DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.01.009

北支咸潮倒灌对东风西沙水库取水水质的影响

陈 娓[1],唐建华[1],蓝霄峰[2],李 璐[1],赵 晖[1]

(1.长江勘测规划设计研究院上海分院,上海 200439;
2.珠江水利科学研究院,广东 广州 510610)

摘要:根据东风西沙水库取水口水域枯水期、平水期以及北支河道丰水期、枯水期的水质监测资料,采用水质监测分析与模型计算相结合的方法,系统分析北支咸潮倒灌对崇明岛东风西沙水库取水口水质的影响。结果表明:徐六泾取水口水域的水质明显好于北支,即使在特枯年的枯水期,北支咸潮倒灌进入取水口水域产生的污染物质量浓度最大增量不高于 0.22 mg/L。DO、COD、BOD_5、NH_3-N、TP、TN、FN、油类、Hg 9 个项目中,除 TP 由Ⅲ类降低为Ⅳ类外,其他指标类别基本不变,均优于Ⅲ类。

关键词:取水水质;水质监测;咸潮倒灌;delft-3D 水质数学模型;东风西沙水库;北支

中图分类号:X832 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2013)01-0037-04

Impact of salinity intrusion of north branch on water quality of intake water areas of Dongfengxisha Reservoir

CHEN Wei[1], **TANG Jianhua**[1], **LAN Xiaofeng**[2], **LI Lu**[1], **ZHAO Hui**[1]

(1. *Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Shanghai Branch, Shanghai* 200439, *China*;
2. *Pearl River Hydraulic Research Institute, Guangzhou* 510610, *China*)

Abstract: Based on water quality monitoring data from water intake areas of the Dongfengxisha Reservoir in dry and normal seasons and the north branch in wet and dry seasons, the water quality monitoring analysis method and model calculation were combined to systematically analyze the effects of salinity intrusion of the north branch on the water quality of the water intake areas of the Dongfengxisha Reservoir on Chongming Island. The results show that the water quality of the Xuliujing water intake area was significantly better than that of the north branch. Even in the dry periods of extremely dry years, the largest increment with pollutant concentration caused by salinity intrusion was not higher than 0.22mg/L. The indices DO, COD, BOD_5, NH_3-N, TP, TN, FN, oil, and Hg remained superior to class III, although TP deteriorated from class III to class IV.

Key words: intake water quality; water quality monitoring; salinity intrusion; Delft-3D water quality mathematical model; Dongfengxisha Reservoir; north branch

崇明岛位于长江三角洲前缘,是世界上最大的河口沙岛。目前,崇明岛没有集中式供水水源地,以 32 座水厂供水为主,这些供水厂分散于内河取水,规模偏小,且多数水厂建于 20 多 a 前,设备简陋,建筑物陈旧,不符合现代化水厂设计标准,因此供水能力不足的问题日益突出。

随着近年来崇明岛农业基础设施建设力度的加大,化肥和农药年使用量越来越大,内河水质受到严重污染。此外,随着长江口大通以下沿江引排水量的增大,长江口咸潮入侵呈加重态势,对崇明岛供水安全构成严重威胁。因此,崇明岛极有必要利用东风西沙夹泓兴建长江边滩水库以保障全岛供水安全。

鉴于水库取水水源的重要性和咸潮入侵的危害性,近年来不少学者对长江口咸水入侵开展了大量研究,对长江口咸潮入侵的途径、规律有了基本的认识。在此基础上,茅志昌等[1]、王国峰等[2]、肖成猷等[3]就北支咸水倒灌南支对青草沙水库、陈行水库等水源地的影响进行了深入研究,顾莉等[4]、刘树

作者简介:陈娓(1979—),女,工程师,硕士,主要从事水利规划研究。E-mail:wchen1979@163.com

峰等[5]也对近海水域的水环境质量进行了现状评价和模拟。由于水源地取水口所在河段属感潮河段,受径潮流影响的水动力条件复杂,因此研究的重点主要集中在咸潮入侵期间水库最长连续不可取水天数、可取淡水时间和盐度过程线等方面。由于针对北支水体倒灌南支影响取水口所在河段水质(除氯化物指标外)的研究较少,本研究以崇明岛东风西沙水库工程为例,在收集取水口、徐六泾断面同步水质监测资料和北支 2010 年洪枯季水质监测资料的基础上,采用 delft-3D 水质数学模型分析预测北支咸潮倒灌对取水口水质的影响。

