

长江口北支进入南支净盐通量的观测与计算^{*}

茅志昌 沈焕庭 陈景山[†]

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

[†](华东师范大学资源与环境学院 上海 200062)

提要 根据2001年4月10—13日长江口大潮期5个潮周期3条测量船的同步连续观测资料,计算了长江口北支进入南支的净盐通量为 $5.45 \times 10^6 \text{ t}$,这一结果为预测长江口南支及青草沙水源地的咸潮入侵强度和开发利用长江口淡水资源提供了重要数据。

关键词 长江口 北支, 现场观测, 净盐通量

中图分类号 P736

长江口是多级分汊多口入海的潮汐河口,咸潮入侵的时空变化非常复杂,其中北支高盐水倒灌南支是造成长江口南支及南、北港上段(包括青草沙水源地)咸潮入侵的主要来源之一(沈焕庭等,1980;韩乃斌等,1984;邹德森等,1984;徐建益等,1994;茅志昌等,2000,2001)。自上世纪80年代后期至今,北支上首的水流、盐度多船同步观测工作尚未进行,但近几年北支河势演变非常剧烈,尤其是北支上首青龙港河段变化甚为显著,目前北支的状况与20世纪70、80年代相比已发生了很大变化,与90年代后期状况比较也有很大差别。所以掌握北支近期倒灌南支的净盐通量,对于预测长江口南支及青草沙水源地的咸水入侵强度是必不可少的,也是开发利用长江口淡水资源需要解决的关键问题之一。

1 现场观测

1.1 观测断面及测点

长江口北支位于上海市崇明县和江苏省海门、启东市之间。北支西起崇头,东至连兴港,长约75km,面积约80万亩。北支上首牛棚港—青龙港断面宽度约为2000m,是北支最为狭窄之处。在牛棚港一侧有一条涨潮槽,槽宽约500m,青龙港以西一侧为一条涨潮沟,约为100m宽,涨潮槽与涨潮沟之间为浅滩,宽度约1200m,滩面高程多在1.2m左右,在一个潮周期内,有3—4个小时露滩。

本次观测在该断面布设三艘测量船,分别位于涨潮沟(1[#])、涨潮槽(2[#])以及浅滩(3[#]),见图1。

1.2 观测仪器及观测要求

采用SLC9-II直读式海流计测流速、流向, WUS930盐度计测盐度,回声测深仪测水深。观测日期自2001年4月10—13日(农历十七至二十)共5个潮周期,逐时正点测流取水样,憩流附近加测。当水深 $\geq 3.0\text{m}$ 时,采用6点法,即取相对水深 $Z/H = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ (河床以上0.5m),当水深 $< 3.0\text{m}$ 时,采用3点法,即 $Z/H = 0.0, 0.6, 1.0$ (H 为瞬时水深)。

2 结果

2.1 涨落潮不对称

北支口门宽约16km,上口最窄处为2km,为一喇叭状水道,加之北支处于淤积过程,浅滩众多。外海潮波进入北支后,受断面束窄水深变浅的影响,潮波反射加剧,波能集中,波高加大;波峰处水深大,传播速度比波谷处快,前坡变陡,后坡变缓,水深愈浅,潮差愈大,变形愈烈。图2表明,青龙港涨潮历时短,落潮历时长,一般从低潮位上升到高潮位需2.5—3.1h,从高潮位下降到低潮位需10—9.5h。涨潮流历时为4.2—4.8h,落潮流历时为8.3—7.8h,且涨潮流速大于落潮流速,实测最大涨潮流速为 3.1ms^{-1} (图3)。

^{*} 上海市“重点学科建设项目”、上海市水务局、上海市原水股份有限公司联合资助项目,2001年。茅志昌,教授,E-mail: zcmiao@etang.com

