

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20190462

深圳河感潮河段洪水特性变化及成因分析

吴尧^{1,2,3}, 高时友^{1,2}, 吴小明^{1,2}, 吴门伍^{1,2}, 张小琴³

(1.珠江水利委员会珠江水利科学研究院,广东 广州 510611;2.水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室,广东 广州 510611;3.河海大学港口海岸与近海工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:感潮河道洪水特性受陆海双相复杂动力的共同影响。选取深圳和香港的界河——深圳河,基于实测降雨、流量及水位资料,分析潮动力作用下2018年“0829”典型洪水的变化过程,并与流量量级和洪潮遭遇过程相当的2008年6月洪水进行对比,发现“0829”洪水期间河道中上部水位升高约1.4m,河道防洪压力增大。分析发现河道淤积、河道阻力增大和河口平均潮位抬升是导致“0829”洪水水位壅高的主要原因。

关键词:洪水特性;潮动力;综合糙率;河道淤积

中图分类号:TV147

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2021)02-0075-05

1 引言

感潮河段洪水位变化受上游洪峰过程与外海潮汐过程的相互影响。由于洪水过程的随机性和突发性,且叠加外海潮汐过程的关联性影响,加剧了感潮河段洪水位研究的复杂程度^[1-2]。大量的研究结合数学模型对洪潮相互作用下水位开展关联性分析并进行预报,探讨洪水的漫堤风险和对城市内涝的不利影响^[3-4],然而,对感潮河段洪水特性的变化研究相对较少。实际上,由于糙率变化、河道淤积等因素的影响,感潮河段的洪潮水位遭遇特性会发生明显改变^[5-6]。为此,本文以深圳河为例,分析感潮河道洪水特性的变化,在此基础上探讨洪水特性的变化成因。

2 研究区域概况

深圳河位于珠江口东侧,东经114°~114°12'50",北纬22°27'~22°39'之间,属珠江三角洲水系,且是深圳与香港特别行政区的界河。深圳河发源于其支流沙湾河黄牛湖水库上游海拔214.5m的牛尾岭,后向西南流经深圳市区后注入深圳湾,全长37km,河道平均比降1.1‰,深圳河流域水系见图1。流域面积312.5km²,其中深圳境内187.5km²约占60%,其余面积属香港新

界区。深圳河干流自深圳河口至三叉河口,一级支流有7条,由上至下分别为:莲塘河、沙湾河、梧桐河、布吉河、福田河、皇岗河、新洲河,其中莲塘河左岸、梧桐河均在香港境内。深圳河主流是沙湾河,在三叉河口与莲塘河汇合后称深圳河^[7]。深圳河干流和一级支流均受潮汐的影响,现状感潮河段长约13.1km。

深圳河流域内上游为丘陵山地,中下游为平坦地区,水系呈扇形分布,河流短、支流比降陡,汇流时间

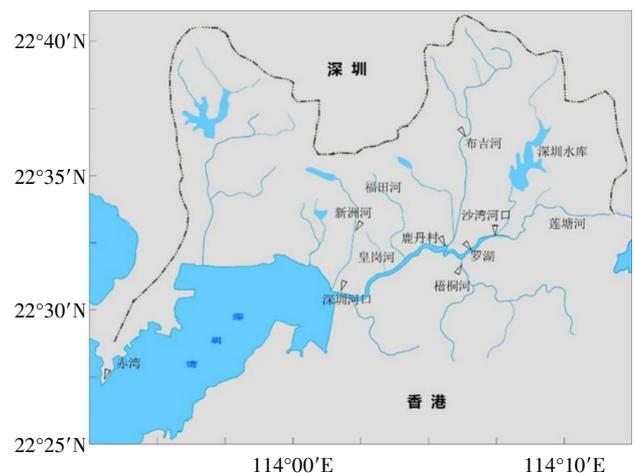


图1 深圳河湾及水文测站布置

Fig.1 The location of the Shenzhenhe River bay area and the gauging stations

收稿日期:2019-12-25

基金项目:国家自然科学基金项目(42006157,51779280);水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室开放研究基金项目([2018]KJ07)

作者简介:吴尧(1992-),男,福建漳州人,硕士研究生,主要研究方向为河口水动力及泥沙。E-mail:wyaker@hotmail.com

短,洪峰流量大,暴雨后约 1h 洪峰即可到达干流,使得扇形流域中心位置的鹿丹村干流河段洪水风险增大。近年来,由于城市化进程的加快,如布吉河集水区城市化比例已达到 60%以上,使得流域降雨产汇流速度进一步加快;另一方面,气候变化导致暴雨强度增大,统计表明流域 1h 降雨强度有增大趋势。此外,风暴潮等极端灾害频发使得河道洪潮水位不断刷新历史新高。

