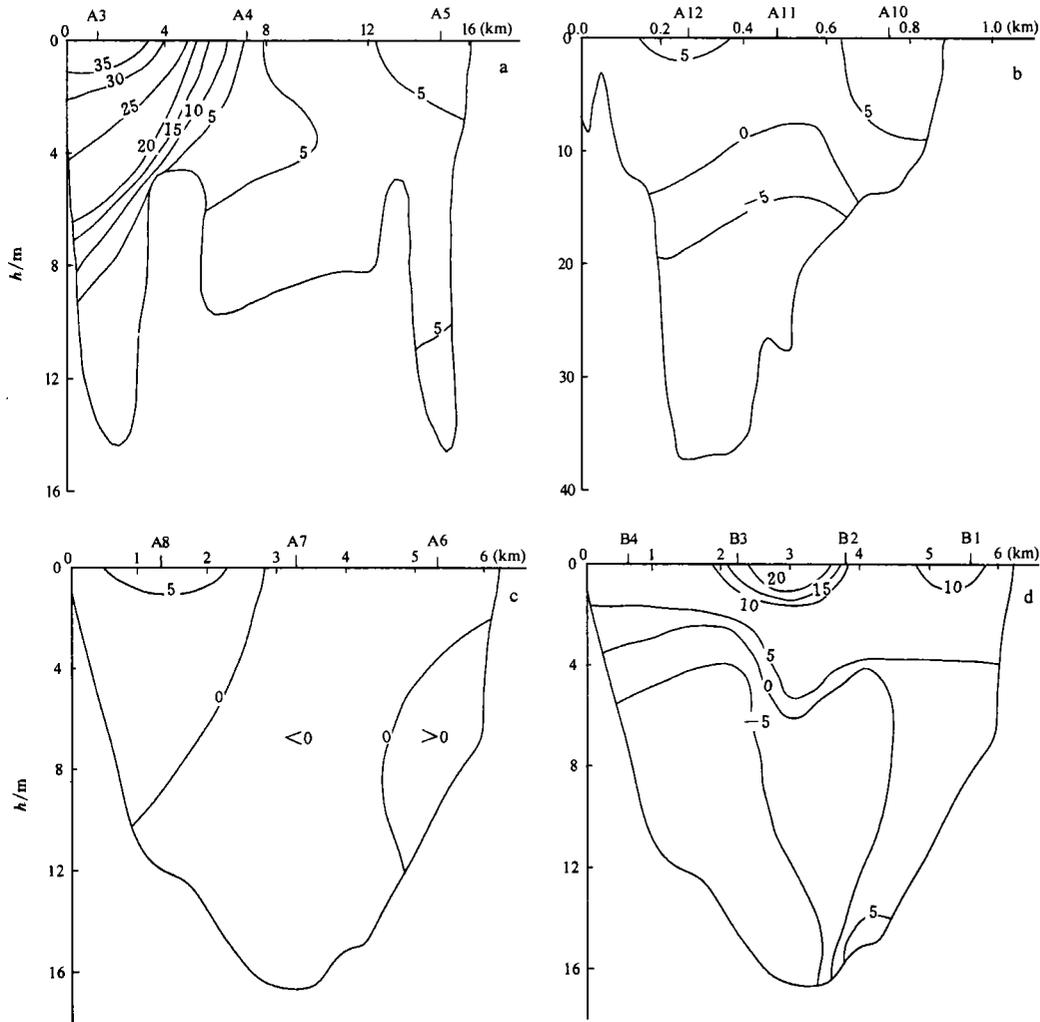


图4 象山港断面余流分布图 (cm/s)

Fig.4 Distribution of residual currents in Xiangshangang Bay (cm/s)

a. A3-A5断面1990年夏季大潮; b. A10-A12断面1983年冬季大潮;

c. A6-A8断面1983年冬季小潮; d. B1-B4断面1981年夏季大潮

(向湾顶方向为正值)

