

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.04.007

丁磊, 窦希萍, 高祥宇, 等. 长江口 2013 年和 2014 年枯季盐水入侵分析[J]. 水利水运工程学报, 2016(4): 47-53. (DING Lei, DOU Xi-ping, GAO Xiang-yu, et al. Analysis of saltwater intrusion into Yangtze estuary during dry seasons of 2013 and 2014[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(4): 47-53.)

## 长江口 2013 年和 2014 年枯季盐水入侵分析

丁磊<sup>1</sup>, 窦希萍<sup>1</sup>, 高祥宇<sup>1</sup>, 徐海东<sup>2</sup>, 缴健<sup>1</sup>

(1. 南京水利科学研究院 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 长江水利委员会 长江口水文水资源勘测局, 上海 200136)

**摘要:** 为研究长江口枯季盐水入侵及北支盐水倒灌特性,于 2013 年 12 月及 2014 年 2 月两次对长江口南北支分汉口处进行全潮同步水文测验,分析结果表明:受地形地貌因素影响,北支进口盐度比同期南支白茆沙水域的高出一个数量级。水域盐度与径流量大小呈负相关关系,与潮差大小呈正相关关系。径流较小、潮差较大时,北支盐水会发生倒灌。由于下泄径流的顶托,迫使倒灌盐水北偏,使得白茆沙北水道盐度大于南水道。风应力对盐水入侵的影响不可忽视,持续的南风会减弱长江口北支的盐水入侵。在枯季条件下,北支倒灌盐水一般沿白茆沙北水道南侧下泄。大潮时倒灌进入南支的盐水在白茆沙水域有一定时间的滞留,使得白茆沙水域盐度往往会在大潮后的中潮期达到最大。

**关键词:** 盐水入侵; 枯季; 北支; 风应力; 长江口

**中图分类号:** X522

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2016)04-0047-07

长江口在平面上呈“三级分汉,四口入海”格局。崇明岛将长江分为南支和北支,长兴岛和横沙岛将南支分为北港和南港,九段沙将南港分为北槽和南槽。目前,长江口三大集中水源地(陈行水库、青草沙水库和东风西沙水库)取水口均位于长江口南支及附近水域,供水量占上海市 80%左右。然而,每年枯季,长江口水源地在一定时段内都会受到盐水入侵的威胁和影响。盐度过高会对工农业生产用水和生活用水产生一系列不利影响<sup>[1-3]</sup>,国家规定,水中氯化物含量超过 250 mg/L 的就不能用于自来水原水。

长江口南支所受到的盐水威胁有两个来源,一是通过北港、北槽、南槽从外海而来的正面入侵;二是从北支进入南支的盐水倒灌。顾玉亮等<sup>[4]</sup>从水源地最长不宜取水天数的角度对盐度资料进行分析,得出正面盐水入侵不会对水源地构成威胁,北支倒灌是南支水域盐水的主要来源。陈泾等<sup>[5]</sup>通过数学模型提出青草沙水库取水口表层和底层盐水入侵主要源自北支盐水倒灌。曹利利等<sup>[6]</sup>指出北支倒灌盐水的影响范围已扩展到南、北港。因此,北支倒灌盐水对长江口水源地的影响不可忽视。因北支径流分流比很小,仅占约 4%,枯季潮动力较强时会发生严重的盐水入侵,高浓度盐水团随着涨潮流上溯,甚至会越过崇头进入南支,即发生盐水倒灌。1991—1998 年北支上口围垦工程、1998 年大洪水引起的南北支分汉口河势变化等因素都造成了 20 世纪以来北支盐水倒灌的趋势加剧。

许多学者对长江口北支的盐水入侵及北支盐水倒灌的特征与影响进行研究。赵捷等<sup>[7]</sup>认为南支盐度变化较北支复杂,在落潮时受北支倒灌盐水影响,盐度短时间内明显增加。茅志昌等<sup>[8]</sup>提出北支倒灌的盐水会使得南支盐度最大值不出现在大潮期,盐度日最高值出现在落憩附近,日最低值出现在涨憩附近。然