收稿日期:2002-10-11,收修改稿日期:2003-07-13

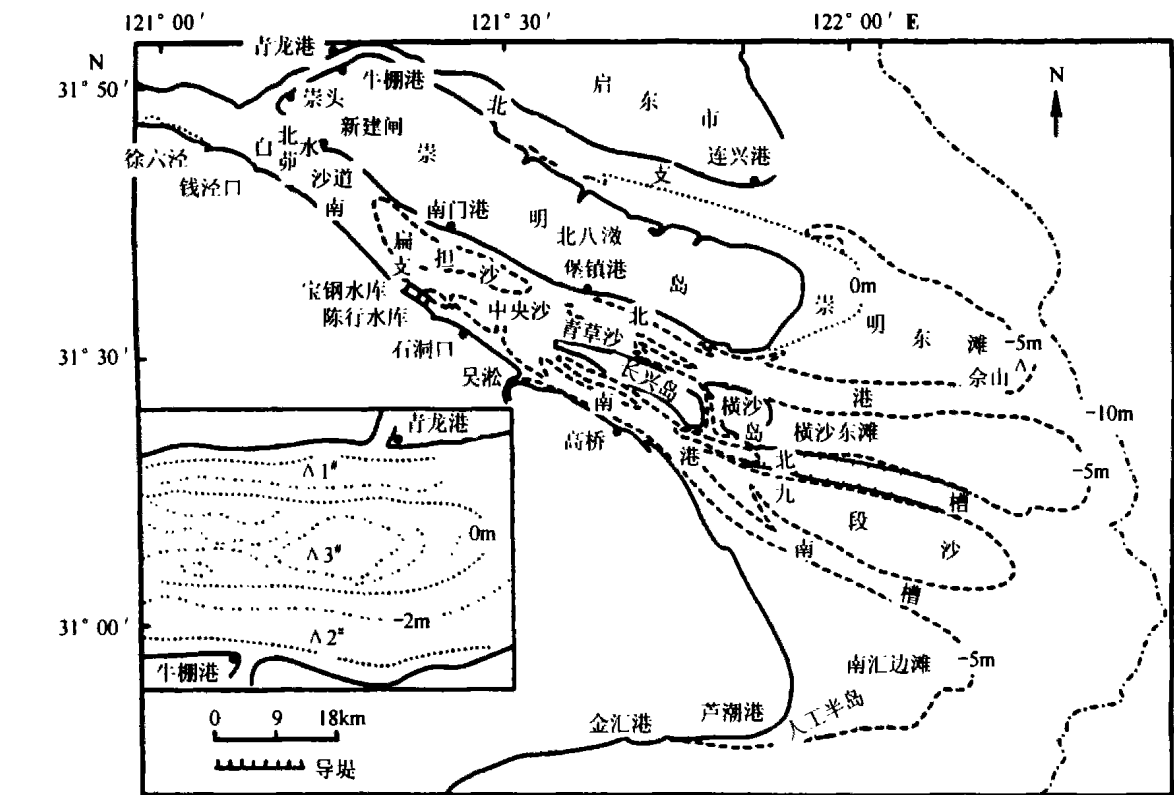


图 1 长江口形势图
Fig. 1 Location map of the Changjiang River estuary

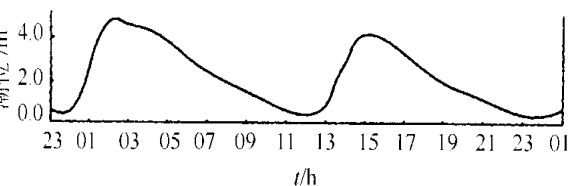


图 2 青龙港实测潮位(2001. 4. 10)
Fig. 2 Measured tidal elevation at Qinglonggang tidal station, 10th April, 2001

2.2 局部环流

水动力与河床地形是一对相互依存、相互影响、互为制约的矛盾统一体。青龙港河段由涨潮槽(沟)与浅滩组成, 一般在涨潮前期, 浅滩先涨, 河槽后涨, 这一现象在 1[#] 测点反映最为明显(图 3)。青龙港西侧的涨潮沟, 虽然水深在增加, 但测得的流向却是落潮流向, 这是浅滩上的水体以落潮流方向进入涨潮沟所致。上述现象说明在这一河段, 潮流除了纵向流动外, 还有横向输移, 形成局部环流。

