

我国咸潮入侵研究现状与未来发展趋势

林炜杰, 余希林, 杨海燕

(华南农业大学 水利与土木工程学院, 广东 广州 510642)

摘要: 咸潮是在河流入海口因淡水河流量不足, 海水倒灌入上游河道所形成。近年来, 我国沿海咸潮发生频率增加, 严重影响当地的水资源利用, 其演变过程和影响因素复杂且具有地区性的特点。本文回顾国内外学者对咸潮入侵的研究, 简述咸潮入侵时珠三角地区和长江流域所遭受的影响, 通过查阅资料分析促进咸潮发生的影响因素以及咸潮对社会和人类产生的危害。目前大多因为河道沿程对咸潮的观测资料不足而无法获取空间的连续分布数据, 对咸潮入侵影响因素的探讨还比较浅显, 需要进一步进行研究。而随着计算机网络的发展, 数值模拟方法更加地广泛应用于河口咸潮入侵的研究, 基于实地观测数据, 结合数值模拟, 进一步探索咸潮入侵或将成为未来发展的趋势。

关键词: 咸潮入侵; 珠三角地区; 长江; 影响因素

中图分类号: P731.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2022) 09-0094-03

一、研究背景

1. 咸潮

咸潮是沿海河口地区普遍存在的一种天然水文现象, 当河流入海口因淡水河流量不足, 高盐水团随潮汐涨潮流沿着口的潮汐通道向上推进, 盐水扩散, 使得河流中咸淡水混合, 造成上游河道水体变咸, 形成咸潮^[1], 亦可见图 1。我国咸潮入侵主要集中在珠江口、长江口等大河口, 给工业、农业生产用水等带来一系列巨大的危害。

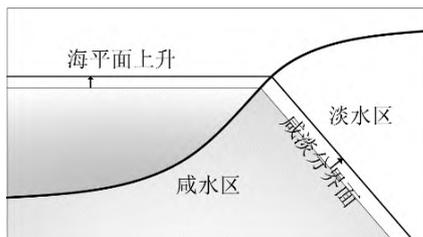


图 1 咸潮入侵示意图

近年来, 珠江、长三角等地区日益增长的用水需求和咸潮入侵造成的影响形成矛盾, 采取各类技术措施缓解咸潮灾害带来的影响刻不容缓, 迫切需要从各类模型上摸索清楚咸潮的整个演变过程和各种因素之间的相互关系, 因此研究河口的咸潮入侵有重要的学术和实际应用价值。本文综合论述近年来我国对咸潮入侵的相关研究。

2. 影响因素

咸潮发生在内陆淡水河流与外海水交界区域, 因此河川径流是最直接的影响因素。随着季节变化和年际变化, 径流量也跟着变化。项印玉等^[2]利用 ECOM 模式研究, 分析表明随着进入河口区的上游水量增大, 咸潮上溯的距离越小, 对咸潮的影响越小。潮汐和潮流是指海水在天体引潮力作用下所产生的周期性运动, 作为咸潮入侵的“动力源”, 潮汐和潮流对咸水入侵的影响最稳定且具有一定的周期性^[3]。

全球气候变暖, 我国沿海海平面变化呈上升趋势, 如图 2 所示。河口水位上升导致长江口咸淡水交换加强^[4]。MACCREADY^[5]等研究出咸潮入侵随着海水盐度梯度和向陆斜压压强梯度力增大而增强。水位的上升使水深持续增加, 河口滩涂淤积量升高, 加强咸潮入侵对河口淡水资源的影响。

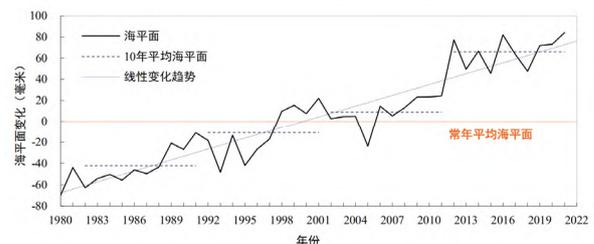


图 2 1980-2021 年中国沿海海平面变化^[6]

风应力也是影响长江口咸潮入侵的主要因素之一。长江口冬季北风的大小和持续时间显著影响长江河口咸潮入侵^[7-8]。林若兰^[9]等建立三维水动力数值模型, 分析枯水期不同风向对