**收稿日期:** 2015-12-03

**基金项目:** 中央分成水资源费项目(1261530210283); 国家科技支撑计划项目(2013BAB12B04, 2013BAB12B05); 国家自然科学基金面上项目(51479122); 交通运输建设科技项目(2011-328-746-40, 2012-329-A06-040)

**作者简介:** 丁磊(1993—),男,江苏盐城人,硕士研究生,主要从事港口海岸及近海工程研究。

E-mail: hhudinglei@126.com

而,北支河势与地形特殊,近年来的围垦工程等也使得北支平面形态发生较大变化,北支盐水倒灌特征也会随之发生一定改变。为进一步研究近年来长江口盐水入侵的特征和盐水对南支水源地的影响,2013年12月以及2014年2月对长江口南北支分叉口处分别进行两次全潮同步水文测验。本文通过对这次现场观测资料的整理,分析北支盐水倒灌的规律与特点,并对本次观测中出现异常现象的原因进行探讨。

## 1 现场观测

### 1.1 测点布置

2013年12月3—12日和2014年2月8—15日在长江口南北支分叉口分设5条盐度测验垂线测量大中小潮盐度,测点布置见图1。B1测点位于北支进口,其他4个测点位于南支上段的白茆沙汊道河段。白茆沙汊道河段为双汊河型,头部接近双弧形,尾部狭长,整体呈菱形的江心洲,滩顶高程1.0 m以上。白茆沙南水道为主汊,北水道为支汊。B2测点位于白茆沙北水道北部,B3测点位于北水道南部,B4测点位于南水道北部,B5测点位于南水道南部。近期水文测验显示,大潮时北水道全潮净泄分流比占25.5%,南水道占74.5%;小潮时北水道全潮净泄分流比占29.1%,南水道占70.9%。北水道的净泄分流比随潮差的增大而减小。每组测验均进行28 h,各测验断面同步观测,保证潮位两涨两落,满足潮流闭合要求。测验期间每个整点按6点法取水样,取回水样在试验室采用硝酸银滴定法进行测定。下文中所提到的测点盐度,均为该垂线不同深度6点所测盐度的算术平均值。

### 1.2 测验条件

2013年12月测验期间,各测点风向均为西北风为主,风速较小,最大风速不超过10 m/s。2014年2月实测风场资料显示,长江口及外海区域2月6—20日为持续强偏北风,大部分时间风速大于10 m/s,最大风速达15 m/s,只有2月14—16日风速较小且有一段时间以东南风为主。

通常认为长江径流从大通站到长江口需要5~7 d<sup>[9]</sup>,因此,选择测验开始前6 d的大通站日平均径流量作为盐度测验时的径流特征量,将崇头站的潮差作为潮流特征量。对测验的6个组次进行编号,编号前部表示测验的年份,后部表示潮型。表1为测验组次及该时段对应的径流量和潮差。

表1 测验时段的径流量和潮差

Tab. 1 Runoff discharge and tidal range of hydrological tests

组次编号	开始时间	结束时间	潮型	径流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	潮差/m
13-D	2013-12-03T08:00	2013-12-04T11:00	大潮	12 700	3.41
13-Z	2013-12-07T12:00	2013-12-08T15:00	中潮	12 200	3.07
13-X	2013-12-11T18:00	2013-12-12T21:00	小潮	13 000	1.94
14-X	2014-02-08T15:00	2014-02-09T18:00	小潮	10 700	0.96
14-Z	2014-02-11T08:00	2014-02-12T11:00	中潮	10 800	1.83
14-D	2014-02-14T09:00	2014-02-15T12:00	大潮	10 900	2.90

