

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2023068

刘达,黄本胜,刘中峰,等.珠江流域滘江蓄滞洪区湿地化建设模式及对蓄滞洪的影响分析[J].中国防汛抗旱,2023,33(11):28-32.LIU Da, HUANG Bensheng, LIU Zhongfeng, et al. Analysis of wetland construction mode and impact of flood storing and detaining of Pajiang River Flood Storage and Detention Area in the Pearl River Basin[J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(11): 28-32. (in Chinese)

珠江流域滘江蓄滞洪区湿地化建设模式 及对蓄滞洪的影响分析

刘 达 黄本胜 刘中峰 谭 超 洪昌红

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广州510635; 2. 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广州510635;
3. 河口水利技术国家地方联合工程实验室, 广州510635; 4. 广东省水安全科技协同创新中心, 广州510635)

摘 要: 滘江蓄滞洪区是珠江流域唯一一个国家级蓄滞洪区, 在新的历史时期, 改变其单一的防洪功能, 进行具有调蓄洪水、降解污染物、自然观光等多功能的湿地化建设是十分必要的。提出了“三核一带”湿地化建设模式, 利用现有的3个子围及新建的2座拦河闸, 因地制宜建设不同类型的湿地, 最大程度保留调蓄洪水能力, 采用二维水流数学模型模拟分析湿地化建设对蓄滞洪功能的影响。结果表明, “三核一带”湿地化建设模式对洪水调蓄影响较小, 不影响蓄滞洪功能的发挥, 研究成果可供类似蓄滞洪区参考借鉴。

关键词: 滘江蓄滞洪区; 湿地化模式; 数模计算; 蓄滞洪影响; 珠江流域

中图法分类号: TV873

文献标识码: A

文章编号: 1673-9264(2023)11-28-05

1 研究背景

滘江蓄滞洪区是广东省乃至珠江流域唯一一个国家级蓄滞洪区(图1), 也是北江防洪体系的重要组成部分^[1]。滘江蓄滞洪区所在的河流滘江是北江的主要支流之一。滘江蓄滞洪区22.0 m高程(珠基, 下同)以下区域面积为82 km², 容积4.44亿 m³, 区内有大小堤围17宗, 常住人口约7.6万人, 耕地面积为0.53万 hm²。滘江蓄滞洪区对北江洪水有分流和滞洪作用, 可减轻下游地区的防洪负担, 其主要任务是辅助飞来峡水利枢纽、北江大堤、清远各堤围防洪, 使北江大堤防洪标准由100年一遇提高到300年一遇, 并使北江中下游堤围(如清远市的清东、清西、清城等)的防洪标准由50年一遇提高到100年一遇。



图1 滘江蓄滞洪区位置示意图

滘江蓄滞洪区既要承担蓄滞超额洪水的防洪任务, 又是区内居民赖以生存和发展的基地^[2]。由于历史和社会经济等原因, 滘江蓄滞洪区面积大, 区内耕地和人口较多, 影

收稿日期: 2023-02-27

第一作者信息: 刘达, 男, 正高级工程师, E-mail: 12196199@qq.com。

通信作者信息: 刘中峰, 男, 高级工程师, E-mail: 11110637@qq.com。

基金项目: 广东省水利科技创新项目(2021-01)。

响到蓄滞洪功能的正常发挥。湛江蓄滞洪区在历史上为洪水泛滥的湿地,依赖湿地生存、繁衍的野生动植物极为丰富。近年来,在人类活动和自然因素的共同影响下,区内生态环境破坏严重,湿地面积减少、湿地功能丧失或退化严重。据统计,湛江蓄滞洪区现有湿地面积约6.5 km²,主要为河道和鱼塘,较20世纪50年代减少约80%。