3 数据资料及研究方法

2006 年以来,深圳河流域内布设多个连续观测的水文站点,对流域降雨量及河道流量等水文要素实行长时间观测。根据对多年水文资料的整理分析,深圳河干流发生了两次流量级相近的洪水:分别是 2008 年 6 月洪水和 2018 年 8 月 29 日洪水(以下简称“0829”洪水),其余洪水量级均明显较小。因此,本文收集这两次洪水的降雨、流量、水位过程,并进行对比分析。

此外,为了分析河口下边界水位变化及海平面抬升的影响,本文收集 1965~2014 年间深圳湾口赤湾站潮位资料。结合上述水文降雨资料,综合利用统计分析方法、遥感解译技术等手段,开展潮汐作用影响下的深圳河洪水特性变化及其成因分析。

4 深圳河典型洪水过程分析

受季风低压影响,2018 年 8 月 28~30 日深圳市出现连续三天暴雨到大暴雨降雨过程,其中 29~30 日出现了大暴雨局部特大暴雨,本次降雨主要集中在深圳市东部和中部,降水过程具有“持续时间长、累计雨量大、短时雨强、次生灾害风险高”的特点。由暴雨引发的洪水,造成深圳河上中游的深圳水库排洪河、罗湖、梧桐河、鹿丹村等站水位超过有历史资料以来的最高水位。

4.1 降雨特征

短历时的强降雨强度是决定深圳河洪峰流量的主要因素,因此重点分析 1h 最大降雨量。从“0829”的降雨区域分布上看,1h 最大降雨量最大超过 50mm,其空间分布呈现东南侧降雨大,往北侧降雨强度逐渐减小(见图 2)。罗湖出现最高水位前最大降雨带位于香港侧,之后强降雨带由香港侧逐渐北移至深圳侧。29 日 17 时降雨中心为平原河,19 时位于梧桐河,20 时位于深圳河落马洲至平原河口段两岸,21 时北移至深圳侧布吉河。其中梧桐河 1h 降雨量约 50mm,而布吉河降雨量约 20mm。最大降雨带由梧桐河上游逐

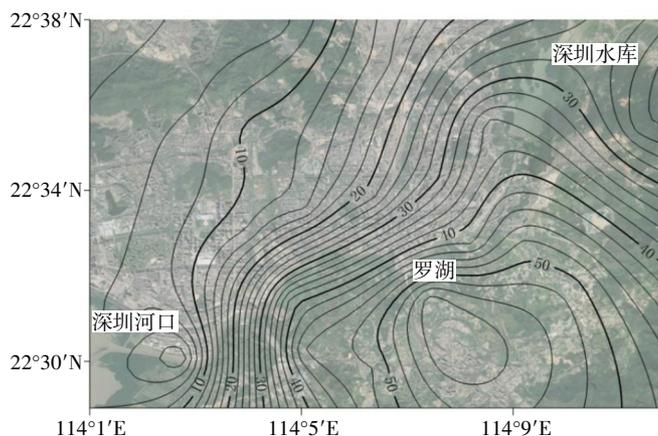


图 2 “0829”降雨 1h 等雨量线(mm)

Fig.2 The one hour equipluvial of “0829” rainfall

渐向深圳河沿线转移,导致上游降雨的汇流和深圳河两侧区域的排水洪峰叠加。此外,统计发现鹿丹村站 6h、24h 最大降雨量分别为 164mm、333.5mm,根据《广东省暴雨径流查算图表》查得,其 6h 最大降雨量为五年一遇重现期,24h 最大降雨量超过 10 年一遇重现期。

4.2 水位特征

在此次洪水期间,深圳水库排洪河、罗湖、梧桐河、鹿丹村等测站录得最高水位分别为 4.50m、4.19m、4.04m、3.94m,分别超过有记录以来的历史最高水位 0.86m、0.58m、0.51m、0.53m,鹿丹村超抢险水位 0.04m(见表 1)。从鹿丹村和深圳河口水位来看(见图 3),受强降雨影响,鹿丹村水位从 29 日 14:40 开始上涨,而下游深圳河口受暴雨引起的产汇流影响于 16:20 开始上涨。赤湾站潮位作为外海潮位的代表,在该时段内处于落潮阶段,因此此次河道洪水位不受涨潮流影响。

