

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2021.03.008

珠江三角洲洪水就近入海防洪治理方案

肖 洋^{1,2},王 艳³,徐辉荣³,李志伟^{1,2},王 鑫³,栾 斌²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098;
2. 河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098; 3. 广东省水利电力勘测设计研究院,广东 广州 510635)

摘要: 为探索更适应现状行洪格局的新防洪治理方案,基于珠江河网潮流水动力数学模型,在研究现状洪水格局的基础上,提出洪水就近入海治理方案,定量分析方案中就近入海行洪通道疏浚对洪水排泄的影响。结果表明:现状条件下,西四口门中磨刀门泄流量最大,崖门泄流路径最短;东四口门中,蕉门所承担西北江的泄流量最大,且泄流路径最短。洪水就近入海方案实施后,西四口门中崖门泄流量增加,增幅为 28.05 万 m³,分配比增加 0.50%;东四口门中蕉门和虎门泄流量增加,增幅分别为 11.10 万 m³和 15.37 万 m³,分配比分别增加 0.20%和 0.27%,方案达到洪水就近入海的效果。研究成果可为珠江三角洲防洪方案的制定提供技术支撑。

关键词: 珠江三角洲;数值模拟;防洪治理;行洪格局;洪水就近入海;疏浚

中图分类号: TV872 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2021)03-0257-08

Analysis on flood control scheme for flood discharge from nearer route in the Pearl River Delta

XIAO Yang^{1,2}, WANG Yan³, XU Huirong³, LI Zhiwei^{1,2}, WANG Xin³, LUAN Bin²
(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China;
2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Guangdong Hydropower Planning & Design Institute, Guangzhou 510635, China)

Abstract: To explore a new flood control scheme adapting to the current flood pattern, the flood control scheme for “flood discharge from the nearer route” is proposed based on studying the current flood pattern. The effect of river dredging of nearer route on the flood discharge is quantitatively calculated based on the hydrodynamic model for river network in the Pearl River Delta. The results show that the discharge of Modaomen is the largest and the discharge path of Yamen is the shortest in the west four estuaries. Jiaomen had the largest discharge, and its discharge path is also the shortest in the east four estuaries. After the channel dredging, the discharge of Yamen which is the one of the west four estuaries increased by $2.805\times10^5\text{ m}^3$, and the distribution ratio increased by 0.50%. The discharge rate of Jiaomen and Humen in the east four estuaries increased by $1.11\times10^5\text{ m}^3$ and $1.537\times10^5\text{ m}^3$, with a distribution ratio of 0.20% and 0.27%, respectively. The flood control scheme has achieved the expected effect, which can provide technical support for the implementation of the Pearl River Delta flood control program.

Key words: Pearl River Delta; numerical simulation; flood control; flood pattern; flood discharge from the nearer route; river dredging

近几十年来,受强人类活动的影响,珠江三角洲河网水沙特征和河势发生显著改变^[1-4],行洪格局也不断变化^[5-7],原有的“西北江分治”和“水沙西南调”防洪治理方案越来越难以适应现状行洪格局,能否探索出新的防洪治理方案,是珠江三角洲防洪规划科学实施中亟待解决的关键问题。

在 20 世纪 50—60 年代,为治理珠江三角洲防洪排涝问题,有学者提出了“西北江分治”方案,使排洪能力相对较大的西江承担更多泄洪^[8];70—80 年代,航运交通对经济的影响愈加显著,而伶仃洋此时存在的主要问题是西北部口外沙坝和浅滩逐渐向东南扩展,洪奇沥入海口门严重淤积,导致水沙直接从蕉门出口,威

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0402605)

作者简介: 肖洋(1974—),男,教授,博士,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail:sediment_lab@hhu.edu.cn

引用本文: 肖洋,王艳,徐辉荣,等. 珠江三角洲洪水就近入海防洪治理方案[J]. 河海大学学报(自然科学版),2021,49(3):257-264.

XIAO Yang, WANG Yan, XU Huirong, et al. Analysis on flood control scheme for flood discharge from nearer route in the Pearl River Delta[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2021,49(3):257-264.

胁伶仃洋深水航道,为此有学者提出“水沙西南调”治理方案以减少伶仃洋淤积,维持广州出海航道稳定^[9-11]。然而,随着人类活动的增强,特别是大规模人为采砂对珠江三角洲河网和伶仃洋的影响^[12-13],伶仃洋在1989年前以淤积为主,之后以冲刷为主并有持续增大趋势^[14-15],河网内地形不断发生改变^[16],“水沙西南调”防洪治理方案提出的背景已发生改变。近30年来,珠江三角洲行洪格局也不断发生变化,相继发生了“94·6”“98·6”“05·6”“08·6”“17·7”等大洪水,其中由于滞洪瓶颈河段的存在,“94·6”“98·6”这2场洪水中腹部发生水位异常壅高现象^[17-18];经一系列清障措施后,“08·6”洪水水位出现整体下降^[19],但由于上游河道冲刷所导致的下游比降调平、潮汐作用及海平面上升,使出海口附近水位略微升高^[20];“17·7”洪水位对比表明三角洲内水位下降,其中马口站最高水位降幅约1 m。总体而言,行洪格局发生了新的变化,有必要根据现状防洪格局和水沙变化特征,探索新的防洪治理方案以更好适应现状行洪格局及社会经济发展需求。