合机制,纵向混合能力较差,盐度较低(董礼先等,2000¹⁾)。A6-A8断面位于上述两个区域之间,断面附近的水质点在一个落潮过程中可以流出狭湾北口,在与口外的高盐水体激烈混合后,又随涨潮流回到狭湾内,从而使得狭湾内离口门一个潮冲程的距离之内的盐度也较高,并在A6-A8断面附近形成了一个纵向盐度梯度较大的锋面。而象山港狭湾顶附近的锋面显然是与该处水体纵向混合能力较差和湾顶淡水注入引起的浮力效应有关。

1) 见第151页脚注1)

3 结语

3.1 象山湾是一个半封闭强潮海湾,年径流量不大且集中在6—10月份。然而,受口外浙江沿岸水体的影响,湾口冬季盐度较低,在24—25左右;夏季较高,可达31以上。由于狭湾顶附近的盐度常年保持在22—23左右,狭湾内夏季纵向盐度梯度明显高于冬季。

3.2 象山港狭湾外存在一个顺时针的水平余环流,外海水体沿A5站进入象山港水域,经佛渡水道南口和狭湾口附近由A3站流出,流速一般在0.02—0.05m/s左右,但夏季A3站表层可达0.3m/s以上。狭湾内段主要由表层向海底层向湾顶的重力环流控制。狭湾外段为两种环流的共同作用区。

3.3 由于狭湾口外的盐度在夏季升高而使得狭湾内的盐度梯度较大,而A6—A8断面又位于狭湾内、外两个混合状况相差较大区域的交汇处,狭湾口附近的平流混合作用形成了A6—A8断面附近的盐度锋面。

参 考 文 献

- 蔡伟章, 陈耕心, 丁锦仁, 1985. 象山港潮汐潮流特征及成因探讨. 海洋通报, 4(3), 8—11
- 谢钦春, 1992. 象山港. 中国海湾志, 第五分册. 北京: 海洋出版社, 166—184
- 朱建荣, 沈焕庭, 1997. 长江冲淡水扩展机制. 上海: 华东师范大学出版社, 168—222
- Gao S, Xie Q-C, Feng Y-J, 1990. Fine-grained sediment transport and sorting by tidal exchange in Xiangshan Bay, Zhejiang, China. *Est Coast Shelf Sci*, 31(1): 397—409
- Kashiwai M, 1984. Tidal residual circulation produced by a tidal vortex, 1. Life-history of a tidal vortex. *J Oceanogr Soc*, 40 279—294
- Huzzey L M, 1988. The lateral density distribution in a partially mixed estuary. *Est Coast Shelf Sci*, 9: 351—358
- Huthnace J M, 1973. Tidal currents asymmetries over the Norfolk Sandbanks. *Est Coast Mar Sci*, 1: 89—99
- Pingree R, L Maddock, 1980. Tidally induced residual flows around an island due to both friction and rotational effects. *Geophys J R Astron Soc*, 63: 533—546
- West J R, J S Mangat, 1986. The determination and prediction of longitudinal dispersion coefficients in a narrow, shallow estuary. *Est Coast Shelf Sci*, 22: 161—181

SALINITY DISTRIBUTION AND MIXING IN XIANGSHANGANG BAY

I. SALINITY DISTRIBUTION AND CIRCULATION PATTERN

DONG Li-xian, SU Ji-lan

(*Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou, 310012*)

Abstract The salinity distribution, mixing processes and their controlling mechanism in Xiangshangang Bay are analyzed using a data set collected during 1981—1990.

Influencing by Changjiang diluted water, the salinity in Xiangshangang Bay has a large seasonal variation, with a maximum value of about 24—25 in winter and more than 31 in summer. The longitudinal salinity gradient in summer is larger than that in winter. Two salinity fronts in bayhead areas and over the middle part of the system, respectively, are formed in summer as a result of freshwater dilution and the mixing capacity difference between the inside and outside of the inlet.

The residual current pattern is mainly horizontal in the outside part of the Xiangshangang Bay inlet and vertical within the inlet.

Key words Salinity Front Circulation Xiangshangang bay

Subject classification number P731