表 1 “0829”洪水最高水位与特征水位对比

Table1 The comparison between the maximum water stages and characteristic water levels of “0829” flood

测站位置	深圳水库排洪河	罗湖	梧桐河	鹿丹村	皇岗	深圳河口
洪峰水位/m	4.50	4.19	4.04	3.94	2.70	1.80
洪峰水位出现时刻/h:min	20:30	20:20	20:00	20:30	21:20	21:00
历史最高水位/m	3.64	3.61	3.53	3.41		
超过历史最高水位/m	0.86	0.58	0.51	0.53		
堤顶高程/m	6.47	6.04		4.50	3.80	3.60
抢险水位/m				3.90	3.10	3.00

注:表中基面为 56 黄海基面。

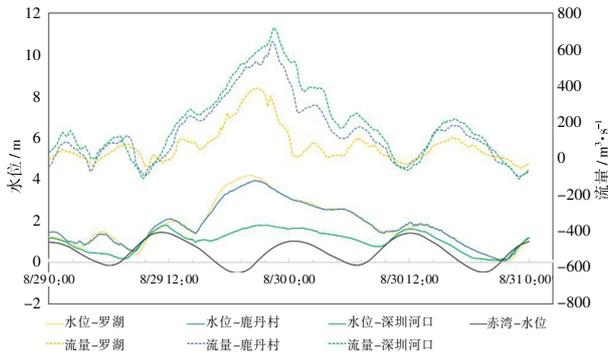


图3 深圳河各站“0829”洪水水位-流量变化过程

Fig.3 The water stage-discharge process of '0829' flood at different gauging stations in the Shenzhenhe River

各站最高水位及出现时间见表1,各站洪峰水位出现在29日20时至21时20分之间,与12h暴雨发生时间对应良好。其中罗湖洪峰水位领先附近支流梧桐河20min,分别领先下游鹿丹村,皇岗和深圳河口10min,60min和40min。洪水位于8月30日8时基本降低至洪水前水平,洪水持续时间小于1d,历时较短。

深圳河中下游河段为感潮河段,对暴雨产生的洪水的消退能力弱于山区性河流。本次降雨为连续3日型暴雨,28日暴雨形成的洪水还没有完全消退,29日特大暴雨形成的洪水接踵而至,造成29日水位较高且同流量条件下水位偏高。此外,各支流间洪峰时间的差异会造成水位相互顶托的现象。从图3可以看出,由于梧桐河汇入深圳河干流的洪水早于罗湖站的洪水,且峰高量大,对罗湖处河段形成了严重的顶托,造成罗湖洪水宣泄不畅,导致罗湖同水位下流量偏小。

4.3 流量特征

对比上下游的深圳河口、罗湖、鹿丹村洪水过程,发现罗湖、鹿丹村、深圳河口三站最大流量出现时间分别为20:30、21:10和21:40,相应地流量分别为318 m³/s、772 m³/s和846 m³/s。上游罗湖洪峰流量发生时间分别领先鹿丹村和深圳河口40min和70min。

从鹿丹村和深圳河口的水位-流量关系来看,鹿丹村站在14:50前流量都是随着潮位变化,遵循着潮流站的一般规律,涨潮时水位升高且流量为负,落潮时水位降低且流量为正。但14:50后随着前期雨水积累以及降水量的增大,水位上涨且流量为正,而此时外海赤湾站仍处于落潮阶段,说明此时水位壅高受上游下

泄洪水影响。直到20:30,鹿丹村水位超历史水位达到3.94 m,到21:10时深圳河口水位开始转退并出现最大流量772 m³/s,此后洪水波向下游运动,水位降低流量急剧减少,此段时间深圳河洪水特性与非感潮河段洪水特性相同。

5 洪水特性变化分析

受西南气流和低压槽影响,2008年6月13日出现强降雨,深圳全市有9个区域气象站24h累计雨量超过400 mm,尤其集中在支流布吉河,降雨强度接近百年一遇设计降雨。而包括上游平原河口、罗湖以及下游深圳河口24h降雨量均大致为250mm,基本为5年一遇降雨强度。对比2018年8月洪水期间流域降雨,两者平均降雨强度基本接近(见图4)。

