

Doi: 10.11840/j.issn.1001-6392.2019.06.006

中国主要入海河口咸潮入侵变化特征

李文善, 左常圣, 王慧, 董军兴, 高通, 潘嵩, 金波文

(国家海洋信息中心, 天津 300171)

摘 要: 长江口、钱塘江口和珠江口是受咸潮影响较为严重的区域。本文利用全国沿海海平面变化影响调查、沿海水文观测等数据, 分析了近十年长江口、珠江口和钱塘江口咸潮入侵的变化特征及影响。分析结果表明: (1) 2009–2018 年, 长江口咸潮入侵次数和持续时间均呈减少趋势, 该时段长江口共监测到约 48 次咸潮入侵过程, 发生时间集中在 9–10 月至翌年 5 月, 其中 3 月和 11 月入侵次数较多, 分别为 12 次和 7 次。(2) 钱塘江口咸潮入侵过程受沿海季节性海平面影响显著, 12 月至翌年 3 月为钱塘江口季节性低海平面期, 4–7 月上旬径流量较大, 上述两个时期钱塘江口受咸潮入侵的影响均较小, 7 月下旬至 11 月上旬, 钱塘江口处于季节性高海平面期, 是咸潮影响的集中时段。(3) 2009–2018 年, 珠江口共监测到约 57 次咸潮入侵过程, 发生时间集中在 9–10 月至翌年 3–4 月, 其中 1 月、2 月和 10 月咸潮入侵次数较多, 均超过 10 次, 2015 年至今咸潮持续时间明显增加。(4) 咸潮入侵次数和持续时间与基础海面 and 径流量等密切相关, 咸潮入侵影响三大河口沿线水厂供水以及工农业生产取水, 给沿岸城市的居民生活、工农业生产和渔业养殖等造成一定不利影响。

关键词: 海平面; 季节海平面; 径流量; 咸潮

中图分类号: P731.23

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2019)06-0650-06

Salt tide intrusion characteristics in main estuaries of China

LI Wen-shan, ZUO Chang-sheng, WANG Hui, DONG Jun-xing, GAO Tong, PAN Song, JIN Bo-wen

(National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China)

Abstract: The Yangtze River Estuary, the Pearl River Estuary and the Qiantang River Estuary are much influenced by salt tide intrusion. Based on sea level change impact investigation, tide gauge and runoff observation data, the characteristics of salt tide intrusion at above river estuaries in the past decade are analyzed. Results show that: (1) At the Yangtze River Estuary, 48 salt tide intrusions occurred during 2009–2018, which generally occurred from September/October to May of the following year, and appeared more in March and November, for 12 and 7 times respectively. In recent years, the occurrence and duration of salt tide intrusion at the Yangtze River Estuary are all decreasing in general. (2) The salt tide intrusion at the Qiantang River Estuary is influenced significantly by seasonal sea level. The seasonal sea level is low during December to March of the following year, and the runoff is high during April to early July. Salt tide intrusion impacts were thus relatively small during these two periods. For the time of late July to early November, sea level reaches its seasonal high and the runoff is small, resulting in concentrated salt tide impact. (3) At the Pearl River estuary, about 57 salt tide intrusions occurred from 2009 to 2018, which generally appeared from September/October to March/April of the following year, and appeared more in January, February and October. (4) The duration of salt tide impacts are mainly related to runoff and sea level. Salt tide intrusion affects the water intake of waterworks, and has certain detrimental impacts on industrial and agricultural production and daily life of local people.

Keywords: sea level; seasonal sea level; runoff; salt tide; estuaries of China

收稿日期: 2019-03-22; 修订日期: 2019-05-13

基金项目: 立体观测系统数据质控与产品制作 (2016YFC1402610); 亚洲区域合作专项资金-海平面上升背景下海岸带地区海洋灾害评估与应对。国家重点研发计划 (2017YFA0604904); 天津市自然科学基金资助项目 (17JCQNJC07300)

