

2014年长江口咸潮入侵分析及对策

毛兴华

(上海市水文总站,上海 200232)

摘要:长江口咸潮入侵是枯水期经常发生的一种自然现象,但2014年初的咸潮入侵相比往年尤甚。分析了本次咸潮入侵的基本情况和形成的原因,探讨了长江口咸潮入侵的机理和入侵途径,并结合历史资料,分析了新形势下长江口咸潮入侵出现的新特点。在此基础上,从水源地布局、技术措施、水资源管理和长江流域水量的统一调配等方面研究了如何有效应对长江口咸潮入侵对自来水原水供应的影响。

关键词:2014年;长江口;咸潮入侵;对策

中图分类号:P731.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)02-0073-05

1 2014年长江口咸潮入侵

1.1 基本情况

2014年农历新年伊始,适逢长江口天文大潮的出现。上海正经受历史上持续时间较长的长江口咸潮影响,自2月3日19时开始,上海供水水源地陈行水库、青草沙水库取水口氯化物浓度持续超过国家地表水标准的250mg/L,最高超过3000mg/L。

本次咸潮入侵影响历时19天,打破了2004年2月历时9天19小时的历史最高纪录。水务部门采取多种措施应对,包括青草沙原水系统向闸北、吴淞水厂切换等,但陈行水库出库水还是出现了氯化物阶段性超标现象,并在一定程度上影响了饮用水的口感,影响人口约200万人^[1]。三峡水库增加1000m³/s下泄流量后,咸潮入侵才有所缓解。

本次咸潮入侵具有外海海水正面侵袭与北支海水倒灌相叠加、以正面侵袭为主的特点,且前后两次咸潮入侵相互衔接,使陈行水库水域氯化物含量连续超标,为陈行水库建库以来罕见,对长江口水源地正常运行产生较大影响。

1.2 咸潮入侵成因及特点

1.2.1 影响咸潮入侵的因素

影响长江口咸潮入侵的因素主要包括上游径流、

外海潮汐、区域性气象因子以及工情等4个方面。上游径流和外海潮汐是影响咸潮入侵的决定性因素。咸潮与径流呈负相关,与潮汐强弱呈正相关。径流和潮汐共同决定着长江口咸潮入侵的范围和强度。

气象因素对咸潮的影响主要体现在降水和风两个方面。长江流域的降水直接或者间接地改变了长江来水的流量,在一定程度上影响了咸潮入侵的强度。另一方面,大气降水是一种淡水资源,尤其是长江口区的降水对咸潮有不可忽视的冲淡作用,可减弱咸潮的影响。风对咸潮的影响表现为风可以改变表层水体的流向,由于密度分层的作用,表层水体主要为氯化物含量较低的淡水,表层水体流向的改变对氯化物含量的空间分布有一定的影响。

在工情方面,受上游来沙量的变化和工程影响而导致的长江口形态的变化和河口区域水下地形的趋势性改变,对外海咸水向长江口入侵的路径和强度产生了一定影响。有关研究^[2]表明,近30年长江口整体上表现为略微冲刷,其中北港区为持续冲刷,崇明东滩和横沙浅滩南侧、九段沙东侧和南侧的5m浅区域以垂向冲刷为主。河底的下切影响淡水下泄路径,此外,长江口深水航道工程等改变了长江口区径流和潮流的流态。这几种因素相互叠加,影响着径潮流在各

收稿日期:2015-01-31

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201201068);上海市科委科研项目(11dz1204800)

作者简介:毛兴华(1973-),男,甘肃民乐人,高级工程师,主要从事河口海洋水文分析、建设项目水资源论证、水土保持监测等工作。

E-mail:mxhxm2005@126.com

分流汉道的分流比,对咸潮入侵的路径和强度产生了较大的影响。

1.2.2 咸潮入侵途径

长江口咸潮入侵途径包括直接入侵、北支盐水倒灌、盐水横向交换等几种形式(见图1)。

(1)直接入侵。长江口有北支、北港、北槽和南槽四条通道分流入海,盐水通过这四条通道直接入侵,是咸潮入侵的主要途径,但各个通道入侵的强度不同。一般来讲,南北槽和北港的径流量大,受径流顶托,盐水直接入侵距离不大,而北支径流量小,盐水直接入侵的距离很远,经常能达到南北支分汉口附近。