收稿日期: 2022-04-14

作者简介: 林炜杰 (2000-), 男, 华南农业大学水利与土木工程学院, 在读学士, 主要从事河流动力学方向研究。

通讯作者: 杨海燕 (1981-), 女, 工学博士, 华南农业大学水利与土木工程学院, 讲师, 主要从事河流动力学及河流演变, 水生态环境, 城市洪水等方面的研究工作。

基金项目: 1、广州市科技计划项目, 项目名称: 粤东水系连通工程对练江流域水质改善作用研究, 计划类别: 基础研究计划, 专题名称: 基础与应用研究项目; 项目编号: 202201010753; 2、广州市科技计划项目, 项目名称: 广州市城市洪涝形成机理及仿真模拟技术研究, 计划类别: 基础研究计划, 专题名称: 基础与应用研究项目; 项目编号: 202002030187; 3、广东省基础与应用基础研究基金项目, 项目名称: 广州市城市洪涝形成机理及仿真模拟技术研究, 项目类别: 广东省自然科学基金面上项目; 项目编号: 2020A1515010914。

珠江口落潮流速、盐度分布等的影响。加强研究不同风效果对咸潮入侵的影响,有助后人了解河口盐分物理运输。

此外,河口河道地形变化及一些人为活动,如大规模的航道整治,都会增加咸潮发生的频率以及危害。

3. 造成危害

(1) 对水源地的影响。近年来,珠三角、长三角区域河口咸潮入侵频繁,直接影响河口水源地的水质,制约当地经济发展。2014年上海长江口遭遇长达近一个月的咸潮期,氯化物浓度持续超过250mg/L的国家地表水标准,严重影响居民生活用水及危害人体健康。

(2) 对工农业的危害。高盐分海水渗透到土壤中或者农民使用咸水灌溉农田后会造土壤的酸碱度变化,导致农作物萎蔫甚至死亡,影响农业生产。而工业上使用高盐分水会使工业机器产生损坏,影响地区工农业产值以及经济发展。近年来珠江流域咸潮频频来袭。水污染也带来了水质性缺水,使得2010年当地农业常年缺水300多亿 m^3 ,影响工业产值2,000亿元。

(3) 对生态的危害。咸潮入侵大大提高水体中离子的活跃度,破坏水体中某些矿物质的化学平衡^[10],从而破坏部分动植物赖以生存的栖息地,进而改变群落的结构和功能,生态系统的多样性随之下降。

4. 研究的社会效益

为改善咸潮入侵的现状给予相关技术指导。左常圣等^[11]基于2009~2019年的实测资料分析研究我国三大河口咸潮入侵的特征及变化规律,为国家有效预防海平面上升提供依据。诸裕良等^[12]采用数学模型研究珠江三角洲河口处咸潮上溯的运动规律,在多项珠江三角洲航道整治工程中得到应用。

加强水库功能的发挥。防咸蓄淡是水库的一个重要功能,加强对水库周边的咸潮入侵研究,能提高水库的利用效率。陈泾^[13]分析出青草沙水库咸潮入侵来源。朱建荣^[14]等应用数值模拟得出东风西沙水库最长连续不宜取水天数。

增强对咸潮入侵的预报,助力相关部门更加合理科学地制定防御措施。沈萍萍等^[15]针对珠江三角洲地区咸潮灾害提出预警预报系统设计思想,提供精确的入侵警报与信息。郑晓琴等^[16]建立盐度等因素之间的多元回归关系,较好地预测长江口南支发生咸潮入侵的时间与强度。

二、研究现状

从20世纪50年代起,国外便开始研究咸潮入侵。国外前期常用咸淡水河口混合机制分析,Pritchard^[17]在分析现有观测资料的基础上描述咸潮入侵的现象,强调咸潮入侵的范围以及咸潮收到河口径向余环流的作用。多年后发展出使用水动力模型的方法进行研究。Dyer^[18], Officer^[19]等人为咸潮上溯这一现象展开开创性的研究,在60年代开始采用简单模型进行预警预报。

国内对咸潮的研究相对较迟,作为河流与海洋的交汇地带,河口起着至关重要的作用^[20],所以国内研究主要是对重大工程及珠江口、长江口等重要河口进行,覆盖珠三角、南京、上海等地区,研究方法主要有:现场观测分析、物理模

