

江苏省太湖流域防洪除涝减淹面积分析

钟 栗, 汪院生, 王子建

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215006)

摘要:为分析近70年来江苏省太湖流域水利工程建设实施后产生的防洪除涝效益,选取不同降雨量级的典型年,利用太湖流域河网水文水动力模型,还原模拟工程前后遭遇典型年降雨的洪水水位,结合面积、容积与高程关系曲线计算出典型年淹没面积,并建立淹没面积与典型年控制时段降雨量的相关关系,结果表明近70年来江苏省太湖流域减淹,效益十分显著。

关键词:太湖流域; 防洪效益; 减淹面积

中图分类号:TV213.4

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2024)02-0022-0005

Analysis of flood reduction area in Taihu Basin of Jiangsu Province

ZHONG Li, WANG Yuansheng, WANG Zijian

(Jiangsu Taihu Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Suzhou 215006, China)

Abstract: In order to analyze the benefits of flood control and waterlogging removal after the implementation of water conservancy projects in the Taihu basin in Jiangsu Province in the past 70 years, typical years with different rainfall magnitudes were selected, and the hydrological hydrodynamic model of the river network in the Taihu basin was used to restore and simulate the flood level of typical annual rainfall before and after the project. Combined with the relationship curve of surface area, volume and elevation, the inundated area in typical years was calculated, and the correlation between the inundated area and the rainfall during the control period of typical years was established. The results show that the benefit of flood reduction in Taihu basin in Jiangsu province is very significant in the past 70 years.

Key words: Taihu Basin; flood control benefit; flood reduction area

太湖流域地处长三角南翼,北抵长江,东临东海,南滨钱塘江,西以天目山、茅山为界,流域面积36 895 km²,行政区划分属江苏、浙江、上海和安徽三省一市,根据流域地形地貌、河流水系分布及治理特点等,分为八大水利分区。其中,江苏境内涉及湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区、浦南区(属杭嘉湖区)和太湖区,总面积19 385 km²,约占太湖流域面积的52%,行政区划涉及苏州、无锡、常州市的全部、镇江和南京市的部分地区。流域内江湖相

连、河网如织、湖泊棋布,总水面积达5 293 km²,水面率为14.3%,河湖密布的水网在带来丰富水资源^[1]的同时,也存在着巨大的洪涝灾害隐患,历史上频发的洪涝灾害对广大人民群众的生命财产安全和社会经济的稳定发展都产生了极大的影响^[2-4]。针对这种现象对太湖流域开展了多轮治理^[5-6],取得了极大的成就^[7-8],为了更好地评估治太工程所取得的防洪效益^[9],同时为以后的治太工作提供参考,对近70年以来江苏省太湖流域治理取得的防洪效益

收稿日期:2023-08-31

基金项目:江苏省水利科技项目(2019024)

作者简介:钟栗(1990—),男,工程师,硕士,主要从事水利规划工作。E-mail:1085313168@qq.com

进行分析是十分必要的。

1 研究范围

太湖水系防洪保护区主要为平原地区,流域平原地区面积为 29 557 km²,扣除河湖水面和部分高地,防洪保护区面积为 23 664 km²,是本次洪涝效益计算的范围。根据地形差异和暴雨洪涝分布的不同特点,防洪保护区内各区域遭受的淹涝既有本地强降雨直接造成的涝灾,也有流域(太湖)高水位造成的洪灾或洪涝灾害。分别按湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区(含滨湖区,下同)进行计算,浦南区面积小且不属于独立分区,本次未考虑。

1.1 湖西区

湖西区地形复杂,西、南部分别为茅山、宜溧山丘;北部为运河高亢平原,地面高程一般为 6~7 m,沿江有少量的自排区;腹部洮滬地区、南河地区和东部沿湖地区高程相对较低,且高低相间,多低洼圩区,地面高程一般为 4~5 m。区域地势总体呈西北高,东南低,逐渐向太湖倾斜。山丘区河道源短流急,并直接与平原河道相衔接;平原地区河湖相连,圩区间隔其间,且上承山丘区洪水、下受太湖高水位顶托,洪涝水外排困难。多年来,湖西区已基本形成了上游依靠大中型水库拦蓄、中部依靠洮滬湖调蓄、下游通过拓浚入湖入江河道和沿江建站排水的防洪除涝工程体系,现状区域防洪标准总体上为 20 年一遇。

