

文章编号: 1000-5641(2013)05-0001-08

长江河口东风西沙水库最长连续 不宜取水天数数值模拟

朱建荣, 吴辉

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 应用改进的长江河口盐水入侵三维数值模式, 计算东风西沙水库最长不宜取水天数. 利用2007—2008年10个水文站盐度资料对模式进行了验证, 计算结果与实测值吻合良好. 以径流量特枯的1978—1979年作为水文计算年, 考虑三峡工程、南水北调东线工程和沿江引排水对大通实测逐日径流量的修正, 并考虑潮汐、风应力和混合等作用, 采用2008年实测地形资料, 计算得出最长连续不宜取水天数为26 d. 这一重要参数已在水库建设中采用, 为崇明岛生态岛的建设和淡水资源的保障及安全提供了科技支撑.

关键词: 长江河口; 盐水入侵; 东风西沙水库; 最长连续不宜取水天数; 数值计算

中图分类号: P731.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2013.05.001

Numerical simulation of the longest continuous days unsuitable for water intake in the Dongfengxisha reservoir of the Changjiang Estuary

ZHU Jian-rong, WU Hui

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

Abstract: An improved three dimension numerical model of saltwater intrusion in the Changjiang Estuary was applied to this numerical simulation. The model was validated with the salinity observed in 2007—2008 at the 10 hydrological sites, and the results showed that the model calculated salinity are well consistent with the observed ones. We considered the extremely drought year 1978—1979 as a hydrological calculation year, adopted the observed topography in 2008, and considered the effects of tide, wind stress and mixing in the model. The measured daily river discharge at the Datong station was modified by the Three Gorges Project, the eastern water diversion project from the South to the North, and the water intake and drain along the river. The conclusion is that the longest continuous days unsuitable for water intake in the Dongfengxisha reservoir are 26 days. This important parameter has been adopted in the build of the reservoir, providing scientific and technological support for the construct of ecological Chong-

收稿日期: 2012-11

基金项目: 国家自然科学基金(41176071); 上海市科学技术委员会重大项目(11dz1204802)

第一作者: 朱建荣, 男, 教授, 从事河口海洋动力学研究. E-mail: jrzh@sklec.ecnu.edu.cn.

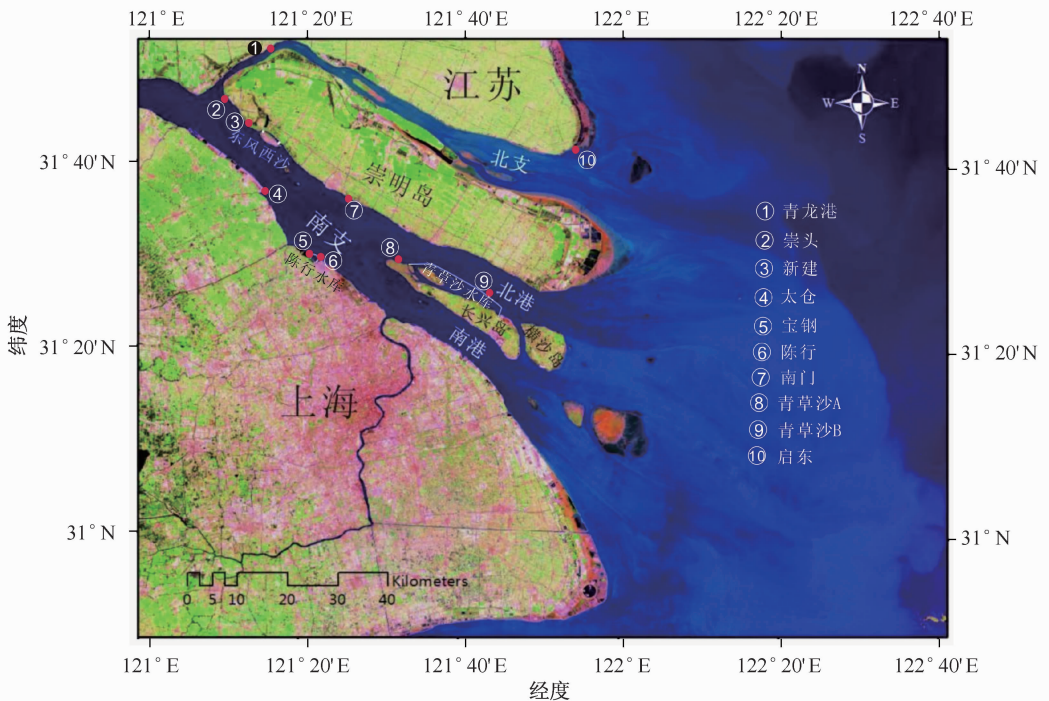
ming island and the ensure of freshwater resource safety.