从其他地区的蓄滞洪区先进经验看,把蓄滞洪区建设成湿地是较为可行的选择。日本渡良瀬蓄滞洪区就是通过湿地对洪水进行储蓄,经过湿地内各种植物的吸附和沉淀作用,去除水中的氮和磷等,以达到对水体自然净化的目的。在新的历史时期,湛江蓄滞洪区宜积极借鉴国内外先进地区蓄滞洪区的管理理念^[3-6],适时将蓄滞洪区内的主要人口转移,将其单一的防洪功能转为具有洪水调蓄、自然灾害防治、污染物降解、自然观光、旅游、娱乐等多功能的湿地化运用,这是破解蓄滞洪区防洪减灾、经济发展、湿地保护三重矛盾的关键。

2 “三核一带”局部湿地化运行模式研究

湛江蓄滞洪区内有很多子围,依据子围保留的程度,可以把蓄滞洪区湿地化模式分为完全湿地化模式和局部湿地化模式两种^[7]。完全湿地化模式是将全部子围及其上的排涝设施拆除,形成大面积的连片湿地;局部湿地化模式是保留部分子围及其排涝设施,围外可以形成由芦苇等耐淹植物构成的天然湿地,子围内可以建设具备观光旅游功能的精细化人工湿地或生态农业园。完全湿地化建设模式虽然只是在枯水期控制湿地水位,在洪水期恢复天然,但是仍然可能对蓄滞洪区的分洪能力造成较大的影响,其主要原因在于:子围拆除导致整个蓄滞洪区形成连片区域,加之没有排涝设施对已有蓄洪进行灵活预排,中小洪水时大部分蓄滞容量就已被占用,造成特大洪水来临时已经没有足够的剩余容量。尤其是几个重要子围如大厂围、独树围、良塘围、凤洲围的分洪流量之和占总分洪水量的66%,完全湿地化模式将其进行连片运营会对整个蓄滞洪区的蓄滞洪功能产生较大影响。此外,由于进行大面积的湿地化开发,大厂围等内部约2.85万人须进行转移安置,移民人数较多。因此,湛江蓄滞洪区采用完全湿地化建设模式不可行。

与完全湿地化建设模式相比,若能将大厂围、独树围、

凤洲围3个子围全部保留,围内部分人员疏散,这样就形成了“三核”:大厂围片核心区(有子围保护)+独树围核心区(有子围保护)+凤洲围核心区(有子围保护),“一带”:湛江河道及滩地的带状区域,也就是蓄滞洪区“三核一带”湿地化建设模式(图2)。“三核一带”湿地化建设模式下,在大洪水来临前,可利用原有排涝泵站腾空各子围内的蓄水,需要分洪时不影响分洪能力,对湛江蓄滞洪区的防洪影响较小。具体规划如下。