1.2 武澄锡虞区

武澄锡虞以白屈港东控制线为界,又分为东部澄锡虞高片和西部武澄锡低片。全区地形相对平坦,地势总体上四周较高,腹部低洼,形似“锅底”,平原地区地面高程一般在 5~7 m。区域遭遇暴雨后,东、西两侧高片洪水侵袭武澄锡低片,而区域北部入江河道又受长江高潮顶托、南侧排水受太湖水环境限制,地区洪涝水外排能力受到严重制约。经过多年持续治理,武澄锡虞区基本形成了沿长江控制线、沿太湖控制线、武澄锡西控制线防止外洪入侵和区域内部防止高片水入侵低片的白屈港控制线屏障,现状区域防洪标准基本达到 20 年一遇。

1.3 阳澄淀泖区

阳澄淀泖区以娄江、沪宁铁路以及京杭运河为界,又分为阳澄区、淀泖区和滨湖区。区内地形以平原为主,地势低平,呈西北高、东南低,沿江高、腹部低,犹如一个大的碟形盆地中又分布着许多小片碟形盆地,地貌形态较为复杂,历史上是太湖洪水

的通道,洪涝严重。经多年水利建设,区域外围基本形成以环太湖大堤、长江江堤、望虞河东岸、太浦河北岸控制线和淀山湖局部控制线等为外围屏障的防洪工程体系,区域内部基本达到“高低分开、洪涝分治、疏控结合、综合治理”的目的,阳澄区构成以通江引排河道为主、阳澄湖群调蓄为辅、内部河网贯通的区域排水体系;淀泖区在上海市实施青淞大包围后,形成湖群调蓄后洪涝水仅南排拦路港的格局;滨湖区依托胥江、浒光运河、苏东河等,洪涝水主要通过苏南运河南泄。目前,阳澄淀泖区的防洪标准基本达到 20 年一遇。

2 工程阶段划分及防洪能力

2.1 工程阶段划分

按水利工程建设完成情况将 1950—2019 年概化为 3 个阶段:①1950—1958 年,工程前阶段;②1959—1996 年,治太骨干工程建设后,工况为工程后第 I 阶段。该阶段主要以区域性工程发挥效益为主,同时环太湖大堤从 1959 年开始发挥效益;③1997—2019 年,治太骨干工程和区域治理工程陆续发挥巨大效益,作为工程后的第 II 阶段。1991 年大水后治太骨干工程全面实施,1996 年望虞河、太浦河投入运行。工程阶段划分情况见图 1。

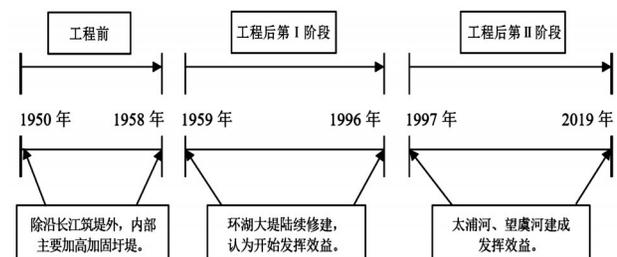


图1 太湖流域治理阶段划分示意

2.2 工程防洪能力

本次采用以太湖流域河网水文水动力学模型为主要技术手段的分析方法,模拟工程前后由于外排能力不同的河网、湖泊洪水位及流量过程的差异,判断某阶段工况模拟计算遭遇实况暴雨水情下是否发生淹涝的主要条件是相应阶段的圩堤挡洪能力。

工程前:即 20 世纪 50 年代初的圩堤防洪能力,湖西区按平均水位超过 4.20 m、武澄锡虞区和阳澄淀泖区按平均水位超过 3.70 m 时考虑圩堤漫溢、圩区产生淹涝。在 1958 年前,太湖沿岸无统一的湖堤,太湖洪水位超过湖东沿湖地面高程时即向下游

漫溢,选取太湖洪水位4.00 m以上的年份计算对下游形成较大洪灾。

工程后:1959—1996年第I阶段,各区域均按遇1954年最高洪水位不出险考虑,超过1954年洪水位时即圩堤漫溢,湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区圩堤平均挡洪能力分别为5.35、4.79、4.09 m。对1997—2009年第II阶段,按遇1954、1991年最高洪水位不出险考虑,湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区圩堤平均挡洪能力分别为5.76 m、5.09 m、4.09 m。工程后(包括第I阶段和第II阶段),太湖大堤形成完整的统一堤防,具备挡水作用,按不再漫溢考虑。

3 计算方法

3.1 计算前提和假定

本次利用河网水动力学模型计算分析淹涝面积,因模型不能直接模拟圩区的“破圩漫溢”水量,因此,计算过程中作如下处理:

(1)各工况遭遇实况雨情下按洪水全部归槽,模拟计算太湖及各区域控制断面水位与相应流量。

(2)各工况区域的淹涝水量以区域出现的最高洪水位与相应阶段圩堤平均挡洪能力的差值部分以及由于计算模拟本区域圩堤平均挡洪能力以上抬高水位引起的外排泄量的变化量之和作为淹涝水量,这部分水量在不归槽情况下应破圩淹涝,前者按区域圩外水域面积可估算相应水量,后者根据控制断面的水位、流量关系求得,再通过区域洼地“高程-容积-面积”关系曲线辅助分析淹涝面积。

(3)太湖水位超过3.8 m时的漫溢水量只进入湖东的阳澄淀泖与杭嘉湖洼地,并按对其影响的可能漫溢口断面控制宽度进行分摊。根据太湖流域水系与地形图分析,20世纪50年代初太湖在无大堤情况下遇高水位时江、浙下游可能的漫溢豁口断面宽度比约为30%:70%,因此,工程前太湖漫溢水量进入阳澄淀泖区的比例按30%计。

(4)各工况对有、无山丘区水库等工程的作用暂不考虑。

(5)各工况及代表年采用的下垫面条件一致,不考虑下垫面及圩区排涝动力变化等对工程前后效益的影响。

3.2 计算方法

选取实况代表年作为典型年,利用太湖流域河网水文水动力模型,模拟工程前、工程后遭遇实况

典型年降雨的水位、流量、水量等过程,计算出典型年工程前、工程后淹没面积或淹涝水量,分别建立工程前、工程后淹没面积或淹涝水量与控制时段暴雨的相关关系。再采用其余各年控制时段实测雨量,通过上述相关曲线,插补分析每年工程前、工程后淹没面积或淹涝水量,通过各区域洼地“高程-面积-容积”关系曲线辅助确定淹没面积,见图2~4。

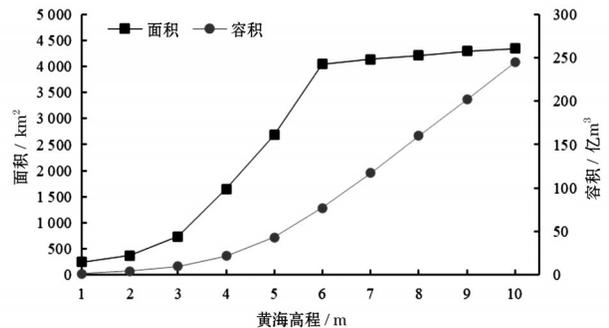


图2 湖西区洼地面积、容积与高程关系曲线

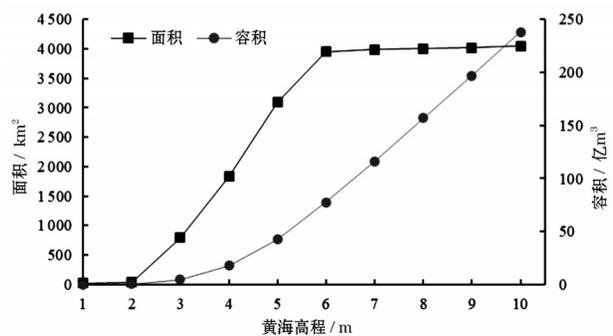


图3 武澄锡虞区洼地面积、容积与高程关系曲线

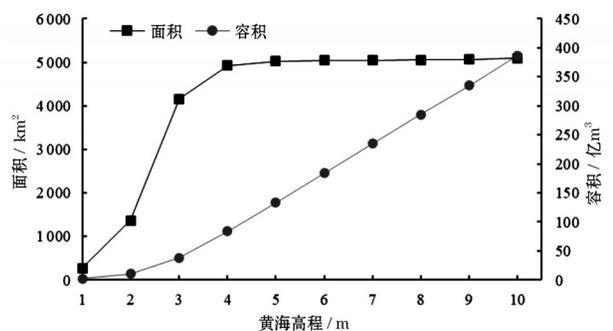


图4 阳澄淀泖区洼地面积、容积与高程关系曲线

4 计算成果

4.1 典型年计算成果

根据流域及各区域时段雨量频率曲线,分析统计历年控制时段雨量频率与重现期。在系列年内综合选择实况降雨重现期较大、较小以及中等的暴

雨洪水年份,分析建立工程前、工程后淹涝与降雨的相关关系。湖西区和武澄锡虞区主要由区域降雨引起淹涝,分别建立工程前、工程后淹没面积与区域暴雨量相关关系。

(1)湖西区

以湖西区典型年分析结果为样本,建立工程前后应淹面积与区域最大15 d雨量关系,相关方程分别为:

$$\text{工程前: } F_1 = 4.3358P_1 - 910.04 \quad R = 0.982 \quad (1)$$

$$\text{工程后 I: } F_2 = 2.587P_1 - 673.95 \quad R = 0.978 \quad (2)$$

$$\text{工程后 II: } F_3 = 2.549P_1 - 813.43 \quad R = 0.970 \quad (3)$$

式中: P_1 为区域最大15 d暴雨量; F_1 、 F_2 、 F_3 分别为工程前、工程后第 I 阶段及第 II 阶段的应淹面积; R 为相关系数。湖西区工程前后淹没面积与暴雨量关系对比见图5。