Key words: Changjiang Estuary; saltwater intrusion; Dongfengxisha reservoir; the longest continuous days unsuitable for water intake; numerical calculation

0 引 言

崇明岛位于长江河口,是我国第三大岛,是上海 21 世纪可持续发展的重要战略空间.要把崇明岛建设成优美的生态岛,突出的问题之一是淡水资源水质和水量难于保障.崇明岛的淡水取自岛内的河流,而河流中的淡水主要来自长江,故崇明岛的淡水资源本质上取决于能否从长江取水,它又取决于长江河口盐水入侵的程度.崇明岛北侧和西侧面临北支,南侧面临南支,东侧面临东海,枯季的盐水入侵常使崇明岛四周被盐水包围.枯季长江河口盐水入侵是影响崇明岛淡水资源利用的根本原因.历史上严重的盐水入侵事件屡有发生,如 1978 年 12 至 1979 年 4 月、1998 年 1 月至 1999 年 3 月在长江河口发生了严重的盐水入侵事件,给沿江生产和生活造成了严重影响.

要保障崇明岛的淡水资源,需要建设避咸蓄淡水库.陈行水库和青草沙水库已建成,并向上海市提供优质原水,已提供了充分利用长江河口淡水资源的成功范例.上海已开始建设东风西沙水库,以解决崇明岛的淡水资源问题.东风西沙位于崇明岛西南侧的长江南支中,与崇明岛之间有一夹沟,涨潮时淹没,落潮时出露.在该夹沟东西两端建堤,可建设成为东风西沙水库(见图1).东风西沙水库环库大堤总长度约 12 000 m,包括新建东堤 1 220 m,



注:红点为盐度观测点,用于模式验证

图 1 长江河口形势图

Fig. 1 Situation map of the Changjiang River Estuary

加高加固南堤 4 798 m, 新建西堤 2 352 m, 加高加固崇明大堤(北堤)3 638 m, 围合形成一座有效库容 890.2 万 m^3 、总库容 976.2 万 m^3 的水库, 最高蓄水位 5.65 m. 工程设计近期供水规模为 21.5 万 m^3/d , 远期供水规模为 40 万 m^3/d . 东风西沙水库工程已于 2011 年 11 月开工, 预计 2014 年 1 月完工.

和陈行水库和青草沙水库一样, 东风西沙水库存在枯季盐水入侵的不利影响. 东风西沙的盐水来自于北支盐水倒灌, 当长江上游径流量较小的时候, 大潮期间北支河道中的高盐水会倒灌进入南支, 使南支及以下河段氯度上升, 当东风西沙取水口氯度超过 250 mg/L (盐度 0.45, 盐度的单位为实用盐度单位 psu, 一般不用给出) 时便不能取水. 研究径流量极枯情况下东风西沙水库最长连续不宜取水天数, 可为水库的库容设计和调度提供理论和技术依据. 本文基于长江河口盐水入侵三维数值模式, 对东风西沙水库最长连续不宜取水天数这个水库设计的关键参数进行研究.

1 数值模式

1.1 模式设置

本文采用作者研究组长期改进和应用的三维河口海岸数值模式 ECOM-si, 该模式在长江口水动力过程和盐水入侵等方向的研究中取得了众多成果^[1-8].

模式采用水平曲线非正交网格, 范围包括整个长江河口、杭州湾和邻近海区, 上游边界设在长江潮区界大通, 外海开边界东边到 124.5°E 附近, 北边到 33°N 附近, 南边到 28°N 附近(见图 2a). 对长江河口区域, 包括南北支分汉口(见图 2b)以及深水航道工程区域(见图 2c)的网格进行了局部加密, 并且较好地拟合了岸线. 口内网格分辨率为 100 m 至 500 m 不等, 口