## 2 结果与分析

### 2.1 盐度过程分析

2.1.1 盐度过程特征 通过对两次全潮水文测验点盐度过程(图2(a)~(f))分析,发现如下特点:南支白

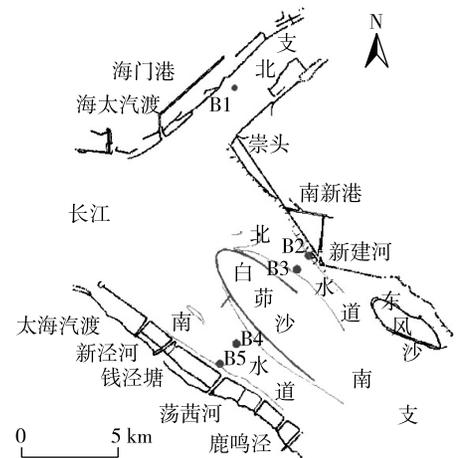


图1 测点位置

Fig. 1 Position of observing points

茆沙测点的盐度基本呈现横向上从 B2 到 B5 即由北向南逐渐递增的关系,白茆沙北水道盐度明显高于南水道。白茆沙南水道两个测点盐度较为接近,且盐度变化相位较一致,均与同期北支进口 B1 测点的盐度过程大致相同。北水道南部 B3 测点的盐度过程与北支进口 B1 测点的盐度过程相比,在落潮期会发生变异,潮周期的盐度过程会出现 4 个极大值,其中两个极大值与北支进口 B1 测点盐度峰值出现时间基本同步,为白茆沙以下南支水域的盐水团随涨潮流返回所致;另两个极大值发生在落潮中后期,即盐度会突然增大,且基本与北支进口 B1 测点盐度峰值差值成正相关关系。B2 测点也会发生同样的变异,但没有 B3 测点明显。在整个潮周期过程中,北水道北部测点 B2 的盐度在大多数时间里会高于北水道南部测点 B3,但在落潮中后期 B3 测点的盐度发生突增后,往往会短暂地明显高于 B2 测点,因为同时期 B2 测点的盐度虽有增加,但增幅小于 B3 测点。