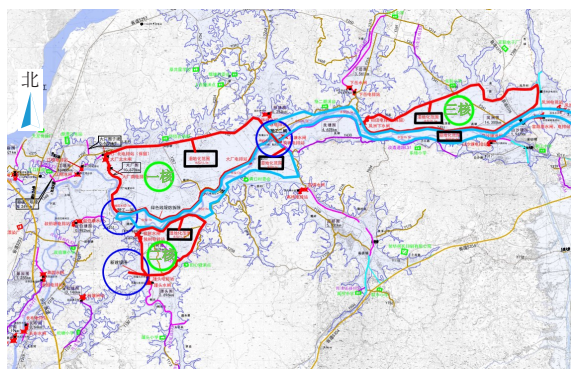


图2 湛江蓄滞洪区“三核一带”湿地化建设总体布局

注:3个红色圈是3个大的子围构成的“三核”,蓝色带状区域是由2个梯级水闸蓄水构造的带状湿地即“一带”,3个蓝色圈为主要新建工程位置。

(1)工程布局。在大厂围、独树围之间的湛江干流河道修建湛江1#水闸,闸顶高程22.0 m,大厂围、独树围的其他堤段全部拆除(大厂围东侧堤防除外)。在良塘电排站附近修建湛江2#水闸,闸顶高程22.0 m,良塘围及凤洲围其他堤段全部拆除。在凤洲围中部新建凤洲围湿地引水闸,闸顶高程23.0 m、闸底板高程17.0 m。修建湛江1#水闸和湛江2#水闸的主要目的是控制蓄滞洪区枯水期的水位,由于湿地营造的水深不能太深,因此需要分两级进行控制。其中,现状大厂围围内主要是鱼塘等,高程13.0~14.5 m,独树围围内主要是林地和耕地,高程13.3~14.6 m,因此第一级的湛江1#水闸控制闸前水位为17.0 m。良塘围围内高程16.6~18.1 m,凤洲围围内高程18.6~20.2 m,因此第二级的湛江2#水闸控制闸前水位为20.5 m,这样两级回水可以较好地衔接。

(2)工程调度运用。大厂围可以在枯水期利用大厂电灌站引水,控制围内水位15.5 m,与围外水位形成1.5 m的水位差便于随时进行引水换水。独树围在枯水期利用独树水闸引水,控制围内水位15.5 m。凤洲围在中部利用新建

的风洲围引水闸引水,控制围内水位 20.5 m。由于保留了堤围和分洪闸及排涝设施,一般性的洪水不影响围内的湿地正常运行,当江口圩水位达到 20.4 m 时提前用排涝泵站腾空围内的水,当江口圩水位大于 21.4 m 且继续上涨、并预报上游来水将超过 100 年一遇时才会启动分洪,因此运用的概率非常小。大厂围、独树围可以进行精细化的人工湿地营造,打造美丽的湿地旅游景观,同时可以作为区域备用水源。凤洲围由于地面高程较高,且分洪时属于较迟运用的,可以进行岭南水乡生态农业观光园的规划建设。对于“一带”的湿地开发模式:因为 20 年一遇洪水都要发生淹没,应主要以基本免维护的天然芦苇等植物为主,湿地内可以设置纵横连通的观光木栈道,同时具有避洪转移的功能。

3 湿地化建设运行模式的蓄滞洪影响分析

采用二维水流数学模型^[8-9]计算分析评估湛江蓄滞洪区“三核一带”湿地化建设对蓄滞洪功能的影响。

3.1 设计洪水

湛江蓄滞洪区大部分区域地势低洼,加上丘陵山区地质地貌的复杂变化,该区域既受内涝影响,也受北江洪水顶托倒灌,承担削减洪峰、蓄滞超标准洪水的任务,新中国成立后的大洪水有 1964 年、1966 年、1968 年、1982 年、1983 年、1994 年、1997 年、2006 年、2013 年和 2014 年等年份。本文以北江干流横石站和石角站为设计站点,其中横石站采用《珠江流域综合规划(2012—2030 年)》成果,石角站采用《珠江流域防洪规划》成果,见表 1。本研究主要考虑北江干流洪水对湛江蓄滞洪区的影响,因此洪水遭遇按如

表 1 北江干流设计洪水成果

站名	集水面积/km ²	频率(%)	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	洪量/(亿 m ³)		
				3 d	7 d	15 d
横石站	34 013	1	19 200	44.6	81.5	134.0
		2	17 700	40.7	74.4	122.0
		5	15 500	35.4	64.4	106.0
		10	13 800	31.1	56.4	93.2
		20	11 900	26.4	47.9	79.4
石角站	38 363	1	19 000	48.5	92.2	154.0
		2	17 600	44.3	84.2	141.0
		5	15 500	38.7	73.2	123.0
		10	13 900	34.1	64.3	108.0
		20	12 100	29.2	54.8	92.5

下情况考虑:以北江为主,石角站与横石站洪水同频率、区间洪水相应组合。

3.2 数学模型构建

根据湛江蓄滞洪区所处地理位置及流域水系特征,构建了二维水流数学模型。

3.2.1 基本方程

工程所在的河段、河面与水深相比较为宽阔,流量的垂向变化相对于平面两个方向较小,可以采用平面二维浅水方程进行描述。平面二维数学模型主要用于较为细致地计算工程河段局部的流速和流场形态变化,其基本方程由水流连续性方程和运动方程组成。