(2)北支盐水倒灌。分汉河口水域存在平面环流是引起咸潮倒灌的基本原因。20世纪50年代以后,由于大面积的围垦和封堵,南、北支河势发生了较大的变化,北支入口与长江主流几乎呈直角相交,北支的分流比显著减少。据不完全统计,1917年北支占长江总径流量的23%,1959年北支占长江总径流量的8.7%~0.7%,而1971年北支径流仅为7.5%。北支水、沙、盐倒灌入南支大约自1959年开始,是咸潮入侵南支的又一形式。由于北支上段逐年自然淤积,下泄径流减少,潮流作用相应增强,北支向南支的咸潮倒灌屡有发生。

(3)盐水横向交换。这种情况主要发生在南北槽水体之间,以及河道深泓与两侧浅滩之间。由于盐度在河口区横向分布上存在着差异,一般是浅滩水域盐度较小,深泓盐度较大,涨潮时,深泓高盐水体流向浅滩,落潮时,浅滩低盐水体归入深泓。在这个过程中,二者水体发生交换,存在高盐水体向边滩区域的入侵现象。



图1 长江口咸潮入侵路径示意图

Fig.1 The saltwater intrusion path of the Yangtze River estuary

1.2.3 本次咸潮入侵原因探析

根据本次咸潮入侵前后长江径流、天文潮、气象等

因素,笔者认为,本次咸潮入侵与长江上游来水偏少、咸潮期间恰逢天文大潮,以及长江口区1月份雨量偏少这三个因素有关。

一般认为,当大通流量低于 $10\,000\text{m}^3/\text{s}$ 时,长江口容易发生咸潮入侵。根据有关研究^[3],徐六泾日流量过程较大通滞后4~6d,而徐六泾的流量当天就能影响咸潮入侵,因此大通流量会在约5d以后开始影响到长江口。从大通站1~2月的流量过程来看(见图2),1月30日和31日的流量相对较小,分别只有 $10\,800\text{m}^3/\text{s}$ 和 $10\,900\text{m}^3/\text{s}$ 。而在约5d之后的2月3日,长江口确实出现了较严重的咸潮入侵现象。同时,2月3日是农历正月初四,正是长江口天文大潮期,这两个因素叠加在一起,使长江口咸潮入侵更加严重。大通流量更低的时段出现在2月9日~11日,期间平均流量仅 $9\,897\text{m}^3/\text{s}$,5d之后的农历日期为正月十五~正月十七,恰好又是天文大潮期,使得长江口再次出现了严重的咸潮入侵。因此长江来水流量偏低与外海天文大潮的叠加效应的小概率事件,是引起2014年初较严重的咸潮入侵的最主要因素。

此外,长江口区1月份雨量偏少,对本次咸潮入侵起了推波助澜的作用。比如,高桥站1月份雨量仅18.5mm,远低于该站1月份多年平均雨量50.2mm。同样,堡镇站1月份雨量20mm也低于该站1月份多年平均雨量51.2mm。大气降水是淡水资源,对咸潮有冲淡作用,可有效减弱咸潮入侵。长江口1月份至2月初雨量偏少,无疑更有利于咸潮的入侵。

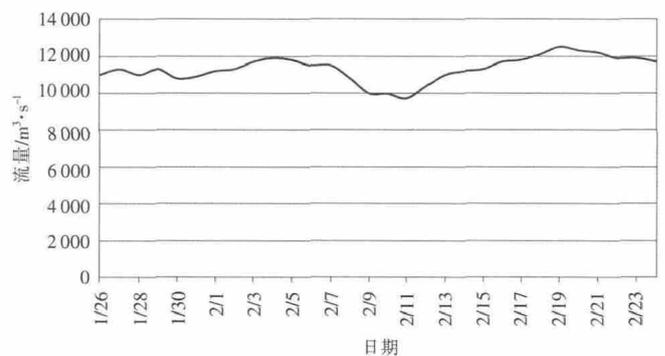


图2 大通站2014年1月26日~2月24日流量过程

Fig.2 The flow process at the Datong station from Jan 26 to Feb 24, 2014

2 典型年份长江口咸潮入侵概览

从历史监测成果来看,长江口咸潮入侵比较严重的有三次,分别是1978~1979年、1987年、2006~2007

年。下面分别就这几次咸潮入侵作一概括说明。

2.1 1978~1979年咸潮入侵

1978年长江流域汛期出现了高温少雨气候,旱情持续到1979年春季,中下游河道节节减少,加上各地区沿江抽水,导致长江口遭咸潮严重入侵。资料显示,无论氯化物浓度还是持续时间、入侵距离均为历史罕见,其中1979年2~3月长江河口内的盐度相当于百年一遇。自1月2日开始,持续到3月27日,共85d,高桥站氯化物连续大于250mg/L(见图3)。