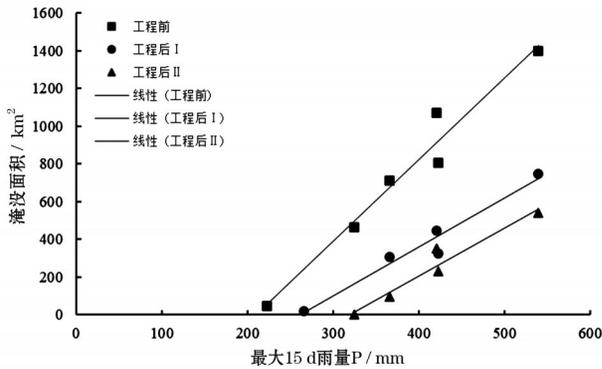


图5 湖西区工程前后淹没面积与暴雨量关系对比

以武澄锡虞区典型年分析结果为样本,建立工程前后应淹面积与区域控制时段最大7 d雨量关系。工程后 II 第二阶段(1997—2019年)未出现淹涝,故仅建立工程前和工程后第 I 阶段应淹面积与区域最大7 d雨量的相关关系,相关方程分别为:

$$\text{工程前: } F_1 = 2.7827P_2 - 302.06 \quad R = 0.985 \quad (4)$$

$$\text{工程后 I: } F_2 = 0.4794P_2 - 100.67 \quad R = 0.963 \quad (5)$$

式中, P_2 为区域最大7 d暴雨量,mm。武澄锡虞区工程前后淹没面积与暴雨量关系对比见图6。

以阳澄淀泖区典型年分析结果为样本,建立工程前后应淹面积与区域控制时段最大15 d雨量的关系,工程后第 II 阶段仅在1999年出现淹涝,不再建立相关关系,工程前和工程后第 I 阶段应淹面积与区域最大15 d雨量的相关方程分别为:

$$\text{工程前: } F_1 = 4.9296P_1 - 993.67 \quad R = 0.810 \quad (6)$$

$$\text{工程后 I: } F_2 = 3.3732P_1 - 753.86 \quad R = 0.981 \quad (7)$$

阳澄淀泖区工程前后淹没面积与暴雨量关系对比见图7。

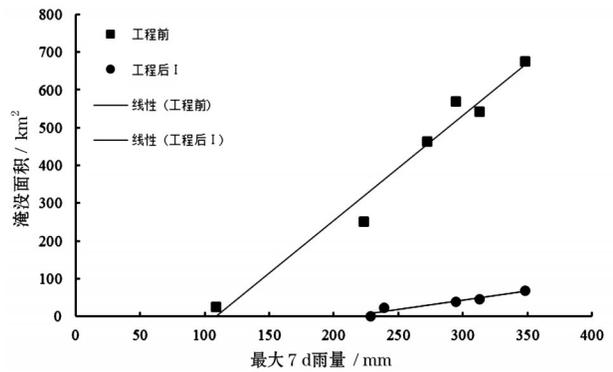


图6 武澄锡虞区工程前后淹没面积与暴雨量关系对比

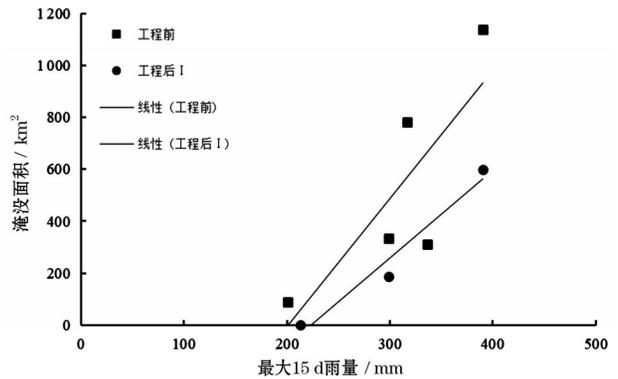


图7 阳澄淀泖区工程前后淹没面积与暴雨量关系对比

经计算,20世纪50年代以来治太工程最大程度地解决了太湖下游洪水走廊地区的防洪安全,从区域分析,阳澄淀泖区治理效益最大,1959—2019年累计减淹面积达19 090 km²,多年平均减淹面积为313 km²;其次为武澄锡虞低洼地区,累计减淹面积8 988 km²,多年平均减淹面积为147.3 km²;湖西区治理效益相对最小,累计减淹面积6 793 km²,多年平均减淹面积为111.4 km²,符合治太工程效益发挥的总体分布特点。从典型年份分析,江苏省太湖流域1999年减淹面积最大,合计减淹面积627 km²;其次为2016年,合计减淹面积2 493 km²;再次为1991年,合计减淹面积567 km²,总体上符合历史实际灾情发生情况和总体损失状况。

5 结 语

20世纪50年代以来,江苏省太湖流域经过一轮和二轮治理,治太骨干工程和区域治理工程陆续发挥效益。1950—2019年,江苏省太湖流域合计减淹面积34 871 km²,防洪效益十分显著。在取得巨大经济效益的同时,也取得了巨大的社会效益和生态效益,为保障太湖流域社会经济高质量发展创造了安全稳定的环境,对流域社会、经济、生态的协调发展起到了巨大的推动作用。

参考文献:

- [1] 汪院生,柳子豪,展永兴,等.环太湖出入湖水量变化探析[J].江苏水利,2022(4):14-17,56.
- [2] 李曦亭,王磊之,王银堂,等.基于安全裕度理论的太湖流域北部城市排涝与区域防洪标准衔接研究[J].河海大学学报(自然科学版),2023,51(2):150-156.
- [3] 吴娟,林荷娟,姜桂花,等.太湖流域超标特大洪水风险预警系统建设及应用[J].河海大学学报(自然科学版),2023,51(2):164-170.
- [4] 高玮志,高华勇,王兆礼,等.基于机器学习的太湖流域多层次防洪调度方案综合评价[J].水资源保护,2023,39(3):118-125,236.
- [5] 鲍建腾,唐仁,刘涛.新孟河延伸拓浚工程首次防洪排涝调度效益分析[J].江苏水利,2021(11):57-60.
- [6] 董岩芳,闻余华,鲍建腾.望虞河排水能力初步研究[J].江苏水利,2021(9):16-20.
- [7] 张春松,尤迎华,鲍建腾,等.太湖流域望虞河沿线地区水生态调度需求及对策[J].江苏水利,2020(3):1-4,24.
- [8] 胡惠良,谈俊益.江苏太湖流域水环境综合治理回顾与思考[J].中国工程咨询,2019(3):92-96.
- [9] 展永兴,沈菊琴,张丹丹.水环境治理工程环境经济损益评价模型及应用[J].人民黄河,2018,40(3):64-67.

(上接第21页)

缘处是最容易发生形变的位置。叶轮叶片最大应力集中于叶根附近,而最大形变位置为进水侧轮缘处,进水侧是应力及形变分布相对较大的区域。

参考文献:

- [1] 张仁田.贯流式机组在南水北调工程中的应用研究[J].排灌机械,2004(5):1-6.
- [2] 李超,袁尧,单陆丹,等.贯流泵模型装置能量特性相关试验分析[J].江苏水利,2020(8):42-45.
- [3] 杨帆,刘超,汤方平,等.S形下卧式轴伸贯流泵装置叶片区压力脉动特性研究[J].流体机械,2015,43(1):16-22.
- [4] 秦晋,刘树峰.基于流固耦合的竖井贯流泵强度分析[J].东北水利水电,2016,34(1):54-57.
- [5] 黎义斌,李仁年,王秀勇,等.低比转数混流泵压力脉动特性的数值模拟[J].排灌机械工程学报,2013,31(3):205-209.
- [6] 郑源,陈宇杰,毛秀丽,等.混流泵压力脉动特性及其对流动诱导噪声的影响[J].农业工程学报,2015,31(23):67-73.
- [7] 王松林,谭磊,王玉川.离心泵瞬态空化流动及压力脉动特性[J].振动与冲击,2013,32(22):168-173.
- [8] 施卫东,张磊,陈斌,等.离心泵间隙对压力脉动及径向力的影响[J].排灌机械工程学报,2012,30(3):260-264.
- [9] 周颖,郑源,何中伟,等.大型轴流泵反向发电压力脉动及流固耦合[J].排灌机械工程学报,2019,37(6):480-485,490.
- [10] 李伟,杨勇飞,施卫东,等.基于双向流固耦合的混流泵叶轮力学特性研究[J].农业机械学报,2015,46(12):82-88.