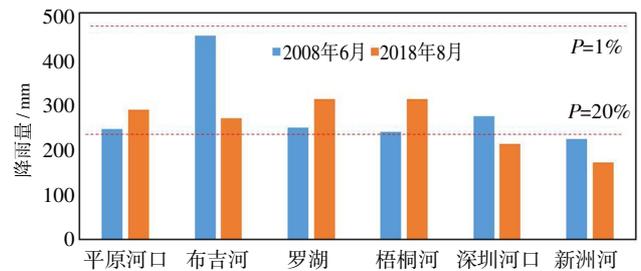


图4 2008年6月和2018年8月洪水期间降雨量对比

Fig.4 The comparison of precipitation during the flood periods in June 2008 and August 2018

进一步对比河道洪水流量和水位变化,以深圳河干流重要站点罗湖为例,2008年6月洪水期间,罗湖站测得最大流量343 m³/s,最高水位为2.74 m,而“0829”洪水期间,罗湖站测得最大流量318 m³/s,最高水位为4.18 m。相比2008年,“0829”洪水流量基本一致甚至有所减小,而罗湖水位却显著增大1.44m,洪水位升高超过50%。此外,“0829”洪水期间河道干流中上部各站点最高水位均明显抬升,其中梧桐河水位升高1.39m,鹿丹村水位升高1.34m,增长幅度均超50%。

通常来说,感潮河段的洪水过程还受涨落潮动力的影响,但考虑到两场洪水洪峰时段下边界潮位过程基本一致,且洪峰时刻均处于落潮阶段,因此河口涨潮流对河道行洪的影响基本一致。值得注意的是,两次洪水期间河口区平均潮位有所变化。为消除洪水发生时间的影响,将两次洪水洪峰发生时刻进行重叠,为消除潮周期过程水位波动的影响,对下边界深圳河

口和赤湾潮位进行 24h 滑动平均处理, 进而对比分析两次洪水发生时下边界的平均潮位变化。从图 5 中可以看出, 两次洪水期间深圳湾湾口附近(赤湾)24h 滑动平均水位基本一致, 表明外海潮波没有明显变化。但“0829”洪水期间深圳河口 24h 滑动平均水位较 2008 年 6 月洪水抬高约 50cm, 河口区平均潮位明显增高(见图 5)。

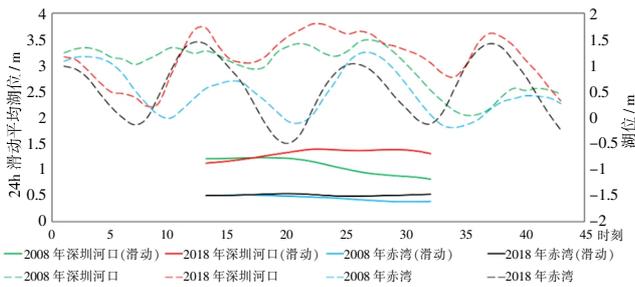


图 5 2018 年 8 月和 2008 年 6 月洪水期间潮位和 24h 滑动平均潮位变化
Fig.5 The variation of tidal level and 24h moving average tidal level during the flood periods in June 2008 and August 2018

6 洪水特性变化成因分析

6.1 河道淤积

由于 2007 年对河道中下部部分河段进行疏浚工程以及 2003~2006 年间罗湖以上三期工程河段进行河道整治, 2008 年后深圳河河道显著回淤。截止 2018 年 3 月, 深圳河一至三期工程范围内总淤积量约为 $96.1 \times 10^4 \text{m}^3$, 平均淤积厚度约 0.77m, 基本回淤至河道清淤前水平。总体上看, 河道淤积比较严重, 常水位下, 相比 2008 年, 2018 年深圳河口至鹿丹村河段过流面积减小 20%。

以 2018 年洪水位升高最大的鹿丹村站为例, 该断

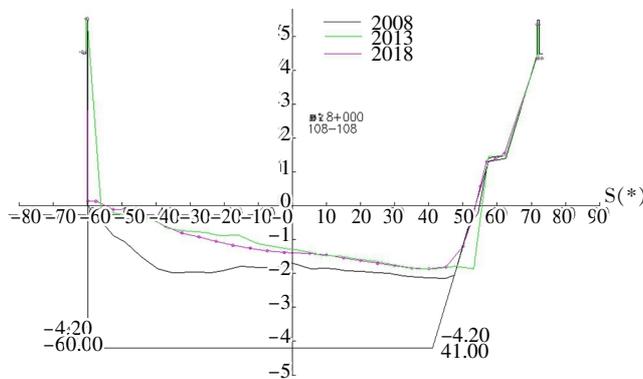


图 6 2008~2018 年鹿丹村断面变化
Fig.6 The section variation of the Ludan village during 2008-2018