2.3 盐度

观测期间, 青龙港断面 3 个测点的盐度在 10—24 之间, 绝大多数观测值在 22—23.5 之间, 少数几

个低盐度值出现在 12 与 13 日的落憩时段。3[#] 测点涨、落憩时刻的盐度值基本接近, 为 22—23.5, 说明浅滩上的水体来自北支下游的涨潮流; 涨潮槽(沟)涨、落潮含盐度, 4 月 10—11 日接近, 12—13 日落憩时的最低盐度值仅为涨憩时的二分之一, 反映了在某一大通流量下, 北支盐度倒灌量与潮差密切相关, 随着北支潮差减小, 长江径流进入北支, 氯离子浓度降低。

由于北支进潮量大, 水深又浅(高潮位时水深多在 5.0m 以下), 潮汐泵的作用十分明显。利用盐度分层系数 N ($N = \frac{S_{底} - S_{表}}{\bar{S}}$, $S_{底}$ 、 $S_{表}$ 、 $\bar{S}$ 分别为测点的底层、表层和垂线的平均盐度), 统计了 4 月 10—13 日共 76 个小时的实测值, 结果列于表 1。强混合型占 87%, 缓混型占 13%, 后者均发生在落潮后期。

表 1 2[#] 测点盐度混合型统计
Tab. 1 Mixed types of the Salinity at 2[#] station

混合型	高度分层型 ($N > 10^0$)	缓混型 ($N = 10^0 - 10^{-1}$)	强混型 ($N < 10^{-1}$)
百分比	0	13	87

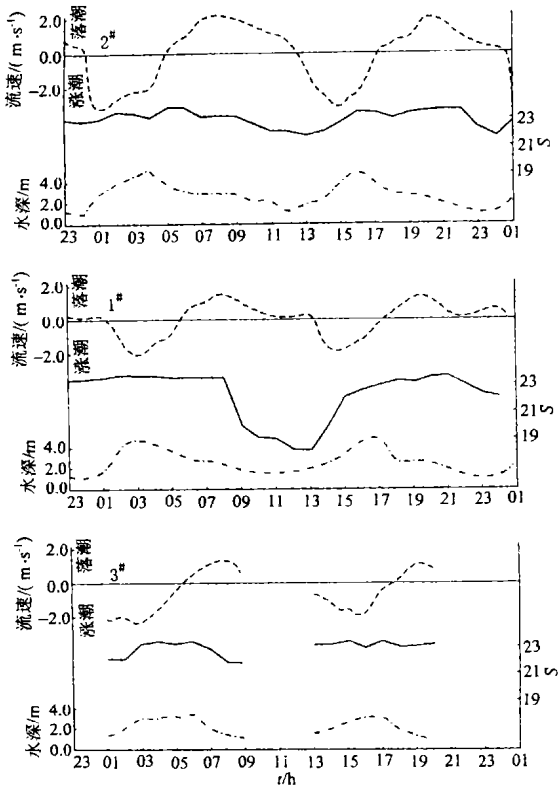


图 3 1[#]、2[#]、3[#] 测站在两个潮周期内的流速(虚线)、盐度(实线)、水深(点虚线)过程线

Fig.3 Variation of the velocity (dashed line), Salinity (solid line), Water depth (dashed-point line) during two tidal cycle, 1[#], 2[#], 3[#] station, 10th April, 2001

2.4 盐通量计算

近几年, 由于河流对海洋环境污染所起的特殊作用, 对河口物质入海通量的研究, 受到人们的普遍重视(Uncles *et al*, 1985; 沈志良, 1997; Simpson *et al*, 1997, 2001; Lane *et al*, 1997; 沈焕庭等 2000, 2001; 许炯心, 2002)。长江口北支由于其特殊的地形和水文条件, 枯水期大量盐水倒灌南支。根据北支牛棚港—青龙港断面的地形和强混合特点, 采用如下公式计算盐通量:

$$F_s = 1000 \int_{t_1}^{t_2} (B \cdot H \cdot \bar{U} \cdot \bar{S}) dt \tag{1}$$