因此,本文利用Delft-3D FM软件建立珠江河网潮流水动力数学模型,在分析现状洪水格局变化基础上,提出“洪水就近入海”防洪治理方案,进一步探讨方案中行洪通道疏浚对洪水排泄的效果。

1 研究方法

1.1 模型建立

基于Delft 3D FM软件,建立了珠江三角洲河网及南海部分区域二维嵌套定床潮流数学模型(图1),地形数据采用2010年实测地形。其中图1(a)为大模型范围,主要为图1(b)小模型提供八大口门潮位序列。模型网格采用四边形网格与三角形网格结合,主河道区使用四边形网格,在水系连接处和河宽变化较大处使用三角形网格过渡。

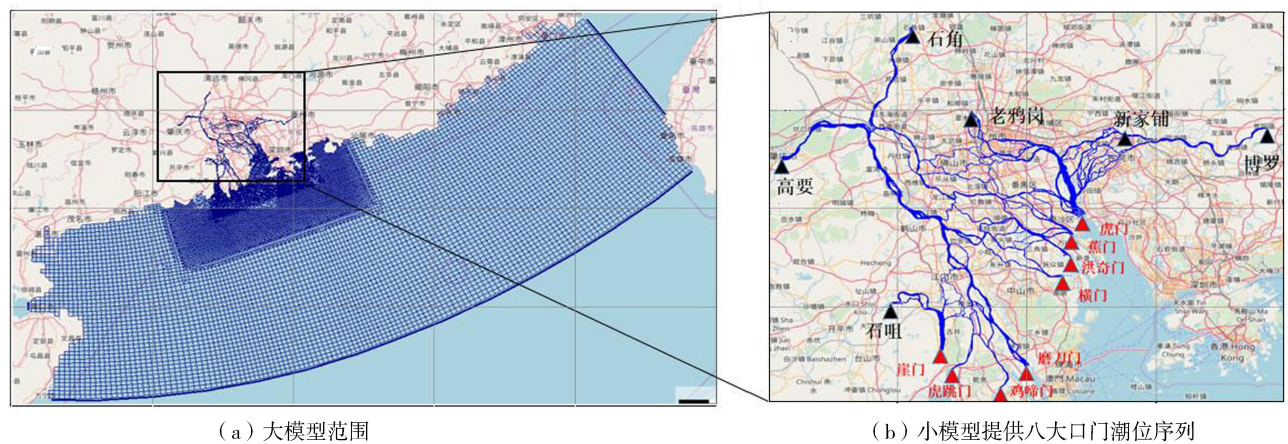


图1 全区域网格及局部示意图
Fig.1 Global area grid and local schematic diagram

1.2 模型参数率定与验证

经率定,河网区域内糙率取值范围为0.020~0.035,外海区域糙率取值范围为0.020~0.030。采用2017年6月1日至2017年7月21日洪季实测数据和2016年11月10日至2017年3月1日枯季实测数据,对河网内共20个水文测站进行洪枯季潮位验证,其中12个水文测站同时进行洪枯季流速验证,对12个断面进行洪枯季大、小潮的流量验证。鉴于篇幅,仅展示部分控制站的潮位、流量验证结果(如图2~5所示),洪枯季的各水文测站平均潮位、流量验证系数见表1。

表1 水文测站洪枯季验证系数
Table 1 Validated coefficients of hydrological stations in flood season and dry season

洪枯季	潮位验证系数			流量验证系数	
	平均 Nash 系数	平均最高潮位 偏差/m	平均最低潮位 偏差/m	平均 Nash 系数	百分比 误差/%
枯季	0.80	-0.01	0.08	0.71	2.87
洪季	0.89	0.09	-0.02	0.72	13.83