面宽 132m, 左岸为加固斜坡, 右岸为垂直混凝土防洪墙, 河床成分为粗砂。从图 6 中可以明显看出, 相比 2008 年, 2018 年河床整体显著抬高, 平均抬高约 0.5m, 靠近深圳侧断面回淤较为严重, 河床升高超过 1m。在洪水来流量一致的情况下, 河床抬升会显著导致洪水位升高。因此, 河道淤积及过流面积减小是导致 2018 年深圳河防洪形势严峻, 洪水位抬高的重要原因。

6.2 河道阻力增大

深圳河治理后经过多年的自然发展, 河道持续淤积, 两岸植被发育显著, 由人工河道逐渐向天然河道转变, 河道边界阻力已发生显著变化。2008 年 6 月边滩及植物生长范围小。从图 7 中可以看出, 深圳河边滩及植物生长范围不断发育, 2010~2018 年间, 边滩植物外缘线向河道内扩展约 30m, 平均每年 3~4m。虽然河道每年汛前会进行边滩植物清障工作, 由于边滩植物以芦苇为主, 清除后其生长能力仍十分迅速, 在汛前仍会影响河道行洪。由于 2008 年 6 月洪水与汛前清除植物的时间间隔短, 河道综合阻力相对较小。2018 年 8 月 29 日洪水发生时已快到汛末, 汛前清除掉的植被又重新生长, 植被生长水平超过 2008 年 6 月。因此, 两岸边滩植物的生长范围不断扩大, 不仅减小河道行洪面积, 而且增大了洪水期间河道综合糙率, 导致河道行洪阻力增大, 是 2018 年洪水位抬高的重要原因。

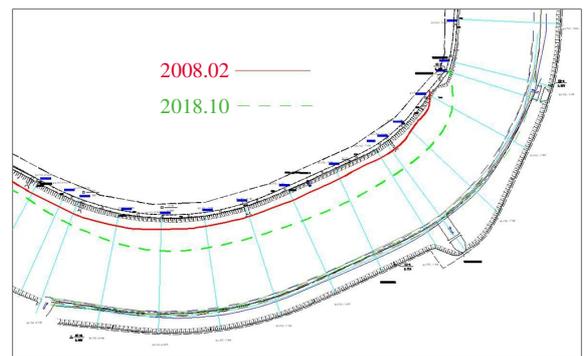


图 7 深圳河边滩植物生长范围年际变化
Fig.7 The interannual variation of the range of tidal flat plants along the Shenzhenhe River

6.3 河口平均潮位变化

对比 2008 年 6 月和 2018 年 8 月洪水深圳河口 24h 平均水位发现, 2018 年洪水发生时河口平均潮位较高。一方面河口平均潮位影响河道水位, 另一方面影响上游洪水宣泄, 都易导致河道洪水风险增大。深

圳河口及深圳湾浅滩的持续淤积,加上河口红树林在中滩的扩散生长,是促成深圳河河道下游平均潮位抬高主要原因。图8为深圳河河口2010年之前和2018年10月遥感图对比。2008年河口中滩上红树林生长范围小,河口两侧福田红树林保护区及米铺红树林保护区滩涂上的红树林也相对较稀疏。2018年10月河口中滩淤积较高,红树林也大面积生长,福田红树林保护区及米铺红树林保护区滩涂上的红树林也非常茂密。红树林生长范围的扩大以及河口区的持续淤积都易导致深圳河河口平均潮位抬升。

此外,受海平面抬升的影响,深圳湾湾口潮位同样不断增大。统计1965~2014年平均高低潮位的年际变化,发现年平均潮位统计值均增大约20cm,尤其是2000年之后,赤湾年平均低潮位显著增大(见图9)。平均潮水位的显著抬升也是影响感潮河道洪水位的重要因素。

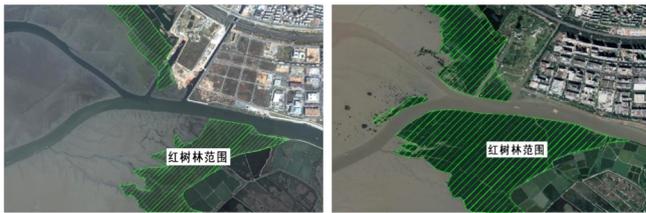


图8 2010年之前(左)和2018年后(右)深圳河河口遥感图
Fig.8 The remote sensing images of the Shenzhenhe River estuary before 2010 and after 2018