作者简介: 李文善 (1992-), 助理研究员, 主要从事海平面变化及其影响评估研究。电子邮箱: lws_nmdis@163.com。

通讯作者: 王慧, 研究员。电子邮箱: wh_cherry@126.com。

咸潮入侵是指河口外高盐水随潮涨潮落沿河口向上运输和混合,造成上游河道水体变咸的现象,在河口区域普遍存在(丁平兴等,2013;韩曾萃等,2012)。咸潮入侵程度与海平面、潮汐、风暴潮和上游来水等因素密切相关。河口咸潮入侵影响的范围,受制于径流量与入海河口基础海面的对比关系,此消彼长(Mehdizadeh et al, 2017; Krvavica et al, 2017)。海平面上升累积效应使潮水沿河上溯加强,不仅会引起河道泥沙沉积的变化,也会影响沿海地区的淡水供应和饮用水水质(Chong et al, 2014; Cazenave et al, 2010)。我国的长江口、珠江口和钱塘江口等地区是受咸潮入侵影响较为严重的地区(自然资源部,2019)。

近年来,随着河口三角洲地区经济高速发展,人口快速增长,城市化进程的加快,区域内用水量急剧上升,加之近年来枯水季节河道径流量偏小,使得三角洲入海河口区域咸潮入侵有不断加强的趋势(Yuan et al, 2015; 张建云等,2007)。河口地区大量挖沙和航道疏浚造成河床下切,也会加剧咸潮入侵(罗宪林等,2006)。近年来各地有关部门通过采取流域调水、以淡压咸等措施,从多角度、多层次入手,多管齐下,在一定程度上减轻了三角洲地区的咸潮入侵灾害,保证了城市供水安全,最大限度地减少了咸潮入侵影响(何治波等,2007)。

在全球变暖背景下,中国沿海海平面呈波动上升趋势(国家海洋局,2018),河口沿河涨潮流作用也会随之加强。高海平面若同时叠加风暴增水和天文大潮,将进一步加剧咸潮入侵的程度(自然资源部,2019)。

本文主要利用全国沿海海平面变化影响调查成果并结合沿海海平面观测站网数据,系统分析了近十年来长江口、钱塘江口和珠江口地区咸潮入侵的变化特征及其影响状况,可为沿海防灾减灾和海岸带综合管理提供一定的参考依据。

1 数据和方法

本文使用的咸潮入侵数据主要包括长江口、钱塘江口和珠江口历年咸潮入侵次数、持续时间和上溯距离等,来源于2009–2018年全国沿海海平面变化影响调查业务化工作成果。径流量数据来自长

江口的大通站、钱塘江口的富春江站和珠江口的梧州站。潮位数据来源于自然资源部以及地方海洋站观测数据,包括大戢山、余山、芦潮港、高桥、滩浒、珠海、大万山、赤湾、黄埔和三灶共计10个站,时间为1980–2018年。使用的海洋站观测数据均经过了严格的质量控制和均一化订正处理(王慧等,2013)。

2 咸潮入侵变化特征分析

统计分析结果显示,2009–2018年,长江口咸潮入侵多发生在10月至翌年4月,咸潮入侵次数总体呈下降趋势,其中2009年咸潮入侵次数为近10年来最多,达13次。珠江口咸潮入侵多发生在10月至翌年3月,其中2010年咸潮入侵次数为近10年来最多,达14次。2011–2014年,两处咸潮入侵每年发生约3~9次;2015年起至今咸潮入侵次数明显减少,每年约2~4次(图1)。长江口咸潮入侵时间呈波动下降趋势,2017–2018年没有咸潮发生;珠江口咸潮在2018年持续时间为近8年最长,达171天,2015年咸潮持续时间最短,为10天(图2)。

