

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20220633

基于 MIKE11 的杭州萧山机场排涝现状及优化提升研究

李博通, 杨 彧, 左晓霞, 张 健, 马海波

(浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司, 浙江 杭州 310002)

摘要:平原区河网尤其在机场处具有复杂的水文结构,防洪排涝工作至关重要。以杭州萧山机场为例,采用 MIKE11 构建一维河网水动力模型,通过已有排水泵站的不同开启工况分析其排涝现状,并针对其现状提出相应的优化提升方案。结果表明,杭州萧山机场西工作区现状整体排涝能力达不到 20 年一遇标准。在排涝优化提升方面,建议使用强排换调蓄,采用“强排为主,调蓄结合”的排涝思路,形成“骨干河道+强排泵站”的排涝总体格局。

关键词:平原区河网; 城市机场排涝; MIKE11; 强排泵站; 水系规划

中图分类号: TV87 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)01-0073-04

1 概况

杭州萧山国际机场位于杭州萧山区东部、钱塘江南岸,机场现有建设范围面积约 10 km²。机场总体排水方案主要围绕场外河道分布情况确定,按照总体排水路径,机场现有排水系统分南北两个区域考虑。南片区雨水最终向南外排至解放河,北片区雨水最终向北外排至义南横河。机场西工作区排水接纳水体主要包括两个景观湖及 3 条河道(分别位于#6 路以西、#11 路北及机场西侧),其中#6 路以西河道(#6 路河)和景观湖还接纳部分南跑道飞行区雨水,其末端均接入#11 路北侧河道,并通过该河道接入机场西侧河道,这些河道水域面积约 15 × 10⁴ m²。#11 路北侧河道(#11 路河)作为西工作区最重要的排水通道,一方面承担航站区和#11 路以北部分工作区的雨水收集排放,另一方面还需承担#6 路河及人工景观湖等区域汇水外排功能。场区主要排水河道现状规模见表 1,研究区域的具体位置及排水河道位置见图 1。《治涝标准》^[1]规定“机场的防涝、排涝设施规划标准不低于临近地区防涝、排涝设施能适应的暴雨重现期”。杭州萧山国际机场所在的萧山平原现状排涝标准为 10~20 年一遇,据此,杭州萧山机场的排涝标准定为 20 年一遇。因此分析萧山机场的排涝现状非常有必要。本文以杭

表 1 场区主要排水河道现状规模

Tab. 1 Current status and scale of main drainage channels

编号	河道名称	起点—讫点	长度 /m	面宽 /m	底高 /m
1	#11 路河	原调蓄湖西侧—#4 路	1 500	3.5~5	2~3
2	#6 路河	#11 路—#9 路	870	8~12	2~3
3	B 滑渠	西南泵—T2 雷达	2 000	3~7	2~3
4	#16 路河	#5 路—南加油站	189	20~22	2~3
5	#4 路河	#11 路—西北泵	1 701	10~80	2~3
6	北飞行区河	北飞行区外围环机场	4 100	10~20	2~3

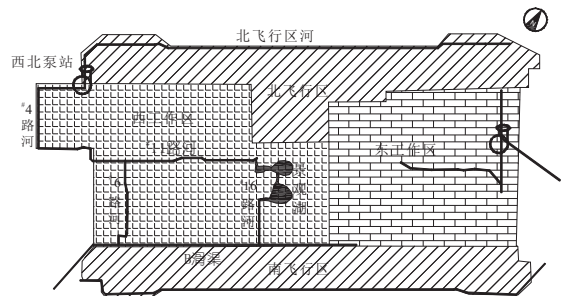


图 1 研究区域具体位置及排水河道位置图

Fig. 1 The location of the study area and the drainage channel
州萧山机场为例,采用 MIKE11 构建一维河网水动力模型,分析计算萧山机场的排涝能力,并针对其现状提出相应的优化提升方案。