1 数学模型及数值选取

1.1 模型研究范围及网格划分

模型研究范围包括大通以下长江下游河段、长江口、杭州湾和邻近海区,东边界到 124.5°E 附近,北边界到 33°N 附近,南边界到 28°N 附近,上游一直延伸至大通。采用 Delft 3D 软件自带的 Rgfgrid 工具生成曲线正交网格,网格生成过程中兼顾网格的正交性、拟合岸线,以及与河道走向尽可能一致。模型网格的分辨率较高,长江口内的分辨率为 100~500 m,南北支分汊口区域的网格加密,在工程水域、北支进口及北支上段的分辨率为 100 m 左右,口外较疏,最大为 10 km 左右。本研究所用模型经过多次的水动力、氯(盐)度及水质要素的率定、验证,具有较高的精度,在长江口的多项研究工作中得到成功应用[4]。限于篇幅,本文仅给出 1999 年 1—4 月崇头及陈行水库氯度观测站的验证效果,见图 1。

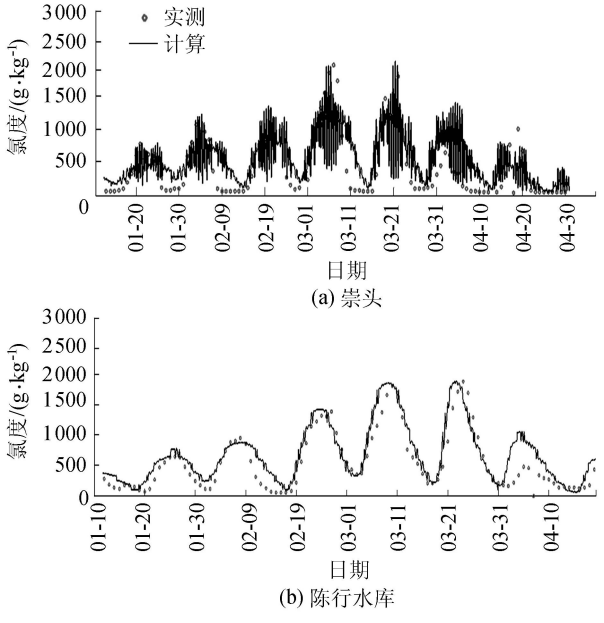

图 1 1999 年 1—4 月崇头及陈行水库氯度观测站的氯度验证

1.2 模型建立

采用对流扩散方程研究北支咸潮倒灌对取水口水质的影响,二维对流扩散模型的基本方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial x}(vhc) =$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(hD_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hD_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + f_r(c,t) + S \quad (1)$$

式中:c 为水质浓度;h 为水深;t 为时间;u、v 分别为 ξ 方向、η 方向的流速;D_x、D_y 分别为 ξ 方向、η 方向的扩散系数;S 为源项;f_r 为生物学、细菌学、生态学、化学反应项。

1.3 计算边界条件

1.3.1 水流计算边界

以长江河口上游大通水文站 $P=97\%$ 保证率流量过程为基础,同时考虑三峡蓄水、南水北调、区间沿江引水影响,以减去三峡蓄水、南水北调、区间沿江引水影响后的流量过程为设计水文条件,以此水文条件为上游边界,下游外海边界选用对应时段的外海天文潮。上游大通流量边界条件见图 2。

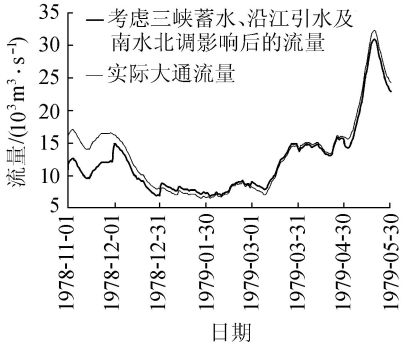

图 2 考虑三峡蓄水、南水北调、区间沿江引水影响后的流量过程

1.3.2 水质计算边界

1.3.2.1 实测资料分析

a. 拟建取水口水质现状分析(枯水期)。于 2008 年 12 月 15 日(大潮期)、12 月 23 日(小潮期)对取水口水域水质进行监测,结果见表 1。大小潮期间,拟建取水口水域水质绝大多数指标达到Ⅱ类标准,主要超标项目为 TP,其Ⅱ类达标率为 45.8%;DO 的Ⅱ类达标率为 62.5%;Pb 的Ⅱ类达标率为 87.5%;石油类的Ⅱ类达标率为 87.5%;其余项目的Ⅱ类达标率均为 100%。