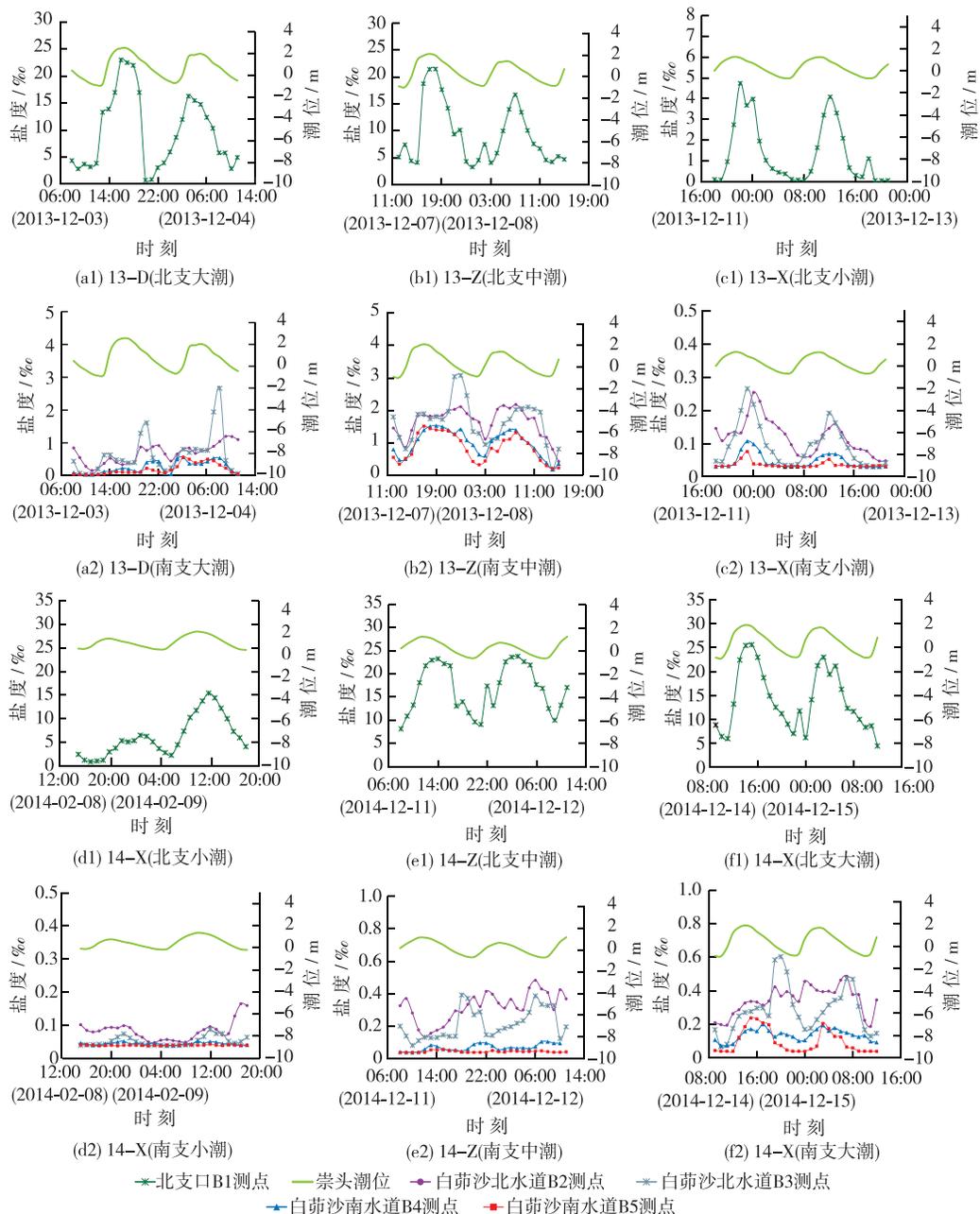


图2 测点盐度过程线

Fig. 2 Salinity duration curves of observing points

**2.1.2 北支盐水倒灌过程** 通过上述现象可总结出北支进口盐水倒灌的规律。北支进口的盐度在崇头潮位涨憩附近达到峰值,南支水域白茆沙南水道的盐度同时升高达到峰值,白茆沙北水道盐度也升高到极大值,此时,白茆沙水域盐水的来源为白茆沙以下的南支水域。前期北支盐水倒灌而来,在白茆沙以下南支水域的盐水团受到涨潮流的影响,部分盐水顺着涨潮流返回,使得白茆沙水域盐度升高。而白茆沙北水道盐度在落潮中后期发生突增,此时盐水的来源即为北支高浓度盐水团的倒灌。倒灌的盐水主要影响白茆沙北水道,一般情况下对南水道几乎没有影响。北水道南部的盐度突增要大于北部,表明在枯季条件下,北支倒灌的盐水团一般沿白茆沙北水道的南侧下泄。

**2.1.3 盐度过程异常变化** 分析以上数据发现,白茆沙盐度过程在不同的径流和潮流组合下还呈现出了部分异常特点。13-X 测验期间,白茆沙北水道两个测点盐度仅出现两个极大值且均在涨憩附近,落潮时没有出现盐度升高。表明 13-X 测验期间,没有发生盐水倒灌。此时对应的大通流量为 $13\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ ,与不同时期的小潮相比,大于发生北支盐水倒灌的 14-X 对应的大通流量 $10\ 900\ \text{m}^3/\text{s}$ ;与同期大潮和中潮相比,对应的大通流量变化不大,但是潮差仅为 $1.94\ \text{m}$ ,分别小于中潮的 $3.07\ \text{m}$ 和大潮的 $3.41\ \text{m}$ ,因此,在枯季较大的大通流量和较小的潮差影响下,白茆沙水域在 13-X 测验期间没有受到北支盐水的影响。观察 14-X 测验期间各测点的盐度过程线发现,B2 测点在后半潮落潮中后期盐度有非常显著的突升,而 B3,B4,B5 测点盐度几乎没有升高,说明此时倒灌盐水绝大部分进入了白茆沙北水道北部,对北水道南部影响很小,对南水道没有影响。观察 14-D 测验期间各测点的盐度过程线发现,白茆沙南水道测点在后半潮落潮中后期盐度也有不明显但可以察觉到的升高,即潮差较大时南水道也会受到北支倒灌盐水的微弱影响。因此,北支倒灌盐水对白茆沙水域的影响范围与北支进口潮差大小有关。若大通流量小到可以使得北支盐水在潮差较小时发生倒灌,往往先影响北水道北部。随着潮差加大,影响范围逐渐南移,潮差较大时,北支倒灌盐水对白茆沙南水道也有影响。这可以从白茆沙河段分流比与潮差的关系进行解释,潮差的增大使得南水道净泄分流比也相应增大,从而使北支携带的高浓度盐水团在白茆沙头部进入南水道的比例也有增加。