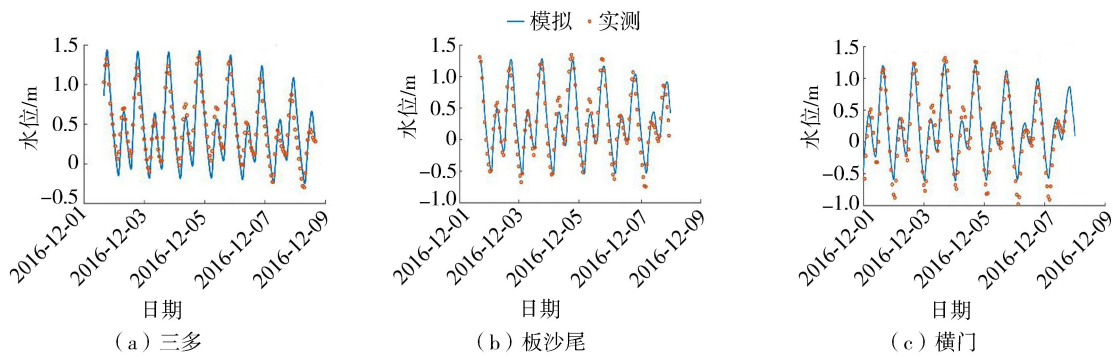


图 2 主要控制站枯季潮位验证

Fig. 2 Tidal level verification of main hydrological stations in dry season

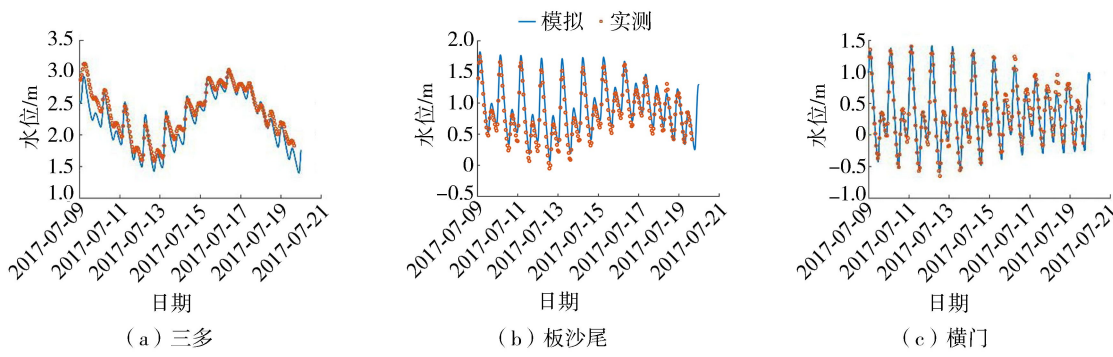


图 3 主要控制站洪季潮位验证

Fig. 3 Tidal level verification of main hydrological stations in flood season

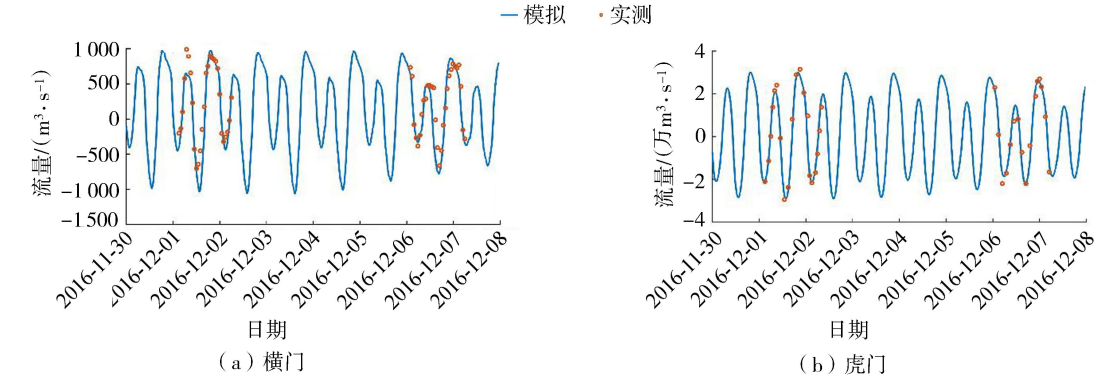


图 4 主要控制站枯季流量验证

Fig. 4 Discharge verification of main hydrological stations in dry season

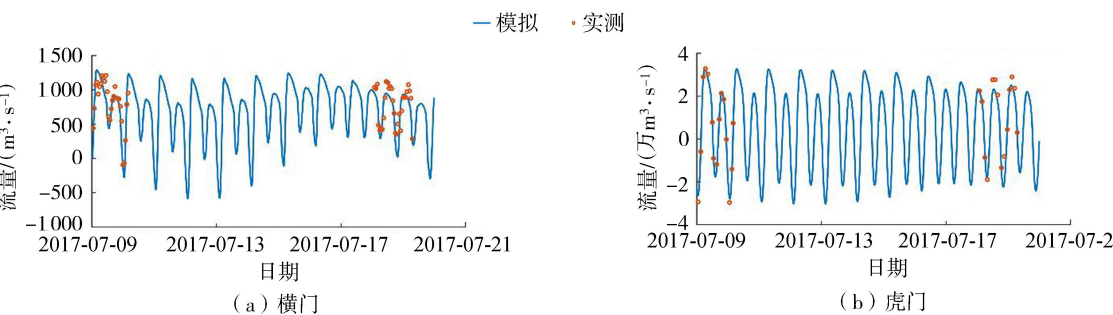


图 5 主要控制站洪季流量验证

Fig. 5 Discharge verification of main hydrological stations in flood season

通过对洪季和枯季两种边界情况下各潮位站点的潮位值和流量值的验证结果,大部分站点最高最低潮位偏差在 0.1 m 以内,大部分断面流量偏差在 10% 以内,流速,憩流时间和最大流速出现时间均在规范要求范围内,流速过程线形态基本一致,模型验证满足《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》^[21] 要求。

2 珠江三角洲现状行洪格局

珠江三角洲的防洪体系主要由上游水库和三角洲堤防组成。模型采用“05·6”洪水作为边界条件,计算时段为 2016 年 6 月 16 日至 7 月 2 日,历时 17 d,计算的珠江三角洲泄洪路径见图 6,由图 6 可见,西北江来流分别在思贤滘、勒流及板沙尾节点从上至下进行了 3 次交汇,西江洪水主要通过西海水道下泄至崖门、虎门、鸡啼门及磨刀门,通过东海水道下泄至横门、洪奇门及蕉门;北江洪水主要通过顺德水道下泄至洪奇门和蕉门,通过东平水道下泄至虎门。西四口门中磨刀门的泄流量远大于其他三口门,为 92.31 亿 m³,占总泄流量的 28.64%;崖门泄流路径最短,但泄流量最小,为 9.81 亿 m³,占总泄流量的 3.25%。东四口门中,横门仅承担来自西江的泄流量,为 25.37 亿 m³,占总泄流量的 7.87%;洪奇门和蕉门同时承担西、北两江泄流量,分别为 34.66 亿 m³、65.31 亿 m³,占总泄流量的 10.75%、20.26%,其中蕉门北泄流路径最短;虎门总泄流量为 70.93 亿 m³,其中北江泄流量占 77.8%。