使长江口提前遭受咸潮的入侵。2006年9月~2007年3月,长江口总共发生了14次咸潮入侵,影响较大的有11次,其中有8次发生在天文大潮期间,具体见表1。

表1 2006~2007年咸潮入侵情况统计

Table1 The saltwater intrusion eigenvalues in during 2006~2007

次序	最大含氯度 /mg·L ⁻¹	咸潮入侵日期(农历)	历时 /d	大通流量 /m ³ ·s ⁻¹
1	542	9月11日(七月十九)	5	18 400
2	1 281	10月9日(八月十八)	8.5	14 500
3	797	10月24日(九月初三)	6.5	14 800
4	808	11月8日(九月十八)	8	16 900
5	909	11月25日(十月初五)	3.5	12 000
6	516	12月23日(十一月初四)	5.5	12 900
7	636	1月8日(十一月二十)	5	10 400
8	311	1月24日(腊月初六)	5	10 300
9	409	2月9日(腊月廿二)	4	12 200
10	1 648	2月20日(正月初三)	7	11 400
11	864	3月5日(正月十六)	8	18 300

与上述几次咸潮入侵相比,本这次咸潮入侵无论从入侵次数,还是持续时间,都不算是很严重的,但是却造成了较广泛的社会影响,笔者认为与长江口水源地供水范围广,受影响的人口多有密切的关系。

3 新形势下长江口咸潮入侵的特点

3.1 咸潮入侵的趋势性变化

近年来,长江口咸潮入侵有加剧趋势,主要表现在:①秋冬季第一次咸潮入侵时间提前。20世纪90年代以前,咸潮入侵主要发生在12月~次年3月,进入21世纪之后,咸潮入侵在10月前后就会出现。②单次咸潮入侵时间延长,入侵次数增多,特别是近几年咸潮入侵次数有增多的趋势。③咸潮入侵程度加重,咸水上溯距离加大。

进入21世纪以来,长江口较严重咸潮入侵发生的频率略有增加。例如,1987年的咸潮入侵,距1978~1979年的咸潮入侵有9年时间,2006年咸潮入侵距1987年有19年时间,但本次咸潮入侵距2006年,只有不到8年时间。这预示着由于多种因素的综合影响,长江口咸潮入侵有可能更加频繁。

3.2 工程调度与人类活动的影响

南水北调是对长江口水资源量影响较大的取水工程,其东线工程年供水总规模186×10⁸m³,中线工程调水规模220×10⁸m³,西线工程年平均调水量为

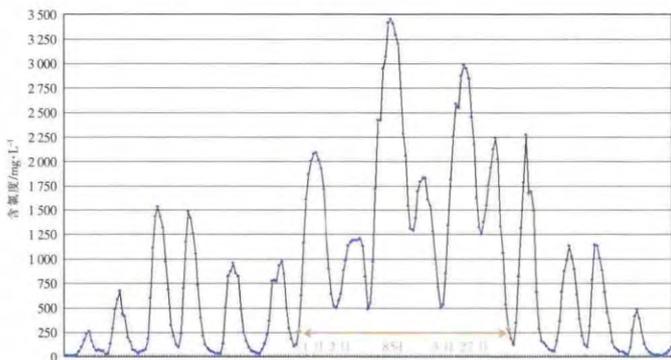


图3 高桥站1978年10月~1979年5月氯化物过程线

Fig.3 The chloride process at the Gaoqiao station from Oct, 1978 to May, 1979

2.2 1987年咸潮入侵

据大通流量资料分析,1987年属于长江径流特枯年,水量保证率为93%,由于上游来水较少,长江口区出现了较严重的咸潮入侵。自2月5日始至3月25日,共49d,高桥站氯化物连续大于250mg/L(见图4)。

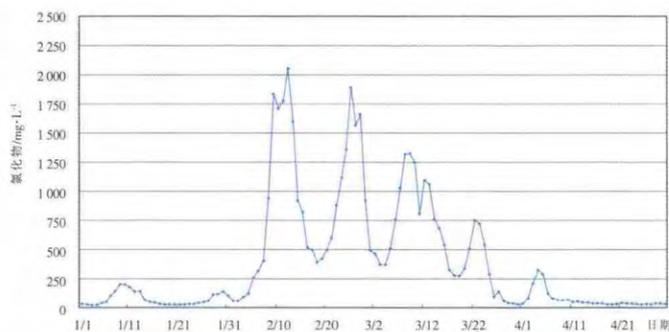


图4 高桥站1987年1月~4月氯化物过程线

Fig.4 The chloride process at the Gaoqiao station from Jan to Apr, 1987

2.3 2006~2007年咸潮入侵

由于2006年夏季长江上游遭受罕见伏旱天气,自7、8月以来,长江上游洪水季节来水屡创新低,致

145~195×10⁸m³。三者合计调水量将达到 448×10⁸m³,占长江全部水资源量的 4.67%。此外,长江沿岸小规模取水工程,数量众多,引水规模超过 3 000m³/s,均会导致进入长江口水资源量略有减少。