除 DO、TP 在大、小潮期的质量浓度相差一个水质类别外,其他水质指标在大、小潮期基本持平。

b. 北支口门、徐六泾断面、取水口断面的水质监测对比(平水期)。2009 年 4 月 27 日(大潮)和 5 月 5 日(小潮)分别对徐六泾断面、北支口门断面、取水口断面进行了同步水质监测。监测结果显示,

表 1　拟建取水口水质监测及评价结果

项目	平均质量浓度/(mg·L^{-1})		单项指数法标准指数	
	大潮	小潮	大潮	小潮
DO	6.8	5.8	0.84	1.3
COD	2.3	2.0	0.58	0.50
BOD_5	<DL	<DL	—	—
NH_3-N	0.06	0.08	0.12	0.16
TP	0.215	0.094	2.15	0.94
TN	2.19	2.24	4.38	4.48
Cu	0.011	0.006	0.01	0.01
Zn	0.04	0.01	0.04	0.01
氟化物	0.30	0.26	0.30	0.26
Se	<DL	<DL	—	—
As	0.0022	0.0019	0.04	0.04
Hg	0.00004	0.00004	0.80	0.80
Cr	<DL	<DL	—	—
Cr^{6+}	<DL	<DL	—	—
Pb	0.008	0.002	0.80	0.20
氰化物	<DL	<DL	—	—
石油类	0.03	0.01	0.60	0.20
阴离子表面活性剂	0.05	0.04	0.25	0.20
硫化物	0.059	0.034	0.59	0.34
粪大肠菌群	653	843	0.33	0.42

注:DL 为检出限。

徐六泾、东风西沙水域总体水质较好,除 TP、TN、Fe 指标外,其他指标均能达到Ⅰ~Ⅱ类,见图 3。TP 为Ⅲ类标准,TN 为Ⅴ类标准,Fe、Mn 在个别潮期超过集中式生活饮用水地表水源地补充特定项目标准限值。

从空间分布情况来看,北支口门断面 NH_3-N、TP、TN、Fe、Mn、Zn、Cu 等水质指标均高于徐六泾断面和东风西沙取水口断面。

c. 北支水质现状分析(枯水期和丰水期)。自 20 世纪 60 年代以来,长江径流在北支的分流比不断降低,目前已不足 5%,北支河段已成为主要受潮流控制的江段,水体含盐度非常高,基本上丧失了为工农业生产提供用水的功能。北支北岸的江苏省南通市和南岸的上海市崇明岛均以农业生产为主,除南通市海门县青龙港江段布置有小规模的污水处理厂外(局部水质受到一定程度的污染),北支江段其他水域没有集中布设污水排放口。

2010 年枯水期(3 月 17 日至 3 月 26 日)和丰水期(8 月 18 日至 8 月 25 日)分别对北支口门、青龙港、三条港、连兴港 4 个断面进行水质监测,监测项目为 DO、COD、BOD_5、NH_3-N、TP、TN、FN、石油类、Hg、Fe 等 12 项指标。水质监测及评价结果显示:北支水质总体较南支差,北支的 BOD_5、FN、石油类水质指标较好,与徐六泾、南支(符合Ⅰ类水标准)差异不大,而其他水质指标均劣于徐六泾和南支。