图 7 为“05·6”洪水下实测最高水位与现状地形下同样发生“05·6”洪水的最高水位差值分布(现状地形下水位-实测水位),图中蓝色为负值,表示下降;红色为正值,表示上升。由图 7 可知,上下游边界条件相同的情况下,在现状地形下发生“05·6”洪水,水位在三角洲上部和中腹部区域体现为降低,其中,三角洲上部顶端的马口、三水站水位降幅最大,比实测最高水位分别降低了 1.38 m 和 1.61 m;在河口附近区域,水位略有升高,其中横门和南沙站水位分别上升 0.030 m 和 0.039 m。珠江三角洲河床下切对上游的水位影响大于下游,且存在局部河道地形变化不均匀的情况。

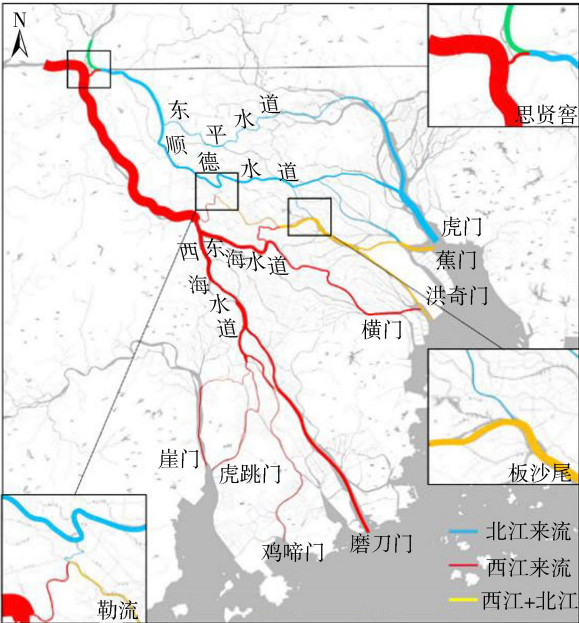


图 6 “05·6”典型洪水下西北江泄洪路径
Fig. 6 Flood discharge route of Xijiang and Beijiang in “05·6” typical flood

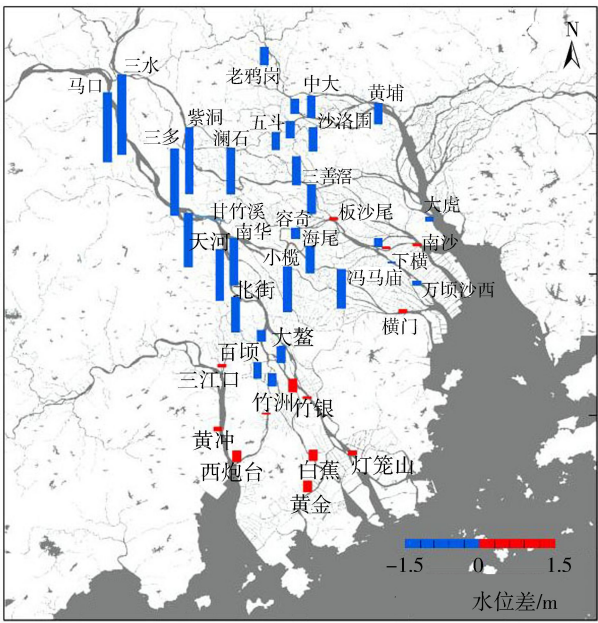


图 7 “05·6”历史地形与现状地形下水位差空间分布
Fig. 7 Spatial distribution of water level difference between previous and current topography in “05·6” flood

3 洪水就近入海治理方案及分洪效果分析

3.1 治理方案

根据上述珠江三角洲的行洪格局分析,结合《珠江流域防洪规划报告》^[22] 的洪水治理思路:合理安排西北江出口泄洪任务、平衡腹部洪水,提出了洪水就近入海治理方案,如图 8 所示:(a)北江恢复思贤滘至蕉门北的最短出海路径,增加北汉的水沙通量;(b)西江维持马口—天河—磨刀门泄流通道不变,仍使其作为主

要泄洪路径;(c)增加西江干流进入泄洪通道大敖—虎坑水道—崖门的泄流量。基于以上思路,结合珠江三角洲高等级航道网等级标准,对图 8(a)中的虎坑水道、上横沥水道进行疏浚。