## 2.2 盐度特征值分析

**2.2.1 盐度特征值的大小** 根据本次测验结果,以平均盐度  $S$ ,最大盐度  $S_{\max}$  和超标持续时间  $T$  作为测点盐度特征值。平均盐度指各测点在测验期间逐时盐度的均值,最大盐度指各测点在测验期间出现的逐时盐度最大值。一般认为,当某河口水域氯化物浓度超过  $100\ \text{mg/L}$ ,即盐度超过  $0.2\text{‰}$ 时,该处发生盐水入侵,超标持续时间表示测验期间各测点盐度超过  $0.2\text{‰}$ 所持续的最长时间。表 2 为测验期间各测点的盐度特征值。

表 2 测点盐度特征值

Tab. 2 Salinity characteristic values of observing points

测验组次	平均盐度 $S/\text{‰}$					最大盐度 $S_{\max}/\text{‰}$					最大超标持续时间 $T/\text{h}$			
	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4
13-D	9.70	0.68	0.64	0.25	0.20	23.00	0.57	2.67	0.57	0.56	28	28	26	9
13-Z	9.34	1.64	1.64	1.00	0.85	21.48	1.54	3.09	1.54	1.52	28	28	28	28
13-X	1.38	0.12	0.10	0.05	0.04	4.74	0.11	0.27	0.11	0.08	10	2	3	0
14-X	6.23	0.08	0.05	0.04	0.04	15.43	0.05	0.09	0.05	0.04	28	0	0	0
14-Z	16.84	0.32	0.21	0.07	0.04	23.81	0.11	0.39	0.11	0.06	28	28	20	0
14-D	14.04	0.35	0.29	0.14	0.10	25.57	0.20	0.61	0.20	0.24	28	28	28	1

### 2.2.2 盐水入侵影响因素

(1) 地形地貌。北支是典型的喇叭型河口,北支下口门处断面宽阔,纳潮量巨大,而上口门处断面窄浅,导致了潮波从口外传入时发生了强烈变形。受北支上口门处围垦工程的影响,北支上段与南支夹角更加接近直角,分泄径流量小,这种独特的地形地貌,利于盐水入侵。测验结果也表明,北支进口测点的盐度(若无

特殊说明,下文中盐度均指平均盐度和最大盐度)要比与同期南支白茆沙测点盐度高得多,存在一个数量级的差异,最大超标持续时间要普遍长于南支各测点,除13-X组外,其他组次测验的全部潮周期内,北支进口盐度均超标。