水流连续性方程:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(uH)}{\partial x} + \frac{\partial(vH)}{\partial y} = 0$$

水流运动方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + f v + \frac{\tau_{sx}}{\rho H} - \frac{\tau_{bx}}{\rho H} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - f u + \frac{\tau_{sy}}{\rho H} - \frac{\tau_{by}}{\rho H} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

式中: u 、 v 为垂向平均流速在 x 、 y 方向的分量; $H = h_0 + \eta$, h_0 为静水时的水深; η 为自由水面在竖直方向的位移; ε 为紊动黏性系数; f 为科氏系数; τ_{bx} 、 τ_{by} 为床面阻力在 x 、 y 方向的分量; τ_{sx} 、 τ_{sy} 为底应力在 x 、 y 方向的分量。

3.2.2 计算方法

基本方程组采用 ADI 法离散,经推导,上述方程在 n 层上 x 向的离散格式整理如下:

$$\text{水流连续方程: } Au_{i-1,j} + Bz_{i,j} + Cu_{i+1,j} = f$$

$$\text{水流动量方程: } A_1 z_{i-1,j} + B_1 u_{i,j} + C_1 z_{i+1,j} = f_1$$

$$A_2 z_{i,j+1} + B_2 v_{i,j} + C_2 z_{i,j+1} = f_2$$

式中: A 、 B 、 C 、 f 、 A_1 、 B_1 、 C_1 、 f_1 、 A_2 、 B_2 、 C_2 、 f_2 为离散系数。

对离散后的基本方程组采用追赶法进行求解。

3.2.3 模型范围、地形资料及网格划分

(1)模型范围及地形资料。蓄滞洪区“三核一带”模式地形概化结果如图 3 所示,计算范围包括整个湛江蓄滞洪区,面积约 229.4 km²。湛江蓄滞洪区地形资料采用 2016 年实测大范围地形资料。

(2)网格划分及计算参数选取。二维模型计算区域网

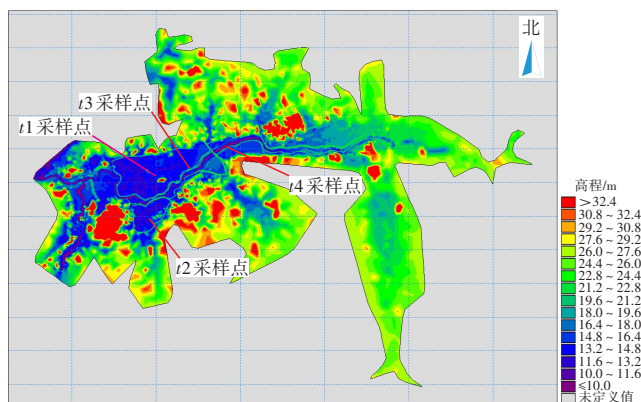


图3 蓄滞洪区“三核一带”模式地形概化结果(含4个计算采样点位置)

格划分节点个数为20 068,三角形网格总数为39 763。计算最大网格单元边长约500 m,最小网格单元边长小于20 m,从而能够较为精细概化地形。二维数学模型最大时间步长取60 s,最小时间步长为0.01 s,临界克朗数为0.8。干水深为0.001 m,湿水深取0.1 m。涡黏系数根据Smagorinsky公式取0.28。

3.2.4 工程概化

目前对新建工程模拟主要有两种模式:局部阻力修正法和直接模拟法。局部阻力修正法建立在等效阻力的基础上,对新建工程所在网格的糙率进行修正并相应抬高网格高程,将工程作为过水区域处理,这样的处理模式不必描出新建工程的轮廓,可以减少计算网格数量,缩短计算时间;直接模拟法采用加密网格,精确描述新建工程的边界