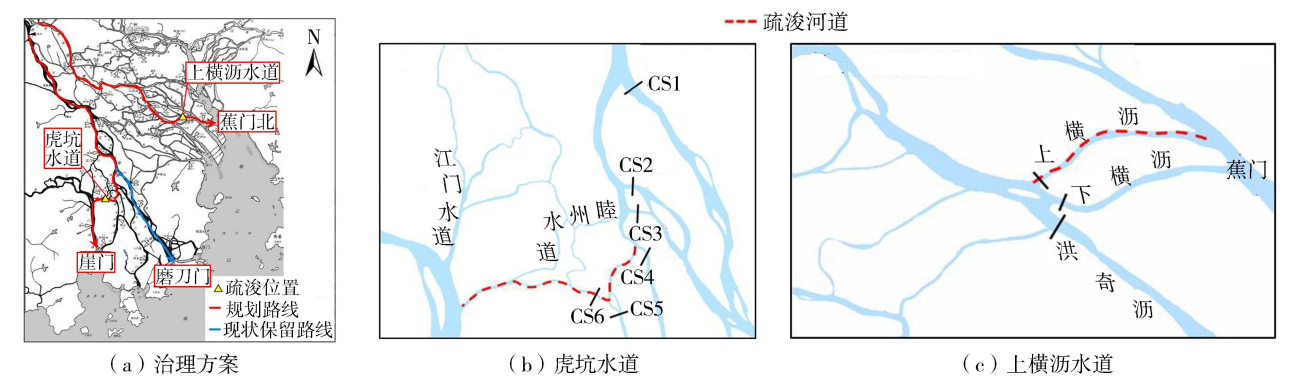


图 8 疏浚位置示意图
Fig. 8 Dredging position diagram

考虑疏浚工程在增加就近入海通道泄流量的同时,疏浚量不宜太大。在此原则上对虎坑水道、上横沥水道的疏浚各设计 3 种疏浚方案,其中方案 1 的沿程疏挖河床高程为对原始深泓线进行线性拟合后的对应值,对整体高于此拟合线的河段进行挖深;方案 2 和方案 3 的沿程疏挖河床高程参考线为将初始拟合线分别向下平移 1 m、2 m 的新拟合线,对整体高于拟合线的河段进行挖深。各方案的疏浚情况如表 2 所示。

表 2 各方案疏浚情况统计

Table 2 Statistic table of dredging parameters for each scheme						
疏浚区域	方案	里程/km	疏挖前深泓 平均高程/m	疏挖后深泓 平均高程/m	疏浚 范围/km ²	工程量/ 10 ⁶ m ³
虎坑水道	1	15.04	-6.53	-7.23	1.38	0.86
	2	15.04	-6.53	-7.79	1.38	1.77
	3	15.04	-6.53	-8.64	1.38	2.89
上横沥水道	1	10.61	-8.78	-9.81	4.22	1.51
	2	10.61	-8.78	-10.43	4.22	2.74
	3	10.61	-8.78	-11.26	4.22	4.75

3.2 疏浚方案优选

图 8(b)为虎坑水道与相邻水道图,在“05·6”洪水下对虎坑水道的 3 种疏浚方案进行计算,分析不同疏浚工程量下,进入崖门的虎坑水道断面泄流量的增加情况,以及临近河道的泄流量减小情况,所有断面流量选取西江马口出现洪峰流量时刻(2016 年 6 月 24 日 21:00),计算结果如图 9(a)所示。以方案 2 为例,虎坑水道泄流量(Q_{CS6})增加 320 m³/s,而流入虎跳门、鸡啼门泄流量($Q_{CS4}+Q_{CS5}$)共减小 64.83 m³/s,磨刀门的泄流量($Q_{CS1}+Q_{CS2}+Q_{CS3}$)减小 203.2 m³/s,虎坑水道增加的流量大于 CS1~CS5 断面流量减小之和,说明对虎坑水道沿程进行疏浚后,不但减小了临近水道的泄流量,同时还使西江干流更多流量通过虎坑水道下泄。经 3 个方案比选,就虎坑水道而言,方案 1 和方案 2 的结果表明,随着疏浚量的增大,虎坑水道泄流量增加较明显,方案 3 中,随着疏浚量增加,泄流量增幅减小。故虎坑水道疏浚方案选择方案 2。

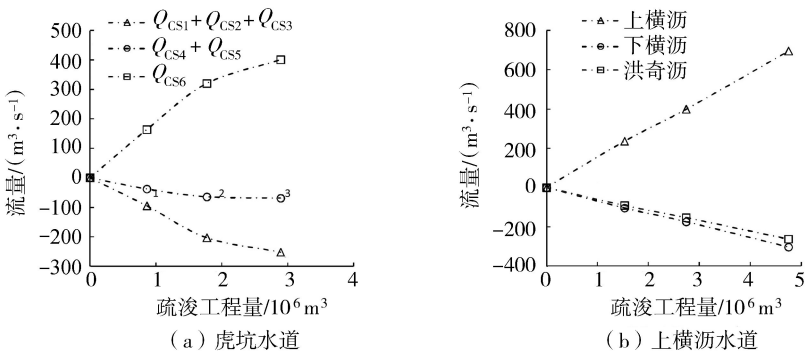


图 9 水道流量变化值与疏浚工程量的关系
Fig. 9 Relation of flow changes and dredging amount

图 8(c)为上横沥水道与相邻水道,对上横沥水道的 3 种疏浚方案进行计算,计算结果如图 9(b)所示。

对比上、下横沥流量的变化关系,上横沥的流量增加量大于下横沥减少量,说明总体上蕉门泄流增加;对比上、下横沥及洪奇沥的总泄流量变化,泄流之和为正值,即上横沥泄流增加的绝对值大于下横沥、洪奇沥泄流减小之和的绝对值,说明在对上横沥进行疏浚后,除了使临近水道的泄流量减小之外,同时还使西北江更多的流量下泄至蕉门。就上横沥水道而言,随疏浚量的增加,泄流量呈线性增加,故选择泄流增加量最高的方案 3 作为最优方案。