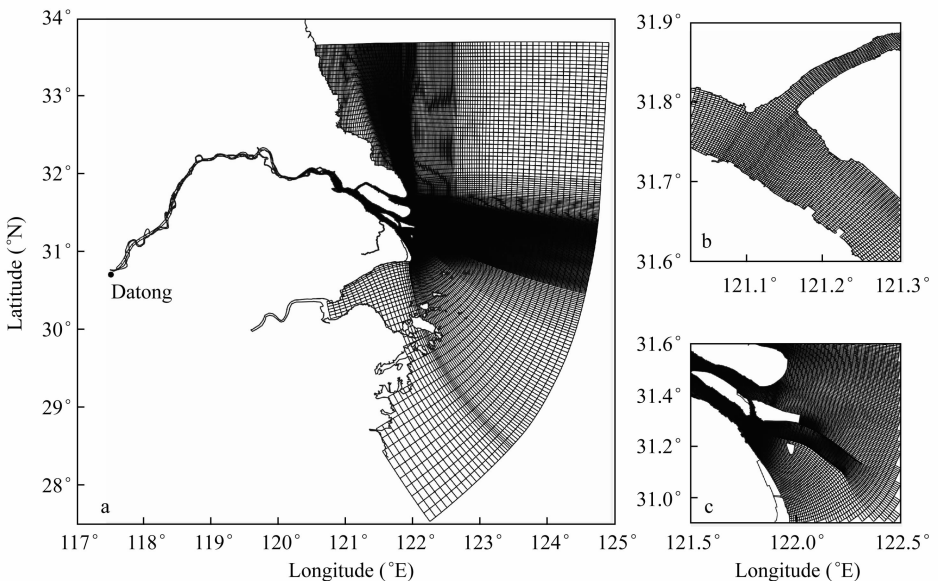


图 2 (a) 模式计算区域和网格; (b) 放大的南北支分汉口区域网格; (c) 放大的南北槽分汉口区域网格
Fig. 2 (a) The model domain and grids; (b) enlarged area near the bifurcation of the South and North branches; (c) enlarged area near the bifurcation of the South and North passages

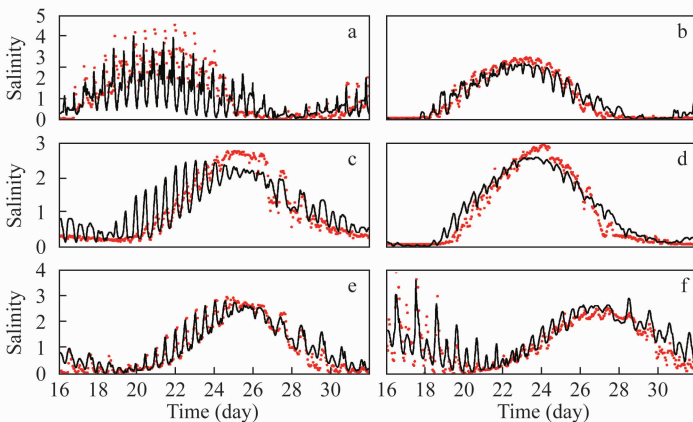
外网格较疏,分辨率最大为 10 km 左右.垂向采用 σ 坐标,均匀分为 10 层.时间步长取 40 s.长江河口区域浅滩较多,模式运用干湿判别法实现潮滩移动边界的模拟,临界水深取 0.2 m.

模式地形采用 2008 年岸线及水深资料.外海开边界由潮位驱动,考虑 16 个分潮(M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 , U_2 , V_2 , T_2 , L_2 , $2N_2$, J_1 , M_1 , OO_1),由各分潮调和常数合成得到,资料从全球潮汐数值模式 NAOTIDE 中计算结果得到(http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/index_En.html).初始水位和流速取零.温盐场长江口外由《渤海黄海东海海洋图集(水文)》12 月份分布图数字化得到^[11],河口内由枯季多次实测资料插值得到.考虑海表面风应力的作用.

1.2 模式验证

建立的长江河口盐水入侵数值模式已对水位、流速、流向和盐度作了大量的验证,表明模式能正确模拟长江河口的水动力和盐水入侵过程^[3-8].以往对模式验证大都采用船测资料,观测时段一般仅 26 h.本文采用 2007 年 2 月 16 日至 3 月 3 日和 2008 年 3 月共 10 个表层盐度定点观测站较长时间序列的资料(站位见图 1),进一步验证数值模式.资料来自上海城投原水公司的盐度监测资料.模式分别从 2007 年 1 月 1 日和 2008 年 2 月 1 日起算,径流量采用大通水文站每日的实测值,风场采用 QSCAT/NCEP 提供的时间分辨率为 6 h、空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的数值产品.