三峡工程和金沙江下游梯级枢纽等水电站工程的调度运行,使长江口来水量的年内分配发生改变,在丰水期通过蓄水减少下泄量,在枯水期通过向下游放水,增加长江口来水量。这些工程对于遏制长江口咸潮入侵是有利的,但前提条件是要对其进行科学调度。

金沙江下游河段的乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝四个大型水利枢纽,是西电东送的重要电源基地。随着这些枢纽工程的投入运行,特别是与三峡、葛洲坝梯级水利枢纽实施联合调度运行以后,对长江中下游水资源量的年内分配也会有一定影响^[4-5]。

三峡工程、南水北调、金沙江下游梯级枢纽等工程在实施后,长江口机场码头水域含盐度会有所增加(见表 2),其中 10 月和 11 月增加较多,预示着如果不对上述工程进行科学调度,则未来咸潮入侵有可能加剧,或者入侵时间提前^[6]。

综合来看,南水北调等取水工程会造成进入长江口水资源量实际上的减少,对咸潮入侵有潜在的不利影响;三峡工程和金沙江下游梯级枢纽等工程会导致来水量年内分配的变化,对咸潮入侵的影响几乎完全依赖于工程如何调度运行。只有三峡工程等充分考虑下游长江口对淡水资源的需求,调度运行更加科学合理,才有可能弥补取水工程带来的不利影响,并进而有可能减弱长江口咸潮入侵。

4 咸潮入侵对策措施

长江口咸潮入侵是经常发生的问题,目前技术条

件下只能想办法减弱其影响。从水源地格局来讲,陈行、宝钢、青草沙,以及正在建设的东风西沙水库等,水质好,供水范围广,使本市对长江口原水的依赖性日益增大,对咸潮入侵的敏感性也日益提高。当发生足以影响供水的咸潮入侵之后,所造成的社会影响也更加广泛。为了避免本市供水对长江口原水的高度依赖性,要进一步增强黄浦江上游水源地和长江口水源地的调配能力,形成多源供水、多源互补的供水格局,在必要的时候可以实现水源的切换,提高供水保证率。

从技术层面来讲,一般认为陈行水库、宝钢水库等上游水库之所以频频受咸潮影响,乃是由于受北支咸潮倒灌。笔者认为,应考虑在北支选一合适的岸段,建设促淤工程,通过逐步促淤,渐次减小断面流量,最终断绝与南支的水沙盐交换。通过建设促淤工程来逐渐断绝与南支的水沙盐交换,相比修建挡潮闸,在技术上更有可行性。

从管理层面来讲,要完善长江口各水库联合调度机制和应急响应机制。具体包括:充分利用青草沙水库,必要时向闸北水厂、吴淞水厂供水;充分发挥陈行水库与宝钢水库的联动作用;调整完善供水企业之间的调度方案,发挥一网调度、一网运行作用,通过东西联动、南北互补,做好水量调配。要加强长江口咸潮入侵的中长期预报,加强水文气象预测预报工作,做到早发现,早应对。此外,要加强监测,及时有效地为水库的抢水、补水服务。

从长江水量分配来讲,要加强流域一体化水资源管理,特别是加强长江中下游的统一规划和合理调配,统筹调度重大工程,确保上游来水足以抵御咸潮入侵^[7]。若长江中下游发生干旱,一方面要降低三峡水库蓄水速度,另一方面南水北调工程要采取“避

表2 三峡工程等综合影响下浦东站月平均含盐度的变化

Table2 The salinity changes at the Pudong station under influence from Three Gorges Project

项目		10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
现状条件 出现特枯年	工程前	3.10	3.29	3.49	4.78	4.95	4.55	3.45	2.11
	工程后	4.43	4.11	3.82	8.84	5.01	4.62	3.60	2.31
	增减(+/-)	+1.33	+0.82	+0.33	+0.06	+0.06	+0.07	+0.15	+0.20
未来 20 年 出现特枯年	工程前	3.10	3.29	3.49	4.78	4.95	4.55	3.45	2.11
	工程后	4.46	4.14	3.85	4.88	5.05	4.65	3.62	2.33
	增减(+/-)	+1.36	+0.85	+0.36	+0.10	+0.10	+0.10	+0.17	+0.22