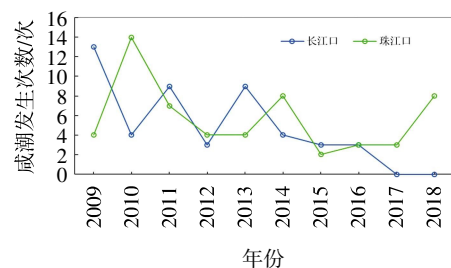


图1 2009–2018年长江口和珠江口咸潮入侵次数变化

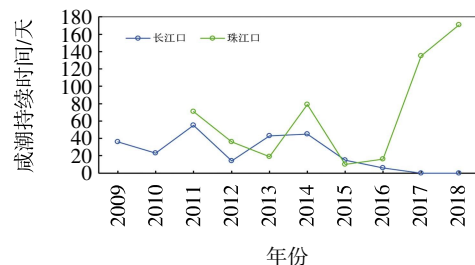


图2 2009–2018年长江口和珠江口咸潮入侵天数变化

2.1 长江口咸潮分析

长江口咸潮入侵季节变化特征明显。2009–2018年,咸潮入侵时间集中在每年的9–10月至翌年5月,3月和11月入侵次数较多,其中3月达

12次；6-8月无咸潮入侵现象发生。2011年5月出现当年最后一次咸潮入侵，2013年9月出现当年第一次咸潮入侵（图3）。长江口咸潮入侵的次数和咸潮持续时间与海平面关系密切（表1）。

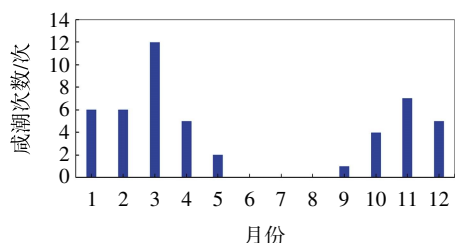


图3 长江口各月咸潮入侵次数 (2009-2018年)

2009年2月中旬，长江处于枯水期，上海沿海月平均海平面较常年同期（1993-2011年同期，下同）偏高125mm，2月17日长江口宝钢水库取水口出现了近年最强的咸潮入侵过程，最大氯度值达1334mg/L；10月22日适逢天文大潮期，长江口宝钢水库取水口遭受秋冬季第一次咸潮入侵，时间比往年提前2个月。

2010年1-3月，长江口共发生3次较严重的咸潮入侵，累计19天。沿海海平面较常年同期偏高约80mm，特别是2月海平面较常年同期高170mm，达1980年以来同期第二高位。

2011年，长江口共发生咸潮入侵9次，其中1-5月发生7次，持续时间平均为6.4天；10-12月发生2次，持续时间平均为5天。咸潮入侵最严重的一次过程出现在3月22-30日，宝钢水库3月25日氯度值最高达1079mg/L，持续时间最长的一次咸潮入侵过程出现在4月19-28日，持续时间为9天。

2012年，长江口共发生3次咸潮入侵，为近十年来第二少。11月，长江口沿海海平面较常年同期高99mm，宝钢水库发生咸潮入侵1次，最大含氯度为304mg/L。

2013年，受潮汐、海平面和上游来水影响，长江口在宝钢水库和青草沙水库共出现8次咸潮入侵过程，其中3月份出现3次，9-12月出现5次。

2014年2月，长江口沿海海平面异常偏高，比常年同期高225mm，达1980年以来同期最高。2月4日发生的咸潮入侵，持续时间超过23天，是1993年以来最长的一次，青草沙水库和宝钢水库取水口最大氯度值分别达到5000mg/L和1129mg/L，上海城市供水受到影响。

2015年2月23日，咸潮入侵长江口，持续入侵时间7天，最大氯度值708mg/L，影响长江口宝钢水库和青草沙水库取水。2017年3月，长江口海平面较常年同期高124mm，为近十年高位，期间长江口出现2次咸潮过程，持续时间分别为83h和72h，最大氯度值为442mg/L。

2016年，长江口年度共发生3次咸潮入侵，为近十年来第二少。

2017-2018年，长江口未监测到咸潮入侵。

2.2 钱塘江口咸潮分析

钱塘江口是典型的强潮河口，咸潮入侵是影响河口段用水水质安全的主要制约因素。钱塘江口咸潮入侵受沿海季节性海平面变化影响显著。12月至翌年3月为季节性低海平面期，且河道淤积，4-7月上旬径流量较大，上述两个时期钱塘江口受咸潮入侵的影响均较小。7月下旬至11月上旬，处于季节性高海平面期，此时径流量较小，是钱塘

表1 长江口2009-2018年月均海平面（相对于常年同期）

(mm)

	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	27	125	49	36	45	41	-6	81	88	24	85	124
2010	20	169	55	97	92	96	74	-28	14	120	74	67
2011	35	83	-77	-48	29	46	16	53	99	26	98	117
2012	156	131	117	4	135	147	113	172	81	105	99	139
2013	117	126	79	127	150	139	-39	-35	1	138	-29	55
2014	59	225	92	123	88	145	88	161	146	190	107	71
2015	120	92	59	111	89	118	201	86	95	13	153	189
2016	185	91	117	179	172	174	107	107	162	179	191	184
2017	176	126	124	118	19	88	65	25	87	211	70	26
2018	91	49	64	46	123	96	104	142	71	8	77	236