崇头位于南北支分汉口,大潮期间的盐度明显大于小潮期间盐度,最高值约 4.5,崇头站受大潮期间北支盐水倒灌的影响(见图 3).太仓、南门、陈行位于崇头下游的南支水域,青草沙 A 位于下游的长江口北港.北支倒灌进入南支的高盐水受径流作用逐渐向下游平流扩散,盐度峰值出现时间逐渐迟后、量值减小.如陈行站盐度峰值比崇头小 1.5,峰值出现时间比崇头晚约 3 d.青草沙 B 位于北港水域,距离口门较近,大潮期间受长江河口北港盐水入侵的影响,盐度最高值达到 4 左右,且盐度日变化明显,受到上游倒灌盐水团的影响,2 月 28 日盐度峰值约为 2.5,与青草沙 A 比较量值略低、时间滞后约 1.5 d.一些测站在某一时段误



注:(a) 崇头;(b) 太仓;(c) 南门;(d) 陈行;(e) 青草沙 A;(f) 青草沙 B

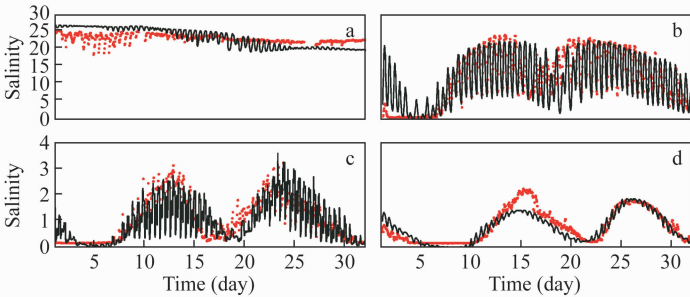
图 3 2007 年 2 月 16 日至 3 月 3 日定点观测站模式计算表层盐度(黑线)和实测表层盐度(红点)随时间变化

Fig. 3 Comparison of the simulated surface salinity (black solid line) with the measured data (red dots) at the observed sites from February 16 to March 3 in 2007

差较大,如南门测站在20—23日期间的计算值与实测值偏离较大,主要原因在于测站位于岸边的码头上,而模式输出的是靠近岸边的网格盐度计算值.因网格分辨率的问题离岸有150 m左右,故模式计算值随涨落潮波动远大于观测值.另外,模式采用的风应力、径流量和地形等与实际会有一定的差距,也是造成测站盐度计算误差的原因.

启东测站位于长江河口北支中下段,由于直接受到北支盐水入侵的影响,盐度在整个观测期间维持在15以上,大潮期间受涨落潮的变化,盐度在17~25之间变化,小潮期间盐度日变化较小,大致在22左右(见图4).青龙港位于北支上段,大潮期间盐度最大值达到25,且日变化显著.新建测站与崇头测站相邻,盐度受北支倒灌影响,大潮期间明显大于小潮期间,最大盐度约为3.宝钢与陈行测点相邻,主要受上游倒灌的盐水影响,最高盐度在2.5左右,且峰值出现在新建测点峰值之后的2~3 d.

上述模式计算的10个测站盐度变化过程和实测资料吻合良好,说明模式能较准确的模拟长江河口盐水入侵,尤其是北支的盐水倒灌过程.



注:(a) 启东;(b) 青龙港;(c) 新建;(d) 宝钢

图4 2008年3月定点观测站模式计算表层盐度(黑线)和实测表层盐度(红点)随时间变化

Fig. 4 Comparison of the simulated surface salinity (black solid line) with the measured data (red dots) at the observed sites in March 2008

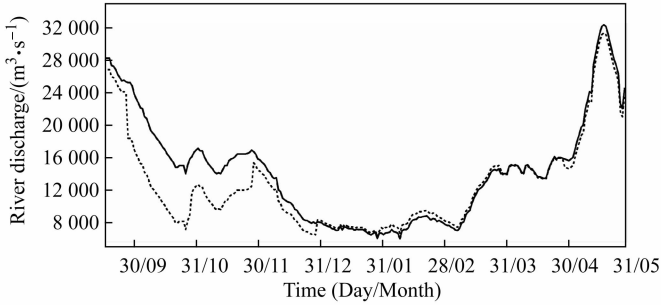
2 计算和结果

2.1 特枯水文年的选择

根据《城市给水工程规划规范》(GB50282-98),城市给水水源的枯水流量保证率可采用90%~97%.考虑到上海为国际型大都市,枯水流量保证率取为 $\geq 97\%$.东风西沙水库设计采用系列较长的长江大通站枯季径流量(11月—次年3月)的统计频率作为枯水流量保证率.根据分析,1978—1979年枯水期为典型特枯年份,相应保证率约为97%.本文将该年作为东风西沙水库不宜取水天数的计算水文年.