式中 F_s 为盐通量(g), B 为河宽或分断面宽度(m), H 为水深(m), $\bar{U}$ 为垂线平均流速(m/s), $\bar{S}$ 为垂线平均盐度, t_1 为涨(落)潮流起始时刻, t_2 为涨(落)潮流终止时刻, 1000 为水体体积与重量的换算系数。其中:

$$\bar{U} = \frac{1}{10} \int_0^1 u dz = \frac{1}{10} \left(u_0 + \sum_{i=0.2}^{0.8} 2u_i + u_{1.0} \right) \quad H > 3.0m \tag{2}$$

$$\bar{U} = \frac{1}{4} \int_0^1 u dz = \frac{1}{4} (u_0 + 2u_{0.6} + u_{1.0}) \quad H \leq 3.0m \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{1}{6} \int_0^1 s dz = \frac{1}{6} \sum_{i=0}^{1.0} S_i \\ &= \frac{1}{6} (S_0 + S_{0.2} + S_{0.4} + S_{0.6} + S_{0.8} + S_{1.0}) \quad H > 3.0m \end{aligned} \tag{4}$$

$$\bar{S} = \frac{1}{3} \int_0^1 s dz = \frac{1}{3} (S_0 + S_{0.6} + S_{1.0}) \quad H \leq 3.0m \tag{5}$$

式中 i 为垂向相对水层, 即 $i = z/H = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ 。净盐通量:

$$\Delta F_s = F_f - F_{se} \tag{6}$$

式中 F_f 、 F_{se} 分别为涨潮、落潮盐通量。

将观测断面划分为三个分断面, 整个断面的净盐通量为:

$$F_s = \sum_{j=1}^3 \Delta F_j \tag{7}$$

计算结果表明, 牛棚港—青龙港断面在 4 月 11—13 日 5 个潮周期内的净盐通量为 $5.45 \times 10^6 t$ 。

3 讨论

3.1 倒灌条件

北支高盐水倒灌南支通常发生在枯水期的大潮。根据以往研究成果(韩乃斌等, 1984; 茅志昌等, 2001), 当大通流量在 $25000 m^3/s$ 以下时, 青龙港潮差在 2.5m 以上, 北支盐水倒灌南支; 当大通流量连续小于 $11000 m^3/s$ 时, 大潮期北支盐水大量倒灌南支, 引起南支和南北港氯离子浓度持续上升。

自 1998 年长江发生大洪水后, 北支上段淤积速率加快, 河床抬升, 潮波反射加剧, 青龙港潮差增大。表 2 为观测期间的青龙港站潮差, 其最大值出现在农历十七, 为 4.39m。

表 2 青龙港站潮差(2001 年 4 月 10—13 日)

Tab.2 Tidal range at Qinglonggang station (April 10—13, 2001)				
观测日期	10 日	11 日	12 日	13 日
(农历)	(十七)	(十八)	(十九)	(廿)
潮差 (m)	4.39	4.08	3.55	3.30

3.2 倒灌趋势

北支自 20 世纪 50 年代开始出现盐水倒灌南支的现象, 70 年代北支盐水倒灌较为严重, 到了 80 年代, 由于徐六泾上游通洲沙东水道流路的变化, 有利

于北支分流量的增加,造成北支上段冲、下段淤的格局,减弱了北支盐水倒灌的强度。进入 90 年代,特别是 1991 年受长江洪水的影响,造成北支上段淤,下段局部冲的形势。自 50 年代以来,北支分泄长江径流甚少,仅占总径流量的 4%—6%。近几年枯水期,北支所占南、北支径流分流比进一步减少,潮差加大,倒灌强度增加。1998 年 12 月大潮期,青龙港盐度为 21—22(约合氯度 11623—12177mg/L),1999 年 3 月大潮,青龙港盐度达 24—26,接近于长江口口门附近的盐度;1998—1999 年的枯季,宝钢水库取水口水域氯度大于 250mg/L(我国饮用水氯度标准值,含盐度约为 0.45)的最长连续天数为 25 天;2001 年 1—4 月,宝钢河段共出现 7 次咸潮入侵过程,最高盐度达 1.9。由此可见,北支盐水倒灌南支的强度随长江下泄流量和北支河势的演变而有所增减。根据北支河床演变趋势分析,北支衰亡的过程不可逆转,如不采取工程措施,这个过程还会经历一个较长的时期。