并修正其实际网格高程,所得流场较为真实可靠。本文采用的是直接模拟法,在数值模型中,采用三角形无结构加密网格模拟堤防等,模拟较为精确。

3.3 蓄滞洪影响计算结果分析

本次计算在蓄滞洪区“三核一带”沿线共布设4个采样点t1—t4(图3),对比分析现状蓄滞洪区和按照“三核一带”模式进行湿地建设后的洪水位过程的差异,计算结果见图4。由图可见,采样点距离湛江河口位置越远,水位变化越滞后,总体表现为t4采样点水位变化相对较晚。对比天然滞洪和按照“三核一带”模式滞洪的水位过程线可以看出,天然滞洪条件下的水位过程出现持续增长,而按照“三核一带”模式滞洪的水位过程线较晚且有突变,表明靠近湛江河口附近的“一核、二核”和“一带”先滞纳洪水,当水位进一步升高后,逐渐通过更远的“三核”滞纳洪水,即表明“三核一带”模式对洪水的调控能力有所增强,即可根据洪水大小灵活确定分洪区域。经过约12 h的计算后,各采样点天然滞洪的水位和“三核一带”模式滞洪水位最终基本一致,充分利用了蓄滞洪区的调蓄容积(与天然状况相差不大,约为1.8亿 m^3)。同时可以看到,t1—t4上涨时间较天然模式均靠后,说明该模式在一定程度上降低了对北江洪水的分洪和削峰作用,但是基本上不影响最终的分洪量,表明“三核一带”湿地化建设模式对整个蓄滞洪区的洪水调蓄影响不大。

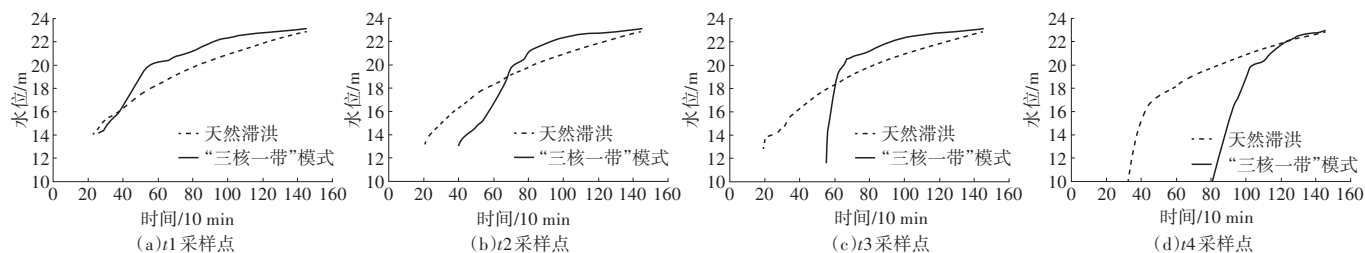


图4 天然蓄滞洪模式和“三核一带”湿地化模式的洪水过程线对比

4 结 论

湛江蓄滞洪区既要承担蓄滞超额洪水的防洪任务,又是区内居民赖以生存和发展的基地。在新的历史时期,湛江蓄滞洪区宜借鉴国内外先进地区蓄滞洪区的管理理念,适时将蓄滞洪区内的主要人口转移,将其单一的防洪功能转为具有洪水调蓄、自然灾害防治、污染物降解、自然观光、旅游、娱乐等多功能的湿地化运用,这是破解蓄滞洪区

防洪减灾、经济发展、湿地保护三重矛盾的关键。本文提出了“三核一带”湿地化建设模式,并通过二维水流数学模型计算了湿地化建设对蓄滞洪功能的影响,得出如下结论。

(1)完全湿地化对蓄滞洪功能影响大。如果将所有子围拆除,将蓄滞洪区完全湿地化,在中小洪水时就已经占用了分洪容量,北江特大洪水来临时已经没有足够的分洪容量用于洪水蓄滞,这样对蓄滞洪区的分洪能力造成较大的影响。