1978年9月20日至1979年5月31日大通站实测长江径流量逐日变化见图5.1978年9月下旬长江径流量在 $25\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 以上,10月份径流量下降很快,至月底为 $14\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 左右.11月份径流量在 $14\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 至 $17\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 之间振荡.12月份径流量又快速下降,从月初的 $17\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 下降到月底的 $8\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 左右.1979年1月份径流量继续下降,至月底仅为 $6\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 左右.2月份和3月中上旬径流量略微上升,但仍保持在很低的水平.3月中下旬径流量快速上升,至月底达到 $15\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 左右.4月份径流量比较稳定,在 $14\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 至 $16\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 之间变化.5月份径流量快速上升,至20日达到了 $32\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$

左右,至下旬径流量下降,但仍达到 $24\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 左右.可见,从 1978 年 12 月中下旬至 1979 年 3 月中旬的 3 个月时间内,长江径流量小于 $10\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,连续时间长,尤其是 1—2 月份大部分时间径流量小于 $8\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,为特枯的时段.



注:实线为实测径流量,虚线为考虑三峡工程、南水北调东线工程和大通以下沿江引排水后的径流量

图 5 1978 年 9 月 20 日至 1979 年 5 月 31 日大通逐日径流量

Fig. 5 The daily river discharge at Datong station from September 20, 1978 to May 31, 1979

选取的计算水文年为 1978—1979 年,但以后长江流域建设了一些重大工程,如三峡大坝和南水北调等.它们会改变长江入海径流量,需要进行修正.

参考文献^[10],三峡工程从 9 月至来年 5 月各月对径流量的调节见表 1,9 月、12 月和 5 月径流量未作调节,10 月份三峡工程对径流量的调节达到 $-5\ 450\ \text{m}^3/\text{s}$,11 月份达到 $-2\ 970\ \text{m}^3/\text{s}$,使大坝下游的径流量大幅下降.对特枯年份,本来冬半年径流量偏小,加上大坝大幅度的调节,进一步降低了秋季径流量.1、2 和 3 月份大坝调节使径流量增加,增加值分别为 $1\ 530$ 、 $1\ 200$ 和 $1\ 750\ \text{m}^3/\text{s}$.

南水北调对长江河口盐水入侵的影响主要在东线,东线三期的调水流量为 $800\ \text{m}^3/\text{s}$ ^[11].

大通水文站离长江口尚有约 $620\ \text{km}$ 距离,沿江引排水会改变入海径流量.特枯年份 9 月至来年 5 月大通以下沿江引排水造成的长江径流量净变化见表 2,因沿江抽水使长江径流量减小值在 $500\sim 700\ \text{m}^3/\text{s}$ 之间^[12].

综合考虑三峡大坝、南水北调和沿江引排水后,对 1978 年至 1979 年特枯年份实测径流量进行调节,进入河口的逐日径流量变化以图 5 中虚线表示.

表 1 三峡工程特枯年份 9 月至来年 5 月对长江径流量的调节

Tab. 1 Modulation of the Changjiang river discharge by the Three Gorges Project from September to coming May in extremely drought year $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

月份	9	10	11	12	1	2	3	4	5
调节量	0	-5 450	-2 970	0	1 530	1 200	1 750	1 000	0

表 2 特枯年份 9 月至来年 5 月大通以下沿江引排水造成的长江径流量净变化

Tab. 2 Net change of the Changjiang river discharge by water intake and drain along the river downstream Datong from September to coming May $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

月份	9	10	11	12	1	2	3	4	5
净变化	-674	-674	-674	-585	-495	-517	-540	-540	-540

2.2 连续不宜取水天数的定义

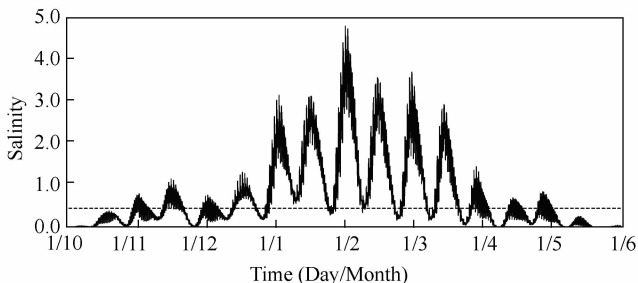
按照饮用水标准,原水氯度超过 250 mg/L 后便不能饮用,相对的盐度为 0.45. 1 d 中连续能取水时间大于等于 4 h,则这天能取水;若小于 4 h,则这天不宜取水. 最长连续不宜取水天数指水库连续不宜取水天数的极大值,它是水库库容设计所需的重要参数.