3.3 倒灌途径

枯水季节大潮期,北支高盐水跃过崇头断面,以楔状的形式进入白茆沙北水道,随落潮流下泄,至新建水闸附近分成三路:一路沿崇明南岸进入新桥水道,其影响可达庙港、南门、直至北港。另一路漫过白茆沙,进入南水道,对白茆、钱泾、浪港等水域有一定影响。第三路是倒灌咸水团的主体进入七丫口窄河段,随落潮流向下游净位移,影响杨林、宝钢河段,在新桥通道口分为二部分;一部分经新桥通道到达北港,对青草沙北侧水域影响极为明显;另一部分咸水团过吴淞口进入南港,对高桥、瑞丰沙嘴水域影响也甚为显著。

3.4 咸水入侵源判别

根据多次现场观测资料分析,长江口南支及南、北港上段主要有两类咸水入侵源:北支倒灌和南北槽、北港盐水直接入侵。两者具有明显的特征:在一个潮周期内,若盐度峰、谷值分别出现在落憩、涨憩附近,且盐度值垂向分层不明显,则咸水来自北支;如盐度峰、谷值分别出现在涨憩、落憩附近,且盐度值垂向分层较为明显,则表明咸水来自北港和南、北槽的涨潮流;在半个月,若盐度高值区出现在小潮期或小潮后的寻常潮,低值区出现在大潮期,则表明咸水来自北支倒灌,如咸水来自南、北港的涨潮流,则低盐度区与高盐度区分别出现在小潮期和大潮期或稍后 1—2 天内。

图 4 根据崇头和高桥观测站的氯度值绘制。当崇头出现高盐水后 2—3 天,咸水团可到达宝钢(陈行)水库前沿,在此之前,高桥水域氯度无明显变化,在崇头出现高盐水后 4—5 天,上游过境咸水团到达高桥河段。如果高桥水域氯度值主要来自北支的倒灌咸水团,则高桥站的氯度与崇头的氯度具有较好的相关关系,其统计方程为:

$$Cl_{高} = 0.001(Cl_{崇})^{1.77} \quad (8)$$

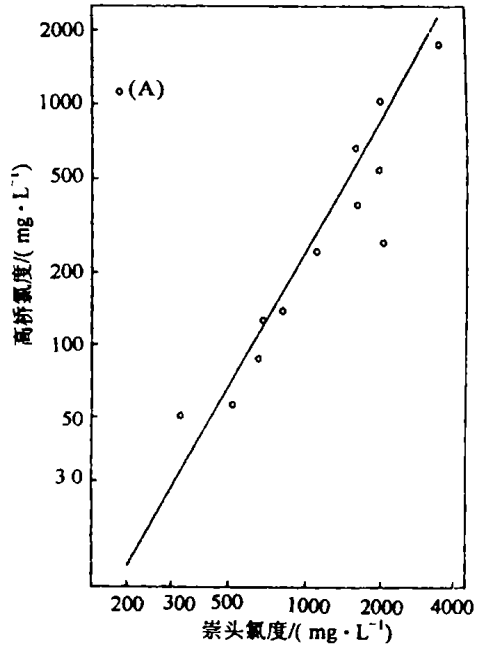


图 4 崇头与高桥氯度的相关图

Fig. 4 Correlation between chlorinity at Chongtou station and Gaoqiao station

如点子偏离直线距离较远(如图中的 A),则表明咸水主要来自南港涨潮流。

4 结语

北支高盐水倒灌南支,是造成南支及南、北港上段(包括青草沙水源地)氯度升高的主要原因。据 2001 年 4 月中旬大潮期 5 个潮周期的观测值计算,北支进入南支的净盐通量为 $5.45 \times 10^6 t$ 。北支倒灌盐量与大通流量成反比,与青龙港潮差成正比。