江口咸潮影响的集中时段。此外钱塘江口存在显著的连续丰水年和枯水年交替情况,如遇枯水年,咸潮上溯严重,造成较大经济损失(图4)。

2013年8-10月,浙江沿海处于季节性高海平面,期间共发生两次较严重的咸潮入侵过程,均出现在天文大潮期,其中,在8月下旬和10月上旬出现的两次咸潮过程恰逢台风“潭美”和“菲特”影响期间,咸潮影响时间分别为28h和36h;且10月杭州湾海平面较常年高345毫米,较常年同期高190mm,达历史同期高位;咸潮发生期间,最大氯度值分别达到920mg/L和870mg/L,影响了杭州南星水厂的取水。

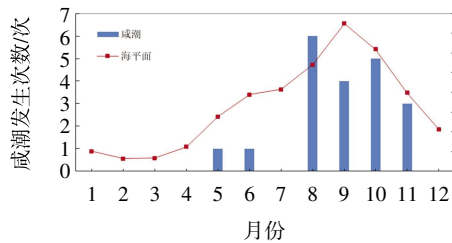


图4 钱塘江口咸潮入侵次数年变化 (2009-2018年)

2016年8-11月,浙江沿海海平面异常偏高,较常年分别高337mm、436mm、400mm和200mm,均处于历史同期高位,其中9月和11月海平面处于历史同期最高位;期间发生了8次咸潮入侵过程,为近10年发生咸潮次数最多的年份。

2017年9-11月,浙江沿海海平面偏高,其中10月海平面达历史同期最高位,较常年同期高近200mm;期间钱塘江口共发生4次咸潮入侵过程,其中,9月8-9日和11月4-10日两次影响期间,杭州南星水厂停止取水时间分别超过28h和44h。

分析结果表明,钱塘江口10月份发生咸潮的次数较多,且程度较重。杭州湾沿海海平面自1980年以来呈现明显的上升趋势,上升速率达5mm/a,高于中国沿海平均水平,是我国沿海海平面上升速率较高的区域。2013年10月、2016年10月和2017年10月咸潮发生期间,沿海海平面均处于历史同期高位,该时段又是杭州湾沿海的季节性高海平面期,海平面较常年高345~409mm,高海平面加剧了钱塘江口的咸潮入侵(图5)。

2.3 珠江口咸潮分析

珠江三角洲河网咸潮入侵时间变化特征明显。调查统计结果显示,2009-2018年,珠江口咸潮入

侵时间集中在9-10月至翌年3-4月,1月、2月和10月咸潮入侵次数较多,达10~12次(图6)。

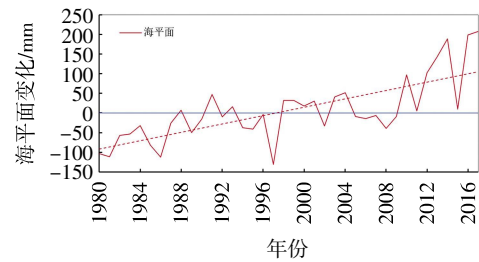


图5 钱塘江口10月海平面变化

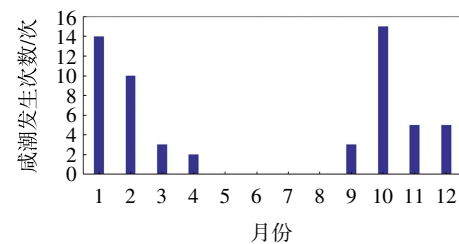


图6 珠江口咸潮入侵次数年变化 (2009-2018年)

1-3月,是珠江口径流量最少的时期,也是珠江口沿海季节性低海平面期,但该时段珠江口沿海海平面自1980年以来呈现明显的上升趋势,上升速率达5mm/a,高于全国沿海平均水平。自2010年以来,珠江口沿海海平面一直处于历史同期高位,2017年达到历史同期最高值。高海平面加重了咸潮入侵。