3.3 重要分流节点分流比变化

表 3 为对西江下游虎坑水道河段、西北江腹部下游上横沥河段进行疏浚后,西北江河网内重要分流节点左右汉的流量变化情况。由表 3 可知,百顷、大敖节点在西江主干下游,其节点的左右汉流量变化主要受虎坑水道河段疏浚影响较大,该节点体现为左汉大敖断面流量减小,右汉百顷断面流量增加,左右汉变幅分别为-0.56%和 0.45%。而对于河网顶端的三水、马口节点及西江中部联通北江的南华、天河节点,则受到两处河段疏浚的影响极小,流量相对变化值均小于 0.1%。对于上下横沥节点,则受上横沥河段疏浚影响较大,体现为上横沥流量增加,下横沥和洪奇沥流量减小,且下横沥流量的减小值稍大于洪奇沥。

3.4 口门分流比变化

虎坑水道方案 2 和上横沥水道方案 3 同时实施后,就八大口门的泄流而言,考虑到三角洲内水动力除了上游径流影响外,还受涨落潮的影响,采取 7 d 净泄量(2016 年 6 月 20 日 0:00 至 26 日 24:00)作为分流量参考值。如图 10 所示,西四口门中崖门泄流量增加,增量为 28.05 万 m³,分配比增加 0.50%;虎跳门、鸡啼门和磨刀门泄流量减小,其中磨刀门减小值最大,为 18.84 万 m³,分配比减小 0.34%。东四口门中蕉门泄流量增量为 11.10 万 m³,分配比增加 0.20%,虎门泄流量增量为 15.37 万 m³,分配比增加 0.28%;横门和洪奇门泄流量减小,其中洪奇门减小值最大,为 25.47 万 m³,分配比减小 0.46%,该变化值超过了上横沥水道直接控制的蕉门。7 d 八大口门净泄量总体增加 0.16 万 m³,疏浚工程有利于洪水的下泄。对比东西四口门泄流变化可以发现,西四口门的总净泄量增加 1.64 万 m³,东四口门的总净泄量减少 1.48 万 m³,说明疏浚后在上游洪水来流条件不变的情况下,原本从东四口门下泄的洪水会有部分从西四口门下泄,有利于降低东四口门的防洪压力。

3.5 河网最高洪水位变化

由涨落潮性质可知,在潮水涨憩时下游潮动力对河道的影响最大,在落急时上游径流动力对河道的影响最大,故选择水位变化较明显的落急时刻 2016 年 6 月 24 日 23:20,研究泄洪量变化对洪水位的影响。绘制落急时刻疏浚前后河网水位差分布如图 11 所示,局部水位变化见图 12。可以发现,对两处河道进行疏浚,疏浚河段附近水位下降明显,其中,虎坑河段上游百顷至虎坑水道中下部、龙泉水道及劳劳溪支流的水位均发生不同程度下降,疏浚河段中部位置水位降幅最大为 0.28 m。上横沥河段为连接洪奇门入海水道和蕉门入海水道的横向分汉道,受洪潮共同作用而形成,可以发现,虽然上横沥的疏浚工程量为 4.75×10⁶ m³大于虎坑河段 1.77×10⁶ m³,但上横沥疏浚所导致的河网水位下降变幅小于虎坑河段疏浚,说明上横沥局部河网区域受到下游潮位的相对影响大于虎坑河段局部河网。板沙尾至下游洪奇沥水道 25.41 km、上横沥水道进口至下游 5.70 km 及下横沥水道进口至下游 3.03 km 处的水位均发生了不同程度下降,其中上横沥水道进口附近降幅最大,为 0.11 m。由于泄流量增加,疏浚河道下游水位略有增高,其中,崖门口门处黄冲水位为 1.69 m,增加 0.07 m;蕉门南沙水位为 2.01 m,增加 0.03 m;虎门大虎水位为 1.96 m,增加 0.07 m。

表 3 疏浚对重要分流节点的影响
Table 3 Effect of river dredging on main junctions

节点	分汉断面	流量变化值/ (m ³ ·s ⁻¹)	流量相对 变化值/%
1	三水	-12.00	-0.07
	马口	9.00	0.02
2	南华	15.06	0.09
	天河	-4.12	-0.02
3	大敖	-59.00	-0.56
	百顷	63.00	0.45
4	上横沥	686.89	16.54
	下横沥	-294.89	-5.15
	洪奇沥	-253.89	-3.70

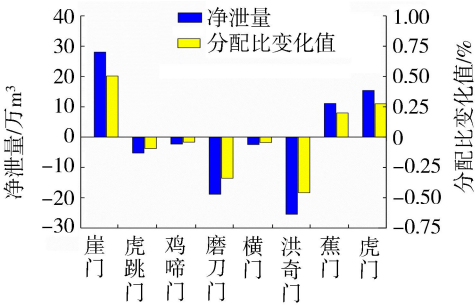


图 10 疏浚前后口门流量变化
Fig. 10 Variation of flow discharge in estuaries before and after dredging