2.3 最长连续不宜取水天数的计算

长江河口区域水深采用 2008 年观测资料,以 1978—1979 年修正后特枯径流量作为上游边界条件,考虑潮汐潮流、风应力和混合等的作用,计算分析长江河口的盐水入侵和东风西沙水库的最长连续不宜取水天数. 模式从 1978 年 9 月 1 日开始计算,至 1979 年 5 月 30 日结束.

东风西沙位于南北支分叉口下游,以往观测和研究结果表明,该处的盐水入侵来自北支盐水倒灌. 北支盐水倒灌强弱与潮汐、径流量、风应力和河势变化等有关^[4,5,7,10,13-17]. 在一般径流量下,大潮期间因北支的喇叭口形状,从东海进入北支的潮波在向上游传播的过程中因河势变窄、变浅,潮位抬升,至上段的青龙港甚至出现涌潮. 北支上段有大量的潮滩,大潮涨潮期间水位上升,潮滩淹没,大量高盐水涌入南支. 而在落潮期间,水位下降,潮滩出露,已进入南支的盐水仅少量随落潮流返回北支. 这样,北支上段犹如一个单向的开关,高盐水从北支进入南支,而难于从南支返回北支,大潮期间潮周期平均的盐通量从北支流向南支. 进入南支的盐水,在随涨落潮流上下游震荡的过程中受径流的作用,逐渐向下游移动,影响南支的宝钢、陈行和青草沙水库. 北支盐水倒灌的强度与潮差和径流量呈非线性的关系^[15],在特枯径流量下中潮甚至小潮期间也能发生净的盐水倒灌,给南支水源地淡水资源的利用产生严重威胁.

图 6 为模式计算的东风西沙水库取水口盐度过程线,可见盐度具有随涨落潮的半日变化、随大小潮的半月变化. 在 1979 年 1—3 月径流量特枯期间,盐度大幅升高. 最高盐度发生在 1 月底,量值达到 4.7. 小潮期间因北支倒灌的减弱盐度下降,1 月下旬、2 月下旬和 3 月上旬盐度出现低于饮用水标准 0.45 的时段. 盐度连续大于 0.45 的最长时段为 1979 年 1 月 27 日至 2 月 21 日,时间也为 26 d,即东风西沙水库最长连续不宜取水天数为 26 d. 需要注意的是 1978 年 12 月 29 日至 1979 年 1 月 22 日盐度连续大于 0.45 的时间为 25 d,故若 1 月 23—26 日盐度大于 0.45,则最长不宜取水天数将达 55 d. 事实上,尽管东风西沙水库的最长不宜取水时间为 26 d,但盐度过程线是库容设计更为重要的依据.



注:虚线为饮用水盐度标准 0.45

图 6 东风西沙取水口盐度过程线

Fig. 6 Temporal variation of salinity at the water intake of the Dongfengxisha reservoir

3 结论和讨论

本文应用长江河口盐水入侵三维数值模式,通过 2007 和 2008 年 10 个水文站盐度资料的验证,表明建立的数值模拟能较好地模拟长江河口盐度变化过程,可以用于东风西沙水库最长不宜取水天数的计算。

以 1978—1979 年作为水文计算年,采用大通水文站实测逐日径流量,考虑三峡工程、南水北调工程和沿江引排水对径流量的影响.将修正后的特枯径流量作为模式上游边界条件,采用 2008 年实测地形资料,考虑潮汐潮流、风应力和混合等作用,计算得出东风西沙水库的最长连续不宜取水天数为 26 d.这个水库设计的重要参数已在水库建设中采用,为崇明岛生态岛的建设和淡水资源的保障和安全提供了科技支撑。

长江河口盐水入侵和东风西沙水库取水口盐度过程线数值计算结果取决于模式边界条件的给出,如不同年份的长江河口地形,尤其是北支河势的自然演变和围垦工程,三峡水库季节性调水的不同方式,均会影响模式的计算结果.本文的计算是在 2010 年进行,采用的是当时能获得的 2008 年长江河口地形资料,东风西沙最长不宜取水天数的计算结果已被水库设计部门采用.该文给出的是当时的模式计算结果,若采用不同的模式计算条件,计算结果应有所变化.长江河口盐水入侵,尤其是北支倒灌的变化与东风西沙水库取水口最长不宜取水天数关系密切.北支盐水倒灌的动力过程复杂,限于篇幅本文不能给出详细的内容,读者可参阅相关的论文^[3-8,13-16].