2012年1-3月,广东沿海海平面较常年同期明显偏高162mm,达历史同期第二高位。同期,珠江上游来水偏少,广东中山连续受到咸潮影响,其中南镇水厂和全禄水厂附近水体最大氯度值分别为9960mg/L和6929mg/L。2013年1-2月,珠江口沿海海平面明显偏高,较常年同期偏高130mm,期间上游来水偏少,珠江口持续受到咸潮影响,咸潮最大上溯距离超过50km,影响中山南镇水厂和全禄水厂取水时间分别为15天和6天。2014年2月,珠江口沿海海平面明显偏高,比常年同期高146mm,达历史同期第二高位。5日珠江口发生严重咸潮入侵,最大上溯距离超过60km,影响广东中山多个水厂取水,稔益水厂附近的最大氯度值达1996mg/L。2015年1月,珠江口海平面相对偏高,比常年同期高130mm。从27日开始,咸潮入侵中山横门水道,最大上溯距离超过33km,影响南镇等水厂取水。2017年1-3月,珠江口沿海海

平面较常年同期偏高约 200 mm, 达历史同期最高位。期间共出现 5 次咸潮过程, 最大上溯距离超过 50 km。其中, 影响南镇水厂 30 天, 氯度最大值为 2 388 mg/L; 影响全禄水厂 6 天, 氯度最大值为 1 609 mg/L (图 7)。

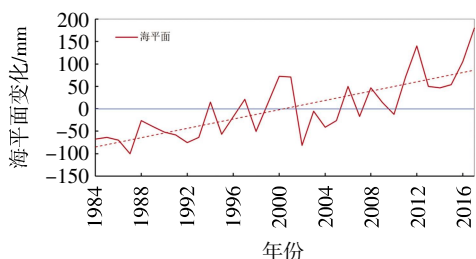


图 7 珠江口 1-3 月平均海平面变化

4 月和 9 月也均有咸潮入侵发生, 其中 4 月发生 1 次; 9 月发生两次, 分别在 2009 年和 2011 年。

2010 年 4 月, 珠江口沿海基础海面较高, 比常年同期高 88 mm, 同期我国西南地区大旱使珠江上游来水减少, 珠江口咸潮入侵较重, 大涌口水闸最大氯度值超过 5 200 mg/L, 严重影响了当地的工农业生产和人民生活。

2009 年 9 月, 珠江流域干旱少雨, 月径流量为 438 m³/s, 处于近十年最低位; 沿海又处于季节高海平面期, 海平面较常年 (1975-1993 年的平均海平面) 高 240 mm, 较常年同期异常偏高 154 mm, 达历史同期最高值。异常偏高的海平面和近十年最少的上游来水加剧了咸潮入侵, 与常年相比, 入侵时间提前两个月, 入侵距离增加约 10 km, 氯化物浓度加大, 给珠江口沿岸城市的居民生活和工农业生产造成严重影响。

2011 年 9 月, 珠江流域干旱少雨, 月径流量为 659 m³/s, 处于近十年第二低位; 沿海处于季节高海平面期, 海平面较常年高 180 mm, 较常年同期异常偏高 87 mm, 为历史同期第三高值。异常偏高的海平面和较少的上游来水加剧了咸潮入侵, 22 日大涌口水闸最高含氯度为 5 098 mg/L, 超过历史同期, 咸潮影响水厂供水, 对居民生活和工农业生产造成较大影响。秋季咸潮入侵期间, 湛江有超过 3.5 万亩的养殖业遭受损失, 近 50 个沿海自然村的村民生活受到影响。

珠江口咸潮入侵与海平面、径流量密切相关, 同时受到人类活动如大规模采掘河沙等的影响。人

为采砂导致河床下切, 河流水位下降, 从而使高海平面顶托作用增强 (罗宪林等, 2006)。

3 对策及建议

针对我国沿海长江口、钱塘江口和珠江口咸潮入侵的变化特征及其与海平面和径流量等的关系, 建议采取以下措施应对:

(1) 加强流域水资源综合配置, 节约用水, 推动水资源循环利用; 强化河流中下游水资源的统一规划和合理调配, 以淡压咸, 根据海平面和径流季节变化特征, 适时增加枯水期和高海平面期淡水流量, 将汛期水量调蓄到枯水期, 通过水量控制, 保障咸潮影响期间的淡水取水。