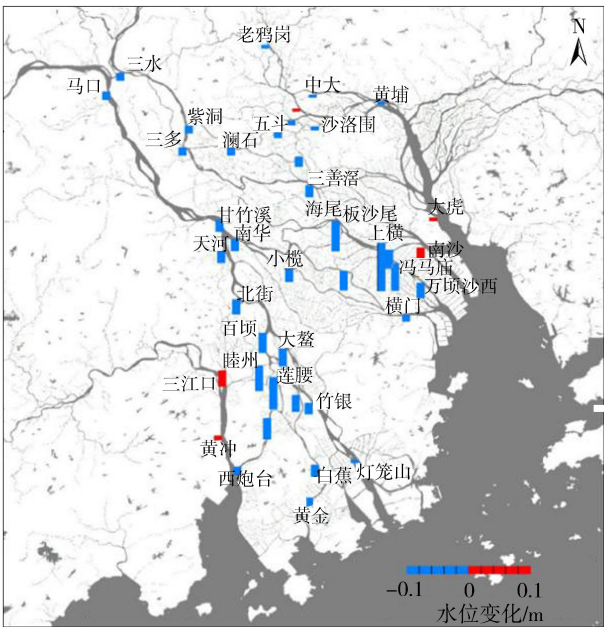


图 11 疏浚前后河网水位变化

Fig. 11 Water level difference of river network before and after dredging

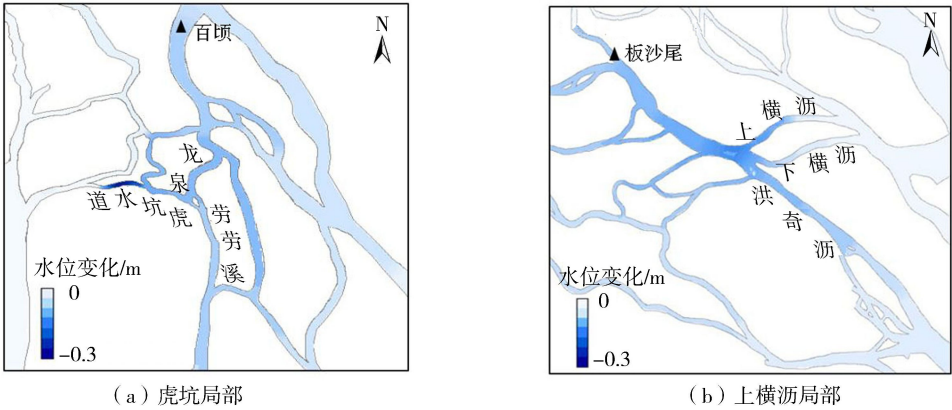


图 12 疏浚前后局部水位变化

Fig. 12 Water level difference of local river network before and after dredging

4 结 论

- a. 西江洪水主要通过西海水道下泄至崖门、虎门、鸡啼门及磨刀门,通过东海水道下泄至横门、洪奇门及蕉门;北江洪水主要通过顺德水道下泄至洪奇门和蕉门,通过东平水道下泄至虎门。在西四口门中,磨刀门泄流量最大,崖门泄流路径最短;东四口门中,蕉门所承担西北江的泄流量最大,且泄流路径最短。
- b. 现状地形发生“05·6”洪水与实测“05·6”洪水最高水位相比,三角洲上部顶端的马口、三水站水位差值的绝对值最大,分别降低了 1.38 m 和 1.61 m;靠近出海口处水位略有升高,其中横门和南沙站水位分别上升 0.030 m 和 0.039 m。
- c. 洪水就近入海方案计算表明,疏浚后西四口门中崖门泄流量增加,增量为 28.05 万 m³,分配比增加 0.50%;东四口门中蕉门和虎门泄流量增加,增量分别为 11.10 万 m³ 和 15.37 万 m³,分配比分别增加 0.20% 和 0.27%,方案达到了预期效果。疏浚段附近水位下降明显,降幅最大 0.28 m,疏浚河道下游水位略有增高,崖门黄冲水位增加 0.07 m,蕉门南沙水位增加 0.03 m,虎门大虎水位增加 0.07 m。

参考文献:

[1] 王兆印,程东升,刘成. 人类活动对典型三角洲演变的影响: I 长江和珠江三角洲[J]. 泥沙研究, 2005,30(6): 78-83.