2 模型构建

2.1 计算方法

排涝计算采用丹麦水力研究所(DHI)研制的 MIKE11 水动力模块(HD)模型^[2-5]。模型将河网

收稿日期: 2022-03-31, 修回日期: 2022-04-29

作者简介: 李博通(1990-),男,硕士、工程师,研究方向为水利规划,E-mail: libotong2008@126.com

通讯作者: 杨彧(1991-),男,博士、工程师,研究方向为水利规划,E-mail: yangyu168311@qq.com

概化为节点、河道,对成片水域则划分为单元,这部分单元仅起蓄水调节作用,不起动力输水作用。由于平原河网河段纵横交叉,河网水流呈不恒定状态,河网中各河段水位、流量、流速和过水断面随时间、地点不断变化,因此模型采用基于圣维南偏微分方程组的一维非恒定流模型来描述水流在明渠中运动,通过 Abbott-Ionescu 六点中心隐式有限差分方法对圣维南方程组进行离散后应用“追赶法”求解差分方程。

圣维南方程是反映有关物理定律的微分方程,包括连续方程(质量守恒定律)和动量方程(牛顿第二定律):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + Ag \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q |Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

式中, A 为过水断面面积; t 为时间坐标; Q 为流量; x 为距离坐标; q 为侧向入流流量; α 为动量修正系数^[6]; g 为重力加速度; h 为水位; C 为谢才系数; R 为水力学半径。

2.2 计算模型

先通过萧山平原水动力模型计算出杭州萧山机场周边的水位、流量等水文参数,再以此为外边界进行杭州萧山机场水动力模型的计算。

平原河网水利计算采用一维河网非恒定流方法。计算范围为萧山平原区(包含进化溪小流域与南部山区),共截取 3 165 个计算断面,考虑 182 座闸(桥)、14 个流量边界(上边界)、24 个水位边界(下边界)。

在边界条件的选择上,钱塘江沿江口门外边界采用 2013 年菲特台风钱塘江实测潮水位,萧山与绍兴交界的西小江下边界选用钱清站的设计水位边界,具体边界过程线见图 2、3。

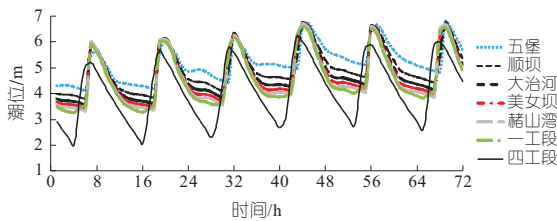


图 2 2013 年“菲特”台风钱塘江实测潮水位过程
Fig. 2 The tide level of Qiantang River in Typhoon Fitow, 2013

根据杭州萧山国际机场有限公司收集的机场内部河道排水分区、实测断面、糙率系数、初始水位和机场范围 1 : 500 设计图纸等基础数据资料设置模型水力学和水文参数。其中,模型中糙率设置为 0.03,初始水位设置为 3.90 m,外边界为萧山平原水动力模型不同频率计算成果中杭州萧

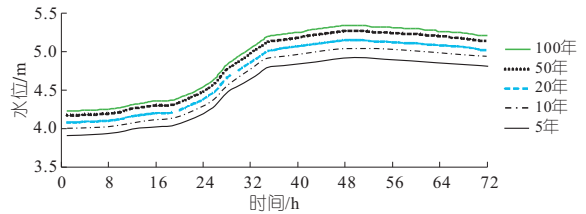


图 3 钱清站设计水位边界过程

Fig. 3 The design water level boundary process in Qianqing Station

山机场周边相关外围河道的水位与流量。在已有萧山平原水动力模型的基础上,搭建杭州萧山机场范围水动力模型,并与萧山平原水动力模型进行耦合,分析杭州萧山机场西工作区防洪排涝能力,其计算河网的示意图见图 4。

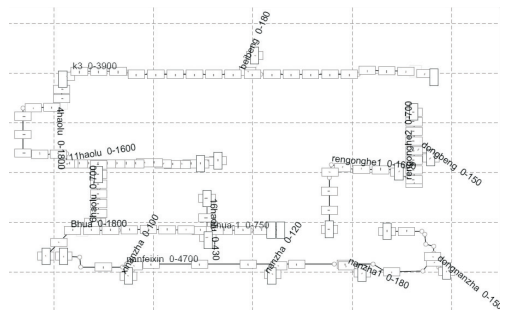


图 4 杭州萧山机场计算河网示意图
Fig. 4 Schematic diagram of the calculation river network of Hangzhou Airport