(2) 径流与潮流。对长江口盐水入侵起决定性作用的动力因子是径流和潮流,径流、潮流两股动力在时、空上的此消彼长,也是导致长江口盐水入侵情况复杂的主要原因。研究<sup>[10-12]</sup>表明,其他因素相同时,径流量越大,盐水入侵强度越小;潮差越大,盐水入侵强度越大。13-X与14-Z两组测验期间的潮差较为接近,但13-X对应的径流量 $13\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 大于14-Z对应的 $10\ 800\ \text{m}^3/\text{s}$ 。14-Z所有测点的盐度比13-X测得的盐度高,说明在潮差基本相同时,水域盐度会随径流量的减小而增大;比较13-X与13-Z或14-X与14-Z,每次全潮测验时的径流量几乎相同,但小潮时全部测点的盐度均小于中潮时,说明径流量基本不变时,盐度随着潮差的增大而增大。分析各测验组次的盐度,发现白茆沙北水道的盐度普遍高于南水道。这同样是受径流影响所致。倒灌盐水受到了下泄径流顶托,迫使倒灌盐水北偏,使得白茆沙北水道盐水入侵强度大于南水道。

(3) 风。从2014年初全潮水文测验资料看,测验结果并不完全符合从小潮到大潮随着潮差的增大,测点盐度递增、超标持续时间增长的特点,存在着异常的变化。南支白茆沙水域各测点盐度从小潮到大潮依次增大,北支测点的最大盐度从小潮到大潮依次增大,但北支测点的平均盐度却在中潮时(14-Z)达到最大,该现象是由于风的影响所致。偏北风在口门外以北会产生沿海岸向南的海流,并且在口外形成指向陆地的埃克曼(Ekman)输运,从而导致更多海水进入北支,使得北支盐水入侵增强<sup>[15]</sup>。而东南风则会使得北支盐水入侵的强度大大减弱。2014年初小潮(14-X)、中潮(14-Z)测验期间长江口北支水域均由偏北风控制,持续的偏北风增加了北支盐水入侵的强度。大潮测验(14-D)期间除偏北风外,遇上枯季鲜有的较长时间东南风,因北支上段为东北-西南走向,东南风对盐水在北支上段的上溯起到了阻碍作用。因此,未受东南风干扰时,大潮(14-D)北支测点的盐度高于中潮(14-Z)和小潮(14-X),即大潮时的最大盐度(14-D)高于中潮(14-Z)时,但因风向改变,持续东南风导致大潮(14-D)北支测点的平均盐度比中潮(14-Z)时低。

**2.2.3 北支盐水倒灌影响** 2013年12月全潮水文测验资料,与2014年2月相同,也出现了异常现象。北支进口盐度从大潮到小潮依次减小,但南支白茆沙水域各测点的盐度却在中潮时(13-Z)达到最大。2013年12月南支白茆沙水域中潮盐度高的现象与北支的盐水倒灌有关。北支盐水倒灌会因潮差较大径流量较小而增强,北支盐水进入南支后,并不会很快下泄进入外海,而会随涨落潮流上下震荡<sup>[13-14]</sup>。13-Z为大潮后的中潮,大潮时倒灌的高浓度盐水团进入南支被扩散稀释,但并未完全下泄,而大潮持续带来的盐水团在南支水域聚集,白茆沙水域盐度升高,使得中潮时的盐度高于大潮时;中潮向小潮转变期间,随着潮差的减弱,北支倒灌南支的盐水团浓度持续降低,南支盐水被持续稀释并下泄,白茆沙水域的盐度又开始降低。因此,南支白茆沙水域中潮时盐度达到了最大值。

### 3 结 语

通过对2013年12月3—12日和2014年2月8—15日长江口南北支分汉口两次全潮盐度测量资料进行分析,得出如下结论:

(1) 长江口盐水入侵受地形地貌、径流潮流、风等因素共同影响。枯季长江口北支进口盐度比同期南支白茆沙水域盐度高出一个数量级,最大超标持续时间要普遍长于南支各测点,南支白茆沙北水道盐水入侵强度要高于南水道。径流与潮流是影响枯季长江口南北支分汉口附近水域盐度高低的主要因素,该水域盐度与径流量大小呈负相关关系,与潮差大小呈正相关关系。下泄径流的顶托使得白茆沙北水道盐水入侵强度大于南水道。持续的南风会使得北支盐水入侵强度减弱。