- (WANG Zhaoyin, CHENG Dongsheng, LIU Cheng. Impacts of human activities on typical delta processes: I the Yangtze and Pearl River deltas[J]. Journal of Sediment Research, 2005,30(6): 78-83. (in Chinese))
- [2] 袁菲, 何用, 吴门伍, 等. 近60年来珠江三角洲河床演变分析[J]. 泥沙研究, 2018, 43(2): 40-46. (YUAN Fei, HE Yong, WU Menwu, et al. Fluvial processes in the Pearl River Delta in recent decades[J]. Journal of Sediment Research, 2018, 43(2): 40-46. (in Chinese))
- [3] 李春初, 雷亚平, 何为, 等. 珠江河口演变规律及治理利用问题[J]. 泥沙研究, 2002,28(3): 44-51. (LI Chunchu, LEI Yaping, HE Wei, et al. Evolutional processes of the Pearl River Estuary and its protective[J]. Journal of Sediment Research, 2002,28(3): 44-51. (in Chinese))
- [4] 陈小文, 刘霞, 张蔚. 珠江河口滩涂围垦动态及其影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(1): 39-43. (CHEN Xiaowen, LIU Xia, ZHANG Wei. Shore reclamation in Pearl River Estuary and its impact analysis[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2011, 39(1): 39-43. (in Chinese))
- [5] LIU F, YUAN L, YANG Q, et al. Hydrological responses to the combined influence of diverse human activities in the Pearl River delta, China[J]. Catena, 2014, 113:41-55.
- [6] 何用, 卢陈, 杨留柱, 等. 珠江河口口门区滩槽演变及对泄洪的影响研究[J]. 水利学报, 2018, 49(1): 72-80. (HE Yong, LU Chen, YANG Liuzhu, et al. The impact of channel-floodplain evolution on the flood release in the mouths of Pearl River Estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(1): 72-80. (in Chinese))
- [7] ZHANG W, YAN Y, ZHENG J, et al. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China[J]. Global & Planetary Change, 2009, 69(1/2): 1-47.
- [8] 谢鉴衡. 对珠江河口治理的几点看法[J]. 人民珠江, 1988,9(2): 30-31. (XIE Jianheng. Some views on the control of the Pearl River Estuary[J]. Pearl River, 1988,9(2): 30-31. (in Chinese))
- [9] 朱士康. 伶仃洋整治与西北江三角洲洪涝治理[J]. 人民珠江, 1988(2):50-53. (ZHU Shikang. Lingdingyang regulation and flood control in Northwest River Delta[J]. Pearl River, 1988,9(2): 50-53. (in Chinese))
- [10] 何思明. 关于伶仃洋整治问题的商榷[J]. 人民珠江, 1985,6(3): 20-21. (HE Siming. Discussion on Lingdingyang regulation[J]. Pearl River, 1985,6(3): 20-21. (in Chinese))
- [11] 罗宏绶. 潮汐通道理论在伶仃洋淤积研究上的应用[J]. 人民珠江, 1985,6(2): 45-48. (LUO Hongshou. Application of tidal channel theory in the study of Lingdingyang sedimentation[J]. Pearl River, 1985,6(2): 45-48. (in Chinese))
- [12] LUO X L, ZENG E Y, JI R Y, et al. Effects of in-channel sand excavation on the hydrology of the Pearl River Delta, China [J]. Journal of Hydrology, 2007, 343(3/4): 230-239.
- [13] 王训明. 人工挖沙对珠江三角洲水情的影响研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [14] WU C S, YANG S, HUANG S, et al. Delta changes in the Pearl River estuary and its response to human activities (1954-2008) [J]. Quaternary International, 2016, 392: 147-154.
- [15] XIA Z, JIA P, MA S. Sedimentation in the Lingdingyang Bay, Pearl River Estuary, Southern China [J]. Journal of Coastal Research, 2013, 66(66): 12-24.
- [16] 董德化, 何焯霞, 鲍厚群, 等. 洪奇沥口门整治探讨[J]. 人民珠江, 1986,7(2): 26-31. (DONG Dehua, HE Zhuoxia, BAO Houqun, et al. Treatment of Hongqili Gate[J]. Pearl River, 1986,7(2): 26-31. (in Chinese))
- [17] 彭静, 廖文根, 禹雪中. 珠江三角洲腹地洪水位异常变化及成因分析[J]. 自然灾害学报, 2004(1): 50-54. (PENG Jing, LIAO Wengen, YU Xuezhong. Abnormal change of flood water level in hinterland of Pearl River Delta and its cause analysis[J]. Journal of Natural Disasters, 2004(1): 50-54. (in Chinese))
- [18] 朱福暖, 倪才胜. 珠江及广东防汛抗旱防风面临的严峻形势[J]. 人民珠江, 2006,2(5): 28-31. (ZHU Funuan, NI Caisheng. Severe situation of flood control, drought control and wind control in Pearl River and Guangdong[J]. Pearl River, 2006,2(5): 28-31. (in Chinese))
- [19] 陈小齐, 余明辉, 刘长杰, 等. 珠江三角洲近年地形不均匀变化对洪季水动力特征的影响[J]. 水科学进展, 2020, 31(1): 81-90. (CHEN Xiaoqi, YU Minghui, LIU Changjie, et al. Impact of recent uneven channel evolution on hydrodynamic characteristics during flood season in the Pearl River Delta[J]. Advances in Water Science, 2020, 31(1): 81-90. (in Chinese))
- [20] 苏程佳, 陈晓宏, 唐亦汉, 等. 河道地形变化对洪潮水面线的影响分析:以西北江三角洲河网为例[J]. 水文, 2018, 38(3): 13-20. (SU Chengjia, CHEN Xiaohong, TANG Yihan, et al. Suitability analysis of different baseflow separation methods in cold and arid watershed[J]. Journal of China Hydrology, 2018, 38(3): 13-20. (in Chinese))
- [21] 中华人民共和国交通运输部, 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程:JTS/T 231—2—2010[S]. 北京: 中华人民共和国交通运输部, 2010.
- [22] 毛革, 吕忠华, 沈汉堃, 等. 珠江流域防洪规划报告[R]. 广州: 珠江水利委员会, 2007.