3 分析与讨论

3.1 机场排涝能力分析

3.1.1 西北泵站全开工况

利用水动力模型,对机场现状水利工况下遭遇 5、10、20、50 年一遇洪水进行演进计算。选择代表河道,重点关注各水平年代表河道最高涝水位,计算结果见表 2。

表 2 现状工况水利计算结果(西北泵全开)

Tab. 2 Calculation results of current working condition (Northwest pump fully open)

代表河道	各重现期水位/m			
	50年	20年	10年	5年
# 11 路河	5.85	5.39	5.18	4.96
# 6 路河	5.84	5.39	5.18	4.96
B 滑渠	5.87	5.42	5.21	4.98
机场西侧河道	5.79	5.35	5.12	4.81
北飞行区河	6.33	5.89	5.46	5.19
高水位(>4.7 m)持续时间/h	16	12	7	2

注:高水位持续时间指 3 日降雨中,机场内部主要河道最高涝水位高于 4.7 m 的时间。

由表 2 可知,现状机场建设工况,西北泵站开足,机场工作区基本能达到 20 年一遇标准,但由于西北泵站的短历时运行均会抬高北飞行区河的

涝水位,河道壅水严重,北飞行区河 20 年一遇最高涝水位达到 5.89 m,对飞行区正常运行产生威胁。

3.1.2 西北泵站部分开启工况

根据历次暴雨中机场公司对西北泵站的实际调度运行,西北泵站开启一台机组($2 \text{ m}^3/\text{s}$)较合适,基本不会发生北飞行区河长时间壅水情况。

对机场现状水利工况下遭遇 5、10、20、50 年一遇洪水时,西北泵站开启一台泵站情况进行演进计算。选择代表河道,重点关注各水平年代表河道最高涝水位,水力计算结果见表 3。

表 3 现状工况水利计算结果(西北泵开 1 台)

Tab.3 Calculation results of current working condition

(Northwest pump partly open)

代表河道	各重现期水位/m			
	50 年	20 年	10 年	5 年
# 11 路河	5.98	5.52	5.33	5.12
# 6 路河	5.96	5.51	5.31	5.09
B 滑渠	6.05	5.59	5.36	5.13
机场西侧河道	5.87	5.45	5.21	4.99
北飞行区河	6.04	5.57	5.35	5.18
高水位(>4.7 m)持续时间/h	21	14	9	3

由表 3 可知,机场现状建设情况下,若西北泵站能力用足($6 \text{ m}^3/\text{s}$),整个场区遭遇 20 年一遇的降雨时,在预排得当,且泵站正常工作的情况下,场区陆侧最高涝水位 5.42 m,勉强达到 20 年一遇标准。但暴雨期西北泵站涝水翻入飞行区河道,下游河道短时间涝水无法散开,排水压力加大,飞行区河道会产生短时间溢水,所以西北泵站现状无法开足,根据机场公司对西北泵站的实际调度运行情况,模型试算分析情况,现状西北泵站适合开启一台机组($2 \text{ m}^3/\text{s}$)。此工况下,机场排涝能力在 10~20 年一遇之间,杭州萧山机场现状整体排涝能力达不到 20 年一遇标准。

3.2 机场排涝优化提升方案

萧山机场三期工程为杭州 2022 年亚运会交通保障核心项目之一,其主要建设内容包含新建 T4 航站楼、新建综合交通中心、旅客过夜用房及配套业务用房、高铁设施、能源中心、机场消防救援设施、陆侧核心区总体工程等。三期项目建设用地为现状调蓄湖地块,该地块尚未开发,在机场排水中起到重要作用,同时也提升了西工作区景观效果。三期工程扩建后,场区内可用于调蓄的区域所剩无几,需对其排涝进行优化提升。综合考虑下,建议使用强排换调蓄,采用“强排为主,调蓄结合”的排涝思路,形成“骨干河道+强排泵站”的排涝总体格局。