(2) 强化流域综合治理, 保护河流上游生态环境, 涵养水源, 增加河流上游植被覆盖, 减少水土流失, 从而增加枯水期上游来水量; 严控河道采砂, 防止河床下切, 从而增加咸潮上溯阻力, 减小咸潮上溯距离。

(3) 加强受咸潮影响的河口区域海平面、河口径流量监测, 河口区域天文大潮预报以及风暴潮动态追踪和预报预警, 防范和减轻咸潮影响。

4 结论

2009-2018 年全国沿海海平面变化影响调查信息以及海平面和径流量变化综合统计分析结果显示:

(1) 长江口咸潮入侵次数总体呈下降趋势, 咸潮入侵时间呈波动下降趋势, 2017 年和 2018 年未监测到咸潮入侵; 2015 年至今珠江口咸潮入侵持续时间明显增加, 其中 2018 年咸潮持续时间为近 8 年最长。

(2) 长江口咸潮入侵季节变化特征明显, 咸潮入侵发生在每年的 9-10 月至翌年 5 月, 3 月和 11 月入侵次数较多。近年来呈现出来得早、去得晚的特点, 2011 年 5 月出现当年最后一次咸潮入侵, 2013 年 9 月出现当年第一次咸潮入侵。

(3) 12 月至次年 3 月为钱塘江口季节性低海平面期且河道淤积, 4-7 月上旬径流量较大, 上述两个时期咸潮入侵影响均较小。7 月下旬至 11 月上旬, 处于季节性高海平面期, 此时径流量较小, 是钱塘江口咸潮影响的集中时段。

(4) 珠江口咸潮入侵季节变化特征明显, 咸潮入侵发生在每年 9-10 月至翌年 3-4 月, 其中 1 月、2 月和 10 月咸潮入侵次数较多。咸潮影响时间长短主要与上游汛期和基础海面有关。

参 考 文 献

- Cazenave R J N A, 2010. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*. 328(5985): 1517-1520.
- Chong Y J, et al, 2014. Climate change and salinity in drinking water as a global problem: using remote-sensing methods to monitor surface water salinity. *International Journal of Remote Sensing*. 35(4): 1585-1599.
- Krvavica N, Travaš V, Ožanić N, 2017. Salt-Wedge Response to Variable River Flow and Sea-Level Rise in the Microtidal Rječina River Estuary, Croatia on JSTOR. *Journal of Coastal Research*. 33 (4): 802-814.
- Mehdizadeh S S, Karamalipour S E, Asoodeh R, 2017. Sea level rise effect on seawater intrusion into layered coastal aquifers (simulation using dispersive and sharp-interface approaches). *Ocean and Coastal Management*. 138(000): 11-18.
- Rui Y, Zhu J, 2015. The effects of dredging on tidal range and saltwater intrusion in the Pearl River Estuary. *Journal of Coastal Research*. 31 (6).
- 丁平兴, 2013. 近 50 年我国典型海岸带演变过程与原因分析. 北京: 科学出版社.
- 国家海洋局, 2018. 2017 年中国海平面公报.
- 韩曾萃, 程杭平, 史英标, 等, 2012. 钱塘江河口咸水入侵长历时预测和对策. *水利学报*, 425(2): 110-118.
- 何治波, 2007. 2006-2007 年枯水期珠江骨干水库调度工作回顾, *人民珠江*. 28(6): 1-6.
- 罗宪林, 季荣耀, 杨利兵, 等, 2006. 珠江三角洲咸潮灾害主因分析. *自然灾害学报*. 15(6): 146-148.
- 罗宪林, 季荣耀, 杨利兵, 等, 2006. 珠江三角洲咸潮灾害主因分析. *自然灾害学报*. 15(6): 146-148.
- 王慧, 刘克修, 范文静, 等, 2013. 渤海西部海平面资料均一性订正及变化特征. *海洋通报*, 3(3): 15-23.
- 张建云, 等, 2007. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究. *水科学进展*, 18(2): 230-234.
- 自然资源部海洋预警监测司, 2019. 2018 年中国海平面公报.

(本文编辑: 王少朋)