从空间分布来看,北支进出口门断面(即北支口门断面)和连兴港断面水质优于三条港断面,如

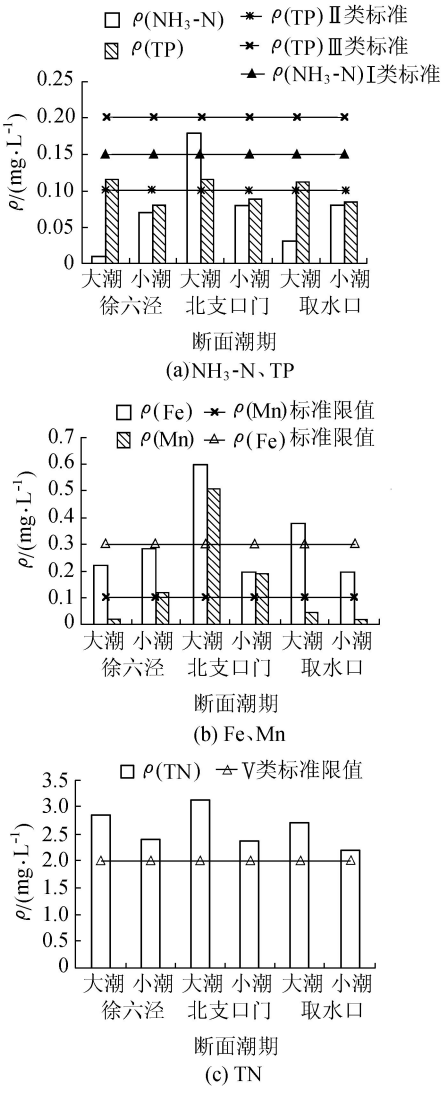

图 3　各断面大、小潮期监测指标质量浓度情况

DO 指标,除洪季大潮期外,其他水期北支口门断面、青龙港断面、连兴港断面的水质为Ⅰ~Ⅱ类,三条港断面的水质为Ⅳ类。从时间分布来看,洪季水质优于枯季,枯水期水质较差,一般为Ⅴ类或劣Ⅴ类。从大小潮期来看,污染物指标,如 NH_3-N、TP、TN,均大潮高于小潮。

洪枯季大小潮各断面的 DO、NH_3-N、TP、TN 的质量浓度情况见图 4。

1.3.2.2　边界条件选取

由前面实测水质资料分析结果可知,东风西沙取水口所在水域平水期水质明显优于枯水期。结合同时期大通流量和咸潮入侵时的水质分析结果,可知,平水期水质较好主要是由于受北支咸潮倒灌影响较弱的原因,因此,选择北支水体咸潮倒灌最不利的枯水期进行数学模型预测计算。水质边界条件选用 2010 年 3 月长江口北支青龙港断面的水质资料,对北支倒灌盐水团和污水团传入水库取水口处后的该处氯度及污染物质量浓度增量过程进行研究。

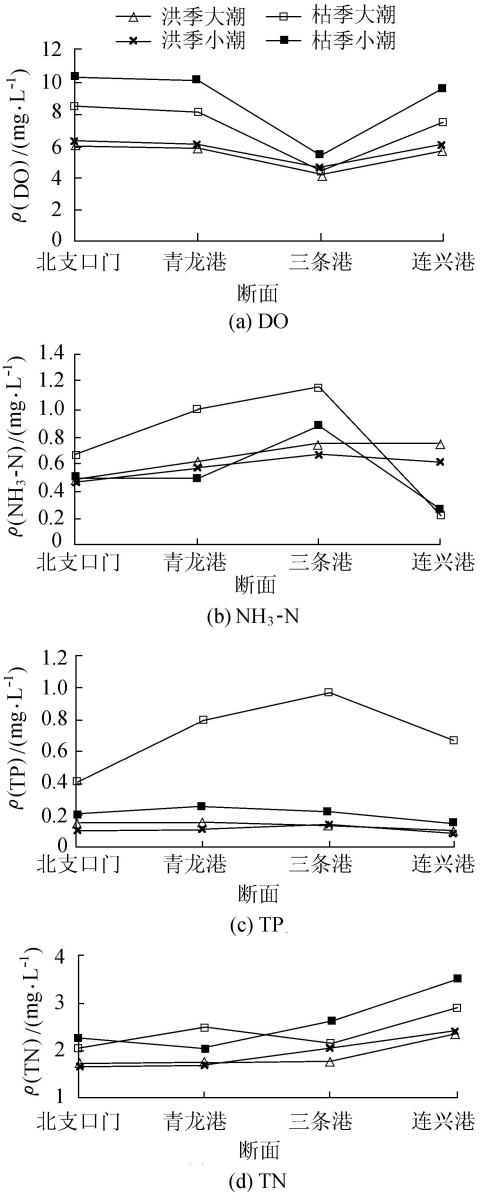

图 4　北支各断面监测指标质量浓度变化情况

2　水质预测结果分析

经数学模型计算,咸潮期低氯度时段,即可取淡水时段,北支盐水团和污水团倒灌进入南支后,取水口水域的氯度及污染物质量浓度增量过程基本一致,污染物质量浓度增量过程稍有提前(图 5)。