型试验和数学模型模拟方法^[21]。

原始的现场资料是研究咸潮的第一手宝贵资料,至今为止已有许多学者基于实测资料展开大量的观测与研究。张敏等^[22]利用实测资料进行分析,结合数值模拟,对珠江河口磨刀门和伶仃洋进行研究,分析珠江河口枯季咸潮入侵特征与机制,咸潮往往从底层入侵到河道。宋晓飞等^[11]基于已有资料统计分析珠江磨刀门咸潮的现状和成因,指出最显著的影响因素是径潮的相互作用。实测资料往往是有限的,由于咸潮入侵物理过程复杂,且受多种因素影响,学者的研究仅仅在径流、潮汐等方面而有一定局限性,难以研究清楚咸潮入侵整个过程的规律。

利用物理模型进行试验可以方便学者观测到不同河口水文下咸潮入侵的情况,对应进行咸潮运动机理以及河口盐度扩散问题的研究。何用等^[23]针对磨刀门海平面上升对咸潮的影响建立相应物理模型进行试验,表明随着海平面上升海水咸界会整体上移,且二者之间不呈线性相关关系。卢祥兴^[24]通过相似原理对咸潮入侵进行模型试验,选择模型合适的上、下边界,得到钱塘江河口含盐情况的纵向分布,为后来的水厂取水口合理布置提供依据。咸水本身就是强电解质,容易造成物理实验模型的腐蚀损坏,使物理模型试验的成本往往很高。

随着计算机技术的发展,数值模拟方法愈加直观表现出河口受咸潮入侵的影响情况。目前国内利用软件层面对咸潮进行数值模拟,建立数学模型的实验逐渐变多,利用较广泛的是二维和三维的数值模拟模型。其中二维数值模型主要对海水盐度的计算、耗散、物质的质量守恒和边界条件的处理进行研究^[25]。黄晨^[26]建立长江口—杭州湾地区的二维数学模型,研究长江口咸潮入侵情况受深水航道治理工程的影响。而三维的数值模拟能更加真实展现咸潮入侵时河流动力过程。如潘明婕^[27]等利用SCHISM建立三维水动力数值模型,就台风路径对磨刀门咸潮入侵的影响进行研究,结果得出不同台风路径使磨刀门水道产生相反的增减水效应,从而影响海水盐度输运过程。李林江^[28]等利用ECOM-si模式研究长江口冬季咸潮入侵受北风的影响情况,分析得出北风的增强会增强长江口北港咸潮入侵现象,且不利于在青草沙水库进行取水。

三、发展趋势

咸潮入侵的影响因素多且复杂,需要大量且连续的数据给予支撑,才能得到全面的研究结论。目前大多因为对咸潮的观测资料不足而无法获取空间的连续分布数据,应对咸潮,应该加强对河口地区进行实时监测监控,基于收集到的长期动态数据建立预测模型,提高预报精度。

随着计算机技术的发展,对比存在局限性的现场观测分析与高成本的物理模型实验,数值模拟方法更加广泛应用于河口咸潮入侵的研究。该方法对研究人员咸潮预报有质的提升。这意味着咸潮预警预报信息系统正在加强。

咸潮发生频率的增加对全国各地都构成整体威胁,这引起国家和人民的高度重视,采取各类技术措施缓解咸潮灾害带来的影响刻不容缓,建立全面的系统模型加强对咸潮的预测预报技术已迫在眉睫,迫切需要从各类模型上摸索清楚咸

潮的整个演变过程和各种因素之间的相互关系,从而助力相关部门更加合理地采取有效应对措施。

四、总结

咸潮发生频率的增加对珠三角、长三角城市群乃至全国各地都构成整体威胁,采取措施缓解咸潮带来的影响刻不容缓。国内对咸潮入侵的完整过程和影响因素的探讨还比较浅显,主要存在以下问题。

①预测精度较低。由于实测资料有限,咸潮入侵物理过程复杂,且在大冲大淤的河口容易受多种因素影响,学者们的研究有一定局限性,难以研究清楚咸潮入侵整个过程的规律;②实验成本过高,为实验的持续进行带来困难。利用物理模型进行试验可以方便学者观测到不同的河口水文下咸潮入侵的情况,但咸水原本就是强电解质,容易造成物理实验模型的腐蚀损坏,使试验的成本很高;③大部分研究仍停留在构建平面二维数学模型。利用三维模型进行研究能更加真实展现咸潮入侵时河流动力过程,尽管已有前人开始采用三维数学模型,但应用范围不够广泛,需要加强对三维模型的研究。