(2) 北支盐水倒灌强度也与径流和潮流有关,枯季潮差小时不会发生盐水倒灌。倒灌的盐水主要影响白茆沙北水道,北水道盐度会因北支倒灌的盐水在落潮中后期发生突增,在枯季条件下一般沿白茆沙北水道的南侧下泄,南水道仅在潮差较大时会受到较小影响。若长江口潮汐强度比现状仍有增强,不排除倒灌盐水沿白茆沙南水道下泄的可能。白茆沙以下南支水域的部分盐水团也会顺着涨潮流返回,使得南支白茆沙水

域盐度过程线在涨憩附近也出现极大值。由于大潮时倒灌南支的盐水会在南支白茆沙水域滞留,导致白茆沙南北水道的盐度在大潮后中潮达到最大。

### 参 考 文 献:

- [1] 茅志昌, 沈焕庭, 姚运达. 长江口南支南岸水域盐水入侵来源分析[J]. 海洋通报, 1993, 12(3): 17-25. (MAO Zhi-chang, SHEN Huan-ting, YAO Yun-da. Analysis of sources of saltwater intrusion along south bank of south branch of Yangtze River estuary[J]. Marine Science Bulletin, 1993, 12(3): 17-25. (in Chinese))
- [2] 丁磊, 窦希萍, 高祥宇, 等. 长江口盐水入侵研究综述[C]//中国海洋工程学会. 第十七届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下). 2015: 5. (DING Lei, DOU Xi-ping, GAO Xiang-yu, et al. The research of saltwater intrusion in Yangtze estuary[C]//China Ocean Engineering Academy. The 17th China Ocean and Coast Engineering Symposium (Vol. 2). China Ocean Engineering Academy, 2015: 5. (in Chinese))
- [3] 宋志尧, 茅丽华. 长江口盐水入侵研究[J]. 水资源保护, 2002(3): 27-30. (SONG Zhi-yao, MAO Li-hua. Salt water encroachment at the Yangtze River estuary[J]. Water Resources Protection, 2002(3): 27-30. (in Chinese))
- [4] 顾玉亮, 吴守培, 乐勤. 北支盐水入侵对长江口水源地影响研究[J]. 人民长江, 2003, 34(4): 1-3, 16. (GU Yu-liang, WU Shou-pei, LE Qin. Impact of intruded saline water via north branch of the Yangtze River on water source areas in the estuary area[J]. Yangtze River, 2003, 34(4): 1-3, 16. (in Chinese))
- [5] 陈泾, 朱建荣. 长江河口青草沙水库盐水入侵来源[J]. 海洋学报(中文版), 2014(11): 131-141. (CHEN Jing, ZHU Jian-rong. Sources for saltwater intrusion at the water intake of Qingcaosha reservoir in the Changjiang estuary[J]. Acta Oceanologica Sinica(Chinese), 2014(11): 131-141. (in Chinese))
- [6] 曹利利, 陶建峰, 张长宽, 等. 长江河口枯季北支盐水倒灌特征分析[J]. 人民长江, 2012, 43(增1): 90-92. (CAO Li-li, TAO Jian-feng, ZHANG Chang-kuan, et al. Analyses of saltwater spilling over from north branch in Yangtze estuary in dry season [J]. Yangtze River, 2012, 43(Suppl1): 90-92. (in Chinese))
- [7] 赵捷, 何青, 王宪业, 等. 长江口南北支水沙特性观测研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(1): 21-29. (ZHAO Jie, HE Qing, WANG Xian-ye, et al. Field observations on the characteristics of current and sediment of the south and north branches in the Yangtze estuary[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(1): 21-29. (in Chinese))
- [8] 茅志昌, 沈焕庭, 肖成猷. 长江口北支盐水倒灌南支对青草沙水源地的影响[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(1): 58-66. (MAO Zhi-chang, SHEN Huan-ting, XIAO Cheng-you. Saltwater intrusion patterns in the Qingcaosha area Changjiang River estuary[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2001, 32(1): 58-66. (in Chinese))
- [9] 曹勇, 陈吉余, 张二凤, 等. 三峡水库初期蓄水对长江口淡水资源的影响[J]. 水科学进展, 2006, 17(4): 554-558. (CAO Yong, CHEN Ji-yu, ZHANG Er-feng, et al. Influence of Three Gorges reservoir filled with water on freshwater resource in the Yangtze River estuary[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(4): 554-558. (in Chinese))
- [10] 徐建益, 袁建忠. 长江口南支河段盐水入侵规律的研究[J]. 水文, 1994(5): 1-6, 63. (XU Jian-yi, YUAN Jian-zhong. The research on salt-water intrusion into the south branch of the Yangtze estuary[J]. Hydrology, 1994(5): 1-6, 63. (in Chinese))
- [11] 朱建荣, 刘新成, 沈焕庭, 等. 1996年3月长江河口水文观测和分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2003(4): 87-93. (ZHU Jian-rong, LIU Xin-cheng, SHEN Huan-ting, et al. Observation and analysis of hydrology in the Changjiang estuary in March of 1996[J]. Journal of Eastchina Normal University(Natural Science), 2003(4): 87-93. (in Chinese))
- [12] 韩乃斌. 长江口南支河段氯度变化分析[J]. 水利水运科学研究, 1983(1): 74-81. (HAN Nai-bing. Analysis of chlorinity change in south branch of Yangtze estuary[J]. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 1983(1): 74-81. (in Chinese))
- [13] WU H, ZHU J R, CHEN B R, et al. Quantitative relationship of runoff and tide to saltwater spilling pver from the north branch in the Changjiang estuary: a numerical study[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 69: 125-132.
- [14] 吴辉, 朱建荣. 长江河口北支倒灌盐水输送机制分析[J]. 海洋学报(中文版), 2007, 29(1): 17-25. (WU Hui, ZHU Jian-rong. Analysis of the transport mechanism of the saltwater spilling over from the north branch in Changjiang estuary in China [J]. Acta Oceanologica Sinica(Chinese), 2007, 29(1): 17-25. (in Chinese))
- [15] LI L, ZHU J R, WU H. Impact of wind stress on saltwater intrusion in the Yangtze estuary[J]. Science China Earth Sciences, 2012, 55: 1178-1192.