由于北支上段近年淤积率加快,导致潮差加大,在大通流量相近的条件下,北支盐水倒灌量增加,加快对北支整治方案的研究显得极为紧迫。

参 考 文 献

许炯心, 2002. 不同来源水沙对黄河入海泥沙通量的影响. 海洋与湖沼, 33(5): 536—545
沈焕庭, 茅志昌, 谷国传等, 1980. 长江河口盐水入侵的初步研

究——兼谈南水北调. 人民长江, 3: 20—26

沈焕庭, 张 超, 茅志昌, 2000. 长江入河口区水沙通量变化规律. 海洋与湖沼, 31(2): 288—294

沈焕庭著, 2001. 长江河口物质通量. 北京: 海洋出版社, 1—13

沈志良, 1997. 长江干流营养盐通量的初步研究. 海洋与湖沼, 28(5): 522—527

邹德森, 黄志良, 1984. 长江口北支近期演变. 泥沙研究, 2: 11—21

茅志昌, 沈焕庭, 徐彭令, 2000. 长江河口咸潮入侵 规律及淡水资源利用. 地理学报, 55(2): 243—250

茅志昌, 沈焕庭, 肖成猷, 2001. 长江口北支 盐水倒灌南支对青草沙水源地的影响. 海洋与湖沼, 32(1): 58—65

徐建益, 袁建忠, 1994. 长江口南支河段盐水入侵规律的研究. 水文,

83(5): 1—6

韩乃斌, 卢中一, 1984. 长江口北支演变及治理的探讨. 人民长江, 3: 40—45

Lane A, Prandle D, Harrison A J, *et al*, 1997. Measuring fluxes in tidal estuaries: sensitivity to instrumentation and associated data analyses. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 45: 433—451

Simpson J H, Gong W K, Ong J E, 1997. The determination of fluxes from a mangrove estuary system. Estuaries, 20: 103—109

Simpson J H, Vennell R, Souza A J, 2001. The salt fluxes in a tidally-energetic estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 52: 131—142

Uncles R J, Elliott R C A, Weston S A, 1985. Observed fluxes of water, salt and suspended sediment in a partly mixed estuary. Estuarine, Coastal and Science, 20: 147—167

MEASUREMENT AND CALCULATION OF NET SALT FLUXES FROM THE NORTH BRANCH INTO SOUTH BRANCH IN THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY

MAO Zhi-Chang, SHEN Huan-Ting, CHEN Jing-Shan

(State Key Lab of Estuarine and Coastal Research, Institute of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062)

-(School of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai, 200062)

Abstract Since the late 1950s, decreased discharge into the North Branch of the Changjiang estuary, combined with strengthened tidal current function and the gradual swallowing of the channel, has resulted in the North Branch transforming from an ebb dominated channel to a flood dominated channel. After the flooding of 1998, sedimentation rate in the upper reaches of the North Branch increased as did the tidal range. Under similar discharge conditions at Datong Station, chlorinity increased due to saltwater intrusion from the North Branch to the South Branch. A main reason for the rise of chlorinity in the South Branch and upstream regions of the South and North Channel(including the Qingcaosha water area) is the saltwater intrusion from the North Branch into the South Branch. From measurements of water depth, chlorinity, flow velocity and direction during five spring tidal cycles in April 10—13, 2001, net salt fluxes from the North Branch into the South Branch were calculated to be around $5.45 \times 10^6 \text{t}$. This research provides the necessary data for prediction of the intensity of saltwater intrusion in the South Branch and Qingcaosha water area plus basis for utilization of the freshwater resources in the Changjiang estuary.

Key words North Branch of Changjiang River estuary, Field measurements, Net salt fluxes