[参 考 文 献]

- [1] 朱建荣,傅利辉,吴辉. 风应力和科氏力对长江河口没冒沙淡水带的影响[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2008(6):1-8.
- [2] 项印玉,朱建荣,吴辉. 冬季陆架环流对长江河口盐水入侵的影响[J]. 自然科学进展,2009,19(2):192-202.
- [3] WU H, ZHU J R, CHOI B H. Links between saltwater intrusion and subtidal circulation in the Changjiang Estuary: A model-guided study[J]. Continental Shelf Research, 2010, 30:1891-1905.
- [4] LI L, ZHU J R, WU H, et al. A numerical study on the water diversion ratio of the Changjiang Estuary during the dry season[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(3):700-712.
- [5] 朱建荣,吴辉,顾玉亮. 长江河口北支倒灌盐通量数值分析[J]. 海洋学研究,2011,29(3):1-7.
- [6] LI L, ZHU J R, WU H. Impacts of wind stress on saltwater intrusion in the Yangtze Estuary[J]. Sci China Earth Sci, 2012, 55(7):1178-1192.
- [7] QIU C, ZHU J R, GU Y L. Impact of seasonal tide variation on saltwater intrusion in the Changjiang River estuary[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30(2):342-351.
- [8] XU K, ZHU J R, GU Y L. Impact of the eastern Water Diversion from the South to the North Project on the saltwater intrusion in the Changjiang Estuary[J]. Acta Oceanol Sin, 2012, 31(3):47-58.
- [9] 海洋图集编委会. 渤海黄海东海海洋图集(水文)[M]. 北京:海洋出版社,1992,13-168.
- [10] 沈焕庭,茅志昌,朱建荣. 长江河口盐水入侵[M]. 北京:海洋出版社,2003,15-74.
- [11] 陈西庆,张二凤,李道季,等. 长江枯季入海流量变化趋势的初步研究[M]//陈吉余、陈西庆、陈美法. 南水北调(东线)对长江口生态环境影响及其对策. 上海:华东师范大学出版社, 2003:120-128.
- [12] 张二凤,陈西庆. 长江(大通-徐六泾)抽引水工程初步调查及其对枯季入海流量的影响对策[M]//陈吉余、陈西庆、陈美法. 南水北调(东线)对长江口生态环境影响及其对策. 上海:华东师范大学出版社, 2003:205-214.

- [16] BLUMBERG A F, MELLOR G L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model[M]// HEAPS N S. Three-Dimensional Coastal Ocean Models. Washington, D. C.: American Geophysical Union, 1987:1-16.
- [17] MELLOR G L, YAMADA T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problem[J]. Rev Geophys Space Phys, 1982, 20:851-875.
- [18] 海洋图集编委会. 渤海黄海东海海洋图集(水文)[M]. 北京:海洋出版社,1992:13-168.

(上接第 8 页)

- [13] 茅志昌, 沈焕庭, 肖成献. 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.
- [14] 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.
- [15] WU H, ZHU J R, CHEN B R, et al. Quantitative relationship of runoff and tide to saltwater spilling over from the North Branch in the Changjiang Estuary: A numerical study[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 69:125-132.
- [16] 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, 2007, 29(1): 17-25.
- [17] 朱建荣, 吴辉, 李路, 等. 极端干旱水文年(2006)中长江河口的盐水入侵[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2010(4): 1-6, 25.

关于作者姓名和排名顺序的更正启事

编辑部

本刊发表在 2012 年第 4 期 67—74 页的上论文《 α -N-乙酰半乳糖胺酶的表达及活性检测》(Overexpression and characterization of a bacterial α -N-acetylgalactosaminidase), 其作者的中英文名称和排名顺序应为

林毅刚, 王宇萌, 夏刚

LIN Yi-gang, WANG Yu-meng, XIA Gang

特此更正。