数值模拟方法相较于存在局限性的现场观测分析与高成本的物理模型实验更加广泛应用于河口咸潮入侵的研究,为国家预报和治理工作带来一定的科学依据和便利,对我国咸潮研究具有十分重大的意义。

参考文献

- [1] 宋晓飞,石荣贵,孙聆晏等.珠江口磨刀门盐水入侵的现状与成因分析[J].海洋通报,2014,33(1):7-15.
- [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] 戚志明,包芸.珠三角咸水入侵变化趋势及其动力因素影响分析[J].广东广播电视大学学报,2009,18(3):43-47.
- [4] 杨桂山,朱季文.全球海平面上升对长江口盐水入侵的影响研究[J].中国科学(B辑 化学 生命科学 地学),1993,(1):69-76.
- [5] MACCREADY P, GEYER W R. Advances in estuarine physics [J]. Annual Review of Marine Science, 2010, (2): 35-58.
- [6] 自然资源部.2019年中国海平面公报[R].北京:自然资源部,2020.
- [7] LI L, ZHU J R, WU H. Impacts of wind stress on saltwater intrusion in the Yangtz Estuary [J]. Science China Earth Sciences, 2012, 55(7): 1179-1192.
- [8] LI L, ZHU J R, WU H, et al. Lateral saltwater intrusion in the North Channel of the Changjiang Estuary [J]. Estuaries & Coasts, 2014, 37(1): 36-55.
- [9] 林若兰,卓文珊,曾珂等.不同风向对珠江东四口门盐水入侵的影响[J].水资源保护,2020,36(1):70-79.
- [10] NIELSEN D L, BROCK M A, REES A N, et al. Effects of increasing salinity on freshwater ecosystems in Australia [J]. Australasian Journal of Botany, 2003, 51(6): 655-665.
- [11] 左常圣,王慧,李文善等.海平面变化背景下三大河口咸潮入侵特征及变化浅析[J].海洋通报,2021,40(1):37-43.
- [12] 诸裕良,孙世伟,张蔚.珠江三角洲河网及河口海域咸潮上溯模型研究[C]//第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(中),2011:586-591.
- [13] 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),2014,36(11):131-141.
- [14] 朱建荣,吴辉.长江河口东风西沙水库最长连续不宜取水天数数值模拟[J].华东师范大学学报(自然科学版),2013,(5):1-8+26.
- [15] 沈萍萍,方立刚,杜祝平等.珠三角地区咸潮入侵预警预报信息系统的总体设计[J].计算机与现代化,2008,10:116-119.
- [16] 郑晓琴,肖文军,于芸等.基于径流和潮汐的长江口盐水入侵统计预测研究[J].海洋预报,2014,31(4):18-23.
- [17] Pritchard D W. Estuarine hydrography [J]. Advances in Geophysics, 1952A, 1: 243-280.
- [18] Dyer, K. R. Estuaries and estuarine sedimentation. Estuaries and Hydrography and Sedimentation, 1979: 1-15.
- [19] Officer, Charles B. Discussion of the turbidity maximum in partially mixed estuaries [J]. Estuarine and Coastal Marine Sci, 1980, (10): 239-246.
- [20] 彭靖.磨刀门咸潮上溯的数值模拟及其机理分析[D].广州:中山大学,2007.
- [21] 黄洪城,匡翠萍,顾杰等.河口咸潮入侵研究进展[J].海洋科学,2014,38(9):109-115.
- [22] 张敏,陈钰祥,罗军等.珠江河口枯季咸潮上溯特征与机制分析[J].海洋预报,2021,38(5):8-16.
- [23] 何用,卢陈,涂向阳等.磨刀门咸潮物理模型试验-IV海平面上升对咸潮上溯的影响[J].人民珠江,2012,33(S1):40-44.
- [24] 卢祥兴.钱塘江河口盐水入侵的模型试验[J].水利水运科学研究,1991,(4):403-410.
- [25] 杨兴果.钱塘江河口咸潮入侵预警研究[D].杭州:浙江大学,2014.
- [26] 黄晨.长江口深水航道工程对盐水入侵的影响[J].水电能源科学,2019,37(3):29-32.
- [27] 潘明婕,孔俊,杨芳等.台风路径对磨刀门水道咸潮上溯动力过程的影响机制[J].热带海洋学报,2019,38(3):53-67.
- [28] 李林江,朱建荣.冬季北风风速对长江河口盐水入侵的影响[J].海洋学报,2021,43(10):10-22.