3.2.1 骨干河道工程

结合萧山机场现状排水格局及三期工程建设

实际,确定 # 11 路河、# 6 路河、B 滑渠为三期工程建成后机场内部排水骨干河道。本文骨干河道工程主要是对以上三条河(渠)提出拓浚、局部顶管的措施,加大其涝水排除能力。通过模型试算,满足机场区域遭遇 50 年一遇降雨时,24 h 降水 24 h 全部排出,且排水全过程中,河道沿线各关注点水位均低于 5.4 m 的标准。推荐规划河道规模见表 4。

表 4 推荐规划河道规模

Tab.4 Recommended planning river channel scale

编号	河渠名称	规模	备注
1	# 11 路河	宽 10~12 m,底高 1 m	河道拓宽、清淤
2	# 6 路河	宽 12 m,底高 1 m	河道拓宽、清淤
3	B 滑渠	宽 8 m,底高 3 m	河道拓宽、清淤、部分顶管

注:北飞行区河需要清淤到 1 m,全线箱涵等严重阻水的卡口需要打通改造,满足排水需求。

3.2.2 排涝口门工程

排涝口门工程主要为新建北飞行区泵站及现有西南泵站改扩建。考虑到西北泵站在运行期大量翻水到北飞行区河,飞行区河道涝水不能及时排出,壅水溢水时常发生,飞行区排水成为比较大的问题,推荐在北跑道飞行区北飞行区河中部出水口位置设置泵站,可将西北泵站排入飞行区河道的涝水及时排入场外赭山直河;此外,因西北泵站位置正好位于飞行区中部,有利于东西两侧水流汇集。同时,在东北出水口位置设置一座控制闸,平时河道水位低时闸门打开,排水采用自排方式。当外部河道处于水位高,且西北泵站运行时,为防止场外涝水倒灌,闸门关闭,排水采用赭山直河出水口位置的泵站强排方式。

三期工程建成投产后,场内汇水量陡增,机场现有的河渠、泵站已不能满足排涝要求。考虑到现状排水,西工作区及南北飞行区部分区域雨水通过场区河道汇集至西北泵站,再通过西北泵站排入北飞行区的河道。排水线路较长,且增加下游河道排水压力,容易对空侧跑道、滑行道、机坪等正常运行产生威胁。

经过排水布局的方案比选计算,确定分散排涝格局:西工作区北侧大部分雨水、T4 航站楼北侧屋面雨水及 # 9 机坪、# 2 机坪等汇水通过 # 11 路河、机场西侧河道等汇流至北飞行区河,通过北飞行区强排泵站排入场外赭山直河,继而向北流入义南横河,最终通过萧山区沿江口门外排至钱塘江。西工作区南侧大部分雨水、滑行道雨水以及 T4 航站楼部分屋面雨水接入 B 滑渠道、# 6 路河等,最终通过新建西南泵站将涝水翻入场外坎山直河,继而进入萧山区骨干河道后解放河,最终

通过萧山区沿江闸站外排至钱塘江。

通过水动力模型计算、分析论证,满足排涝标准的前提下,需新建、改扩建泵站规模,见表 5。

表 5 推荐规划泵站规模

Tab. 5 Recommended planning pump station scale

编号	名称	流量规模 ($m^3 \cdot s^{-1}$)	备注
1	西南泵站	8	改扩建,需配套泵前水池,水面积不宜小于 $410 m^2$;建议 4 台泵站中,设置 1 台双向泵站,为机场今后环境引配水创造条件。
2	北飞行区泵站	6	新建,需配套泵前水池

北飞行区河东北出水口位置设置一座控制闸,平时外围永丰直河水位低时闸门打开,排水采用自排方式。其所有的后期规划工程平面布局(包括规划河道、规划泵站和规划闸门等)见图 5。