注:未来 20 年指自 2010 年开始的 20 年后,即 2030 年以后

让”措施,减少抽江水量。目前大通站以下长江沿岸有数百个引水口和抽水站,也需要加强水资源的统一管理。

5 结语

长江口咸潮入侵是长江口水域枯水期经常发生的一种自然现象,同时也是影响和制约上海市原水供应的最重要的因素。近年来随着长江流域一系列大型水利工程的建设和投入运行,加上长江流域的气候变化,使长江口咸潮入侵出现了一些新的特点,不仅咸潮入侵时间上提前,入侵的持续时间也有延长的趋势。这都对上海市自来水原水供应带来了新的挑战。要应对这些新情况,解决这些新问题,就必须从水源地布局、技术措施、水资源管理和长江流域水量的统一调配等方面,多角度、多层次入手,多管齐下,保证全上海市的供水安全。咸潮入侵不可能永久彻底地杜绝,但可以通过有效的措施,最大限度地减少影响。

参考文献:

- [1] 史上时间最长长江口咸潮入侵上海,水库氯化物超标约200万人受影响[N]. 人民日报,2014-02-24(9). (The Longest Saltwater Intrusion in History Occurred in Shanghai Yangtze River Estuary, about 2 Million People Were Affected Because of Exceeded Chloride in the Reservoirs [N]. People's Daily, 2014-02-24(9). (in Chinese))
- [2] 宋城城,王军. 近30年来长江口水下三角洲地形演变与受控因素分析[J]. 地理学报,2014,69(11):1683-1696. (SONG Chengcheng, WANG Jun. Erosion-accretion changes and controlled factors of the submerged delta in the Yangtze estuary in 1982-2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(11):1683-1696. (in Chinese))
- [3] 唐建华,刘玮玮,赵升伟. 长江口徐六泾流量与大通流量间关系的探讨[J]. 水电能源科学,2011,29(7):4-7. (TANG Jianhua, LIU Weiyi, ZHAO Shengwei. Discharge relationships between Xuliujing of Yangtze River estuary and Datong [J]. Water Resources and Power, 2011,29(7):4-7. (in Chinese))
- [4] 黄天东,吴刚,宋远超. 三峡-金沙江下游梯级调度系统总体方案设计[J]. 水电站机电技术,2009,32(3):40-42. (HUANG Tiandong, WU Gang, SONG Yuanchao. The Overall program design of Three Gorges-Jinsha River cascade dispatching system [J]. Mechanical & Electrical Technique of Hydropower Station, 2009,32(3):40-42. (in Chinese))
- [5] 欧阳硕,周建中,张睿,等. 金沙江下游梯级与三峡梯级多目标联合防洪优化调度研究[J]. 水力发电学报,2013,32(6):43-49. (OUYANG Shuo, ZHOU Jianzhong, ZHANG Rui, et al. Study on optimal scheduling of multi-objective joint flood control for lower Jinsha River cascade reservoirs and Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013,32(6):43-49. (in Chinese))
- [6] 谭培论,汪红英. 三峡工程对改善长江口咸潮入侵情势的分析[J]. 中国三峡建设,2004,(5):29-31. (TAN Peilun, WANG Hongying. Function of Three Gorges Project against salty-tide invasion in Yangtze mouth [J]. China Three Gorges Construction, 2004,(5):29-31. (in Chinese))
- [7] 朱慧峰,阮仁良,陈国光,等. 三峡水库运行调度对长江口水源地安全的影响分析[J]. 中国给水排水,2011,27(8):34-36. (ZHU Hui Feng, RUAN Renliang, CHEN Guoguang, et al. Influence of Three Gorge Reservoir operation on water source safety in Yangtze River estuary [J]. China Water & Wastewater, 2011,27(8):34-36. (in Chinese))

Analysis of Saltwater Intrusion in Yangtze River Estuary in 2014

MAO Xinghua

(Shanghai Hydrology Administration, Shanghai 200232, China)

Abstract: Saltwater intrusion in the Yangtze Estuary is a natural phenomenon that often occurs in dry seasons, but it's particularly more terrible in early 2014 compared to previous years. This paper analyzed the basic situation of the saltwater intrusion and its formation reasons, discussed the mechanism and invasion pathways of saltwater intrusion in the Yangtze River estuary. Furthermore, combined with historical data, this paper analyzed the new features of saltwater intrusion that appeared in the Yangtze River Estuary in new situation. On the basis and from points of water source place, technical measures, water resources management and unified deployment of the Yangtze River, this paper discussed how to effectively deal with the effect of saltwater intrusion on public water supply in the Yangtze River Estuary.

Key words: 2014; Yangtze River Estuary; saltwater intrusion; countermeasures