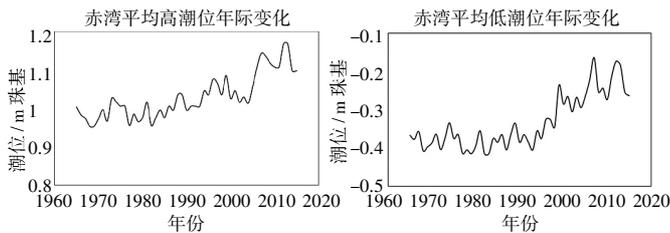


图9 赤湾站年平均高潮位和低潮位的年际变化

Fig.9 The interannual variation of mean high and low tidal levels at the Chiwan gauging station

7 结论

本文基于深圳河2018年实测洪水资料,分析感潮河流洪水特性,并与2008年同量级洪水进行对比,分析感潮河道洪水特性变化及成因,得到主要结论如下:

(1)深圳河为中小型感潮河流,扇形的流域形状使得洪水易在中游汇聚,洪水暴涨暴落且历时短,“0829”洪水期间深圳河遭遇6h最大降雨量为5年一遇重现期,24h最大降雨量超过10年一遇重现期,但多站水

位刷新历史新高,河道防洪形势面临一定的压力;

(2)深圳河洪水特性发生明显变化。对比2008年6月和“0829”洪水,两者降雨量和洪峰流量基本相当,但“0829”洪水河道中上部水位显著抬高,最大差值达1.44m。考虑到两次洪水期间洪潮遭遇情况类似,说明潮动力对两者影响大体相同;

(3)河道淤积导致床底不断抬升、河岸边滩植物发育侵占河道行洪断面且增大综合糙率、河口红树林无序生长和海平面抬升致使河口平均潮位抬升,三者共同影响是造成2018年洪水位较高的主要原因。

参考文献:

- [1] 刘曾美,覃光华,陈子桑,等. 感潮河段水位与上游洪水和河口潮位的关联性研究[J]. 水利学报, 2013,44(11):1278-1285. (LIU Zengmei, QIN Guanghua, CHEN Zishen, et al. Study on the correlation of the water level of the tidal river with upstream flood and estuary tide level [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013,44(11):1278-1285. (in Chinese))
- [2] 张小琴,包为民. 感潮河段水位预报方法浅析[J]. 水电能源科学, 2009,27(3):8-10. (ZHANG Xiaoqin, BAO Weimin. Brief review on water level forecasting for tidal river [J]. Water Resource and Power, 2009,27(3):8-10. (in Chinese))
- [3] 魏乾坤,刘曙光,钟桂辉,等. 平原感潮河网地区河道洪水对村镇内涝的影响[J]. 长江科学院院报, 2019,36(3):46-52. (WEI Qiankun, LIU Shuguang, ZHONG Guihui, et al. Influence of channel flood in plain tidal river network on waterlogging in villages and towns [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2019,36(3):46-52. (in Chinese))
- [4] 傅赐福,董剑希,刘秋兴,等. 闽江感潮河段潮汐-洪水相互作用数值模拟[J]. 海洋学报, 2015,37(7):15-21. (FU Cifu, DONG Jianxi, LIU Qiuxing, et al. Flood-tide interaction numerical simulation in Minjiang River tidal reach [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015,37(7):15-21. (in Chinese))
- [5] 张小琴,包为民. 糙率对感潮河段水位预报的影响[J]. 水文, 2009, 29(3):19-23. (ZHANG Xiaoqin, BAO Weimin. Effect of roughness on stage forecasting in tidal reach [J]. Journal of China Hydrology, 2009,29(3):19-23. (in Chinese))
- [6] 陈立华,滕翔,潘子豪,等. 西江流域梧州站干支流洪水组成及遭遇规律分析[J]. 水文, 2019,39(6):80-84. (CHEN Lihua, TENG Xiang, PAN Zihao, et al. Composition and encountering law of floods at Wuzhou station from main stream and tributaries in Xijiang River basin [J]. Journal of China Hydrology, 2019,39(6):80-84. (in Chinese))
- [7] 陈子珊,何用,高时友. 深圳河防洪能力影响因素分析[J]. 水利水电技术, 2015,46(2):112-115. (CHEN Zishan, HE Yong, GAO Shiyu. Analysis on factors of impact on flood control capacity of Shenzhen River [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2015,46(2):112-115. (in Chinese))

(下转第85页)