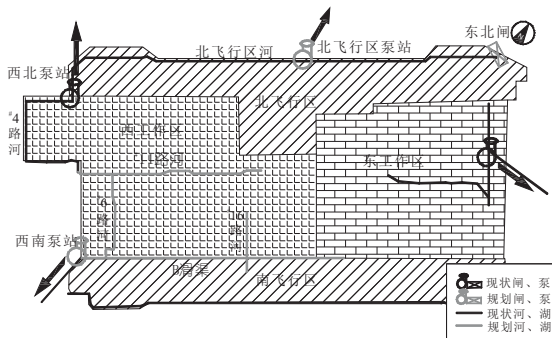


图 5 规划工程平面布局图

Fig. 5 General layout drawing of planning project

考虑到河道部分区段过水断面富余有限,避免因河道淤积使得水流过缓,导致整个工作区排洪不畅,建议对场区内外#11路河、#6路河、B滑渠等骨干河渠进行定期清淤,并对新建泵站进行定期的检修维护,并建议该项工作列入每年的常态化管理考核。

通过河道工程和闸泵工程改建后,代表河渠最高涝水位、最大流量等水动力特征值见表 6。由表 6 可知,杭州萧山机场在三期工程建成投用后,机场场区内排涝标准将达到 50 年一遇。

表 6 规划工程水利计算结果

Tab. 6 Calculation results of planning project

河道名称	常水	50 年一遇	最大流量
	位/m	洪水位/m	$(m^3 \cdot s^{-1})$
#11 路河	4	5.32	13.8
#6 路河	4	5.31	4.6
B 滑渠	4	5.32	9.7
机场西侧河道	4	5.31	12.2
北飞行区河	4	5.28	10.6
高水位(>4.7 m)持续时间/h		4.5	

4 结论

a. 机场西工作区排水泵站为西北泵站,实际情况无法全开,机场整体排涝能力达不到 20 年一遇标准。

b. 三期工程扩建,需对机场排涝格局及能力优化提升。提出强排换调蓄方案,采用“强排为主,调蓄结合”思路,形成“骨干河道+强排泵站”排涝格局。

参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部. 治涝标准: SL723-2016 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017.

[2] 陈璇, 杨根林, 杨红卫. 基于 MIKE11 模型的秦淮河流域洪水调度方案[J]. 水电能源科学, 2019, 37(1): 70-73.

[3] 葛翔, 黄义娟. MIKE11HD 在慈湖河干流防洪工程中的应用实例[J]. 中国农村水利水电, 2014(7): 105-106, 109.

[4] 赵然杭, 邱婷, 王好芳, 王兴菊. 基于 Mike11 的引黄济青工程输水效率确定 [J]. 水电能源科学, 2021, 39(9): 54-57.

[5] 庄丽金, 崔婷婷. 基于 Mike11 的舟山市岱东小流域排涝方案优化研究 [J]. 水利规划与设计, 2021(6): 137-140.

[6] Danish Hydraulic Institute. MIKE 11 User Manual [M]. Copenhagen: DHI, 2012.

Analysis and Optimization of Drainage Capacity in Hangzhou Airport Based on MIKE11

LI Bo-tong, YANG Yu, ZUO Xiao-xia, ZHANG Jian, MA Hai-bo

(Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Co., LTD., Hangzhou 310002, China)

Abstract: Plain river network, especially near the airport area, has complex hydrological structure, and the flood control and drainage are very important. Taking the Hangzhou International Airport as an example, one-dimensional hydrodynamic model of the river network was built based on MIKE11. The current situation of drainage was analyzed through different startup conditions of the existing drainage pumping station, and the optimization and promotion plan was proposed. The result indicates that the overall drainage capacity of the West Work Area of Hangzhou Airport cannot meet the standard of “once in 20 years”, which needs to be optimized for drainage. Under comprehensive consideration, it is recommended to use strong drainage instead of regulation and storage, and adopt the drainage idea of “mainly strong drainage, combined with regulation and storage” to form an overall drainage pattern of “backbone river channel + strong drainage pumping station”.

Key words: plain river network; urban airport waterlogging; MIKE11; strong drainage pumping station; water system planning