在咸潮倒灌期的可取淡水时段内(即取水口氯度低于 250 mg/L 的时段内),北支倒灌进入取水口水域产生的污染物质量浓度增量分别为:ρ(COD)增加 0.20 mg/L,ρ(BOD_5)增加 0.13 mg/L,ρ(NH_3-N)增加 0.079 mg/L,ρ(TP)增加 0.051 mg/L,ρ(TN)增加 0.213 mg/L,ρ(FN)增加 0.000 2 mg/L,油类增加 0.001 7 mg/L,ρ(Hg)增加 0.000 002 mg/L。各污染物质量浓度最大增量不高于 0.22 mg/L。DO、COD、BOD_5、NH_3-N、TP、TN、FN、油类、Hg 9 个项目中,除

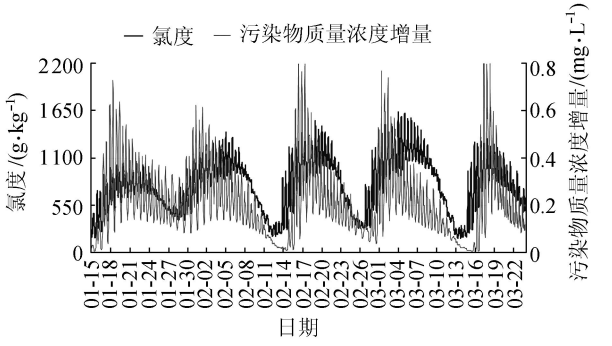

图 5　氯度及污染物质量浓度增量过程线

TP 由Ⅲ类降低为Ⅳ类外,其他指标类别基本不变,均优于Ⅲ类。

3　结　语

a. 平水期徐六泾、北支口门、取水口断面同步水质监测资料显示:徐六泾、东风西沙水域总体水质较好,除 TP、TN、Fe 指标外,其他指标均能达到Ⅰ~Ⅱ类。Fe、Mn 在个别潮期超过集中式生活饮用水地表水源地补充特定项目标准限值。从空间分布情况来看,北支口门断面 NH_3-N、TP、TN、Fe、Mn、Zn、Cu 等水质指标均高于徐六泾断面和东风西沙取水口断面。

b. 枯水期和丰水期北支口门、青龙港、三条港、连兴港 4 个断面的水质监测资料显示:北支水质总体较南支差。除 BOD_5、FN、石油类水质指标较好外,其他水质指标均劣于徐六泾、南支。

c. 特枯年份,枯水期北支咸潮倒灌南支,取水口水域大部分水质指标类别不会改变,均优于Ⅲ类。

鉴于长江口水质变化的复杂性和水质监测条件的重要性,建议健全北支水域、东风西沙水域同步的饮用水安全监测体系。

致谢:东风西沙水库的水质监测由上海青草沙投资建设发展有限公司策划并出资委托上海市水环境监测中心具体实施,在此对青草沙公司友情支助表示感谢。

参考文献:

[1] 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 Zhichang, SHEN Huanting, XIAO Chengyou. Saltwater intrusion patterns in the qingcaosha area Changjiang River estuary[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2001,32(1):58-66. (in Chinese))

[2] 王国峰,乐勤. 长江口北支盐水入侵对陈行水库取水口的影响[J]. 城市公用事业,2003,17(4):21-23. (Wang Guofeng, YUE Qin. Influence of saltwater intrusion from northern branch of the Yangtze River estuary on Chenhang Reservoir intake[J]. Public Utilites,2003,17(4):21-23. (in Chinese))

(下转第 45 页)

为Ⅳ-Ⅴ类。平均精度为84.7%。

5.2 多支流河段污染指标浓度变化预测

由于息县和淮滨两站之间有支流和排污口加入,故选用多支流河段水质模型进行预测,选取息县和淮滨站历史同步监测资料(2000—2007年),利用已建立的水质模型和率定的参数值进行预测。选取33次DO监测数据,平均精度96.3%;选取26次BOD_5监测数据,平均精度81.7%;选取17次NH_3-N监测数据,平均精度97.0%;选取17次COD监测数据,平均精度83.6%。水质模型对现状水质的模拟精度较高,符合水质模拟的要求。