(2)“三核一带”湿地既能保证蓄滞洪功能,又能因

地制宜建设不同类型的湿地。采取将3个主要子围保留的湿地化模式,则可以形成“三核一带”湿地格局,即大厂围核心区(有子围保护)+独树围核心区(有子围保护)+凤洲围核心区(有子围保护)+潞江河道及滩地的带状区域(一带)。大厂围、独树围可以进行精细化的人工湿地营造,打造美丽的湿地旅游景观,同时可以作为区域备用水源。凤洲围由于地面高程较高,且分洪时属于较迟运用的,可以进行岭南水乡生态农业观光园的规划建设。“一带”的湿地开发应主要以基本免维护的天然芦苇等植物为主,湿地内可以设置纵横连通的观光木栈道,同时具有避洪转移的功能。

(3)相比天然蓄滞洪区,“三核一带”湿地模式滞洪的水位过程线较晚且有突变,但经过约12 h后,天然滞洪的水位和“三核一带”模式滞洪水位最终基本一致,充分利用了蓄滞洪的调蓄容积,表明“三核一带”湿地化建设模式对整个蓄滞洪区的洪水调蓄影响不大。

参考文献

[1] 王艳艳,向立云.《全国蓄滞洪区建设与管理规划》解读[J].水利规划

与设计,2013,26(6):12-14.

- [2] 王翔,李兴学,郭健玮,等.妥善处理蓄滞洪区建设与经济发展的关系——蓄滞洪区经济社会发展状况及扶持政策调研报告[J].中国水利,2015,66(1):55-57.
- [3] 丁志雄,李娜,俞茜,等.国家蓄滞洪区土地利用变化及国内外典型案例分析[J].中国防汛抗旱,2020,31(6):36-43.
- [4] 要威.新形势下长江蓄滞洪区建设与管理思考[J].长江技术经济,2019,3(2):99-104.
- [5] 徐贵,曹智,黄修筠.洞庭湖蓄滞洪区建设与现代化发展[J].湖南水利水电,2021,66(3):1-5.
- [6] 彭周峰,冯蕾磊.浙江省蓄滞洪区建设与管理有关对策建议[J].浙江水利科技,2019,47(4):21-23.
- [7] 曹俊强,孙秀国,钟磊.华山湖生态湿地型蓄滞洪区建设刍议[J].山东水利,2012,14(10):22-23.
- [8] 陈平,傅长锋,于京要,等.基于MIKE21数值模拟蓄滞洪区洪水演进研究[J].中国农村水利水电,2017,59(8):113-116.
- [9] 果鹏,夏军强,陈倩,等.基于力学过程的蓄滞洪区洪水风险评估模型及应用[J].水科学进展,2017,28(6):858-867.

Analysis of wetland construction mode and impact of flood storing and detaining of Pajiang River Flood Storage and Detention Area in the Pearl River Basin

LIU Da, HUANG Bensheng, LIU Zhongfeng, TAN Chao, HONG Chanhong

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510635;

2. Guangdong Key Laboratory of Hydrodynamic Research, Guangzhou 510635;

3. State and Local Joint Engineering Laboratory of Estuarine Hydraulic Technology, Guangzhou 510635;

4. Guangdong Provincial Science and Technology Collaborative Innovation Center for Water Safety, Guangzhou 510635)

Abstract: The Pajiang River Flood Storage and Detention Area (PRSDA) is the only national flood storage and detention area in the Pearl River Basin. It is important to change its single flood control function to a multifunctional wetland with flood regulation and storage, pollutant degradation, and natural tourism in the new historical period. In this paper, a novel wetland construction model summarized as "three cores and one belt" was proposed. This model used the three existing sub-watersheds and two new barrage gates, which can not only realize the construction of different types of wetlands according to local conditions, but also retain the maximum flood storage capacity. In addition, a two-dimensional water flow mathematical model was used to simulate the impact of wetland construction on the flood storage and detention function. The simulation results showed that this newly wetland construction model had little impact on flood storage, which guaranteed the performance of the flood detention function of PRSDA. The results can provide important references for similar research on flood storage and detention areas.

Keywords: Pajiang River Flood Storage and Detention area; wetland construction mode; numerical modeling; flood storing and detaining impact; Pearl River Basin

责任编辑 姚力玮