## Analysis of saltwater intrusion into Yangtze estuary during dry seasons of 2013 and 2014

DING Lei<sup>1</sup>, DOU Xi-ping<sup>1</sup>, GAO Xiang-yu<sup>1</sup>, XU Hai-dong<sup>2</sup>, JIAO Jian<sup>1</sup>

(1. *Key Laboratory of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of the Ministry of Transport, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *The Survey Bureau of Hydrology and Water Resources of Changjiang Estuary, Changjiang Water Resources Commission, Shanghai 200136, China*)

**Abstract:** In order to study the characteristics of saltwater intrusion into the Yangtze (Changjiang) estuary and the saltwater spilling over from the north branch of the Yangtze estuary in dry seasons, two tidal synchronous hydrologic surveys were carried out in the bifurcation of the north branch and the south branch in December 2013 and February 2014. Analyses of the data have given several conclusions. Under the impacts of geomorphology, the salinity in the entrance of the north branch is an order of magnitude higher than that of water in the Baimao shoal. The salinity of water is negatively correlated to the runoff volume, while tidal range is positively related. The saltwater will spill over from the north branch while the runoff volume is relatively small and the tidal range is relatively large. Due to the backwater effects of the runoff, the spilling saltwater is forced to head for the north, so the salinity of the north channel of Baimao shoal is larger than that of the south channel. The wind stress has a significant effect on the salinity intrusion and the continuous south wind can decrease the intensity of the salinity intrusion in the north branch. The saltwater spilling over from the north branch flows on the south side of Baimao shoal's north channel, and stays in Baimao shoal for several days during spring tide and the salinity in water around Baimao shoal reaches a maximum value in the moderate tide after the spring tidal.

**Key words:** salinity intrusion; dry season; north branch; wind stress; Yangtze estuary