6 存在问题

a. 研究中"河段水流平均流速"是用上下断面的"断面实测流速"的平均值来代替的,将产生一定的误差[8]。

b. 水质监测频率低,断面的监测频率为每天一次,难以全面控制水质变化的全过程。

c. 综合衰减系数的影响因素众多,受实际数据所限,率定过程不可避免地受一些不确定信息的影响,产生一定的计算误差。

由于存在以上问题,本研究有待今后进一步完善。

参考文献:

[1] 王玉振. 信阳市水资源现状分析与开发利用[J]. 河南水利与南水北调,2009(4):50-51. (WANG Yuzhen. Analysis of water resources development and utilization in Xinyang City[J]. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion,2009(4):50-51. in Chinese))

[2] 金光炎,黄道基,郑英铭,等. 水质数理统计评价预测与规划[M]. 北京:中国科学技术出版社,1991:482-488.

[3] 金腊华,徐峰俊. 水环境数值模拟与可视化技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004:160-163.

[4] 高维真,徐惠慈,陈鸣钊,等. 江苏淮阴清安河水质控制模型研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,1984(3):19-20. (GAO Weizhen, XU huici, CHEN mingzhao, et al. Jiangsu Huaiyin Qing an river water quality control model research[J]. Journal of Hohai University: Natural Science,1984(3):19-20. (in Chinese))

[5] 张逢甲,金传良,顾丁锡,等. 水污染容许排放量计算方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1991:314-320.

[6] 吕贤弼,张思聪,王裕玮,等. 卫运河水质模型参数的试验测定[J]. 水资源保护,1994(3):1-7. (LU Xianbi, ZHANG Sichong, WANG Yuwei, et al. Experimental determination of parameters of water quality model for Weiyun River[J]. Water Resources Protection,1994(3):1-7. (in Chinese))

[7] 吴师. 淮河鲁台子-石头埠动态纳污能力估算及水质污染预测预报[J]. 水资源保护,2005,21(4):52-55. (WU Shi. Estimation of dynamic pollution receiving capacity and forecast on water quality pollution for the Lutaizi-Shitoubu section of the Huaihe River[J]. Water Resources Protection,2005,21(4):52-55. (in Chinese))

[8] 杨迪虎. 淮河淮南、蚌埠段动态纳污能力分析[J]. 水资源保护,2005,21(4):56-59. (YANG Dihu. Dynamic pollution receiving capacity in Huainan-Bengbu section of the Huaihe River[J]. Water Resources Protection,2005,21(4):56-59. (in Chinese))

(收稿日期:2012-03-06 编辑:徐 娟)

(上接第40页)

[3] 肖成猷,朱建荣,沈焕庭. 长江口北支盐水倒灌的数值模型研究[J]. 海洋学报,2000,22(5):124-132. (XIAO Chengyou, ZHU Jianrong, SHEN Huanting. Study of numerical modelling about salt water now backward in the Changjiang Estuary north branch[J]. Acta Oceanologica Sinica,2000,22(5):124-132. (in Chinese))

[4] 顾莉,华祖林,树锦,等. 江苏近海水域水环境质量现状评价[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012,40(5):498-502. (GU Li, HUA Zulin, SHU Jin, et al. Assessment of water quality in coastal water areas of Jiangsu Province[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012,40(5):498-502. (in Chinese))

[5] 刘树锋,黄健东,张从联. 咸潮影响河段取水水源可靠性的分析[J]. 水资源保护, 2012,28(1):54-58. (LIU Shufeng, HUANG Jiandong, ZHANG Conglian. Reliability analysis of water intake sources in river reaches affected by salty tides[J]. Water Resources Protection, 2012,28(1):54-58. (in Chinese))

[6] 长江勘测规划设计研究院上海分院. 长江口水源地咸潮控制临界流量的研究与确定[R]. 上海:长江勘测规划设计研究院上海分院,2011.

[7] 上海市堤防(泵闸)设施管理处. 崇明岛东风西沙水库及取输水泵闸工程环境影响报告[R]. 上海:上海市堤防(泵闸)设施管理处,2010.

(收稿日期:2011-12-15 编辑:彭桃英)