

福州仓山龙津阳岐水系补水活水策略研究

刘鑫

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:以福州仓山龙津阳岐水系补水活水项目为例,结合项目所在区域特征,采用适合平原河网地区且能灵活调度水工建筑物的 MIKE 11 模型,对不同工况下的补水活水方案进行模拟。所提出的补水方案是:丰水期进行自然纳潮补水,补水方向为南引北排;枯水期因闽江潮汐动力不足,应利用泵站补水,补水方向则为东引西排和南引北排。所得结论可为后期水系运维调度提供指导。

关键词:黑臭水体;补水活水;平原河网;MIKE 11;运维调度

中图分类号: X52; X143

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)05-0123-04

0 引言

城市黑臭水体是百姓反映强烈的水环境问题,治理不当将损害城市人居环境,也严重影响城市形象。2015年随着国务院颁布实施《水污染防治行动计划》^[1],全国各地如火如荼地开展了黑臭水体整治工作。

补水活水作为黑臭河道治理方法之一^[2],目前在国内外应用已初见成效^[3]。补水活水包含了补水和活水两个部分:补水的重点是保证河道生态基流量、维持河道常水面;活水的重点是增加水的流动性、改善水动力、保证河道一定的流速^[4]。

1 工程概况

福州仓山龙津阳岐水系的工程范围共 32 km²,位于福州市南台岛中部,被闽江分支包围,北侧为闽江北支,俗称北港,南侧为南支,称乌龙江(见图1)。闽江潮汐属正规半日潮型,区域共包含 13 条河道,总长度 31 km。

目前福州仓山龙津阳岐水系治理工程已基本进入尾声,控源截污、内源治理以及生态修复工程基本建设完成,即将进入项目运营期,因此迫切需要制定补水活水策略,保证运营期水系平稳运行。

目前福州仓山龙津阳岐水系区域补水活水存在的问题如下:

(1)补水水源单一且利用存在一定难度。城市水体的补水水源多为天然河、湖泊、水库水等自然水体



图1 研究区域范围

水源和城市雨洪水、提标尾水等其他水源。目前工程区域无湖泊、水库及中水等水源,仅外围的闽江可作为补水水源。由于闽江潮汐为规则半日潮,潮汐 1 天有 2 个周期,高低平均潮差约 3~4 m,如何利用变化的潮位给区域补水存在难度。

(2)河网南北跨度较大且地势不利。项目区域地处南台岛,南北地势低,中间地势高,天然情况下水流为由中间向两侧流动。区域水系南北跨度大,南北水系长度约 8 km。现状沿江防潮闸除了遭遇天文大潮关闭外,其他时间均为开启状态,导致每天涨潮退潮,整个河网水位变幅较大,且区域水流流态为双向流动,即南侧区域涨潮时从乌龙江往北流动,退潮时又流出乌龙江;北侧区域涨潮时从闽江往南流动,退潮时又流出闽江,导致区域中部区域水动力不足。

(3)沿江水闸多为挡潮闸,蓄水能力差。现状几座沿江水闸多为上世纪 90 年代建设的防潮闸,只具备挡潮功能,蓄水存在安全隐患,当外江退潮时,河网水位随之降低,区域无法实现保水。

2 研究方法

福州仓山龙津阳岐水系属于滨江感潮平原河网

收稿日期: 2022-06-27

作者简介:刘鑫(1991—),男,硕士,工程师,主要从事城市防洪排涝、水利规划工作。

地区,水网互连互通,水工建筑物较多,受外围闽江潮位的影响,区域水情较为复杂。不同调度方式下各河道的水流情况变化明显,为了研究区域补水活水方案,需要通过水动力模拟分析计算,分析各河道水量及各节点的水位、流速情况,制定合适的补水活水策略。

为了准确计算不同工况下各河道补水水量、水位及流速等特征值,本次研究采用丹麦水利研究所研制的 MIKE 11 模型来构建区域的河网水力模型,进行补水方案计算。MIKE 11 一维河道、河网综合模拟软件主要用于河口、河流、灌溉系统和其他内陆水域的水文学、水力学、水质和泥沙传输模拟,目前在水利工程规划设计论证等方面均得到了广泛应用^[5]。

MIKE 11 水动力模型是基于垂向积分的物质和动量守恒方程,即一维非恒定流圣维南方程组来模拟河流或河口的水流状态。计算原理是采用 6 点 Abbott-Ionescu 有限差分格式对圣维南方程组求解。

质量守恒方程:

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

动量守恒方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = 0 \quad (2)$$

模型中水工控制建筑物包括水闸、泵站、涵洞等,在水流模拟中,不仅要正确地设置这些水工建筑物的规模、位置,同时也要模拟这些工程的运行控制方式。在 MIKE 11 模型中水工建筑物的设置一般非常直观,调度方式的设置手段也非常丰富,使 MIKE 11 能够灵活方便地模拟各种预设的调度规程。

3 模型构建

3.1 模型概化

模型河网概况包含区域整治的龙津河、阳岐河、白湖亭河等河道,以及沿江的水闸泵站等建筑物,区域共概化 13 条河道,河道节点共 616 个。模型河网概化图见图 2。模型中水工建筑物共概化水闸 15 座,涵管 2 根,引水泵站 1 座。

3.2 边界条件

由于区域北侧为闽江,南侧为乌龙江,东西两侧与其他水系有水闸分隔,因此区域边界为闽江和乌龙江。

根据闽江解放大桥站 2016 年全年的水位监测资料,2016 年最高潮位为 6.779 m,平均潮位 3.329 m。本次闽江非汛期和汛期分别选取 2016 年 1 月 19 日及 2016 年 7 月 1 日潮位作为典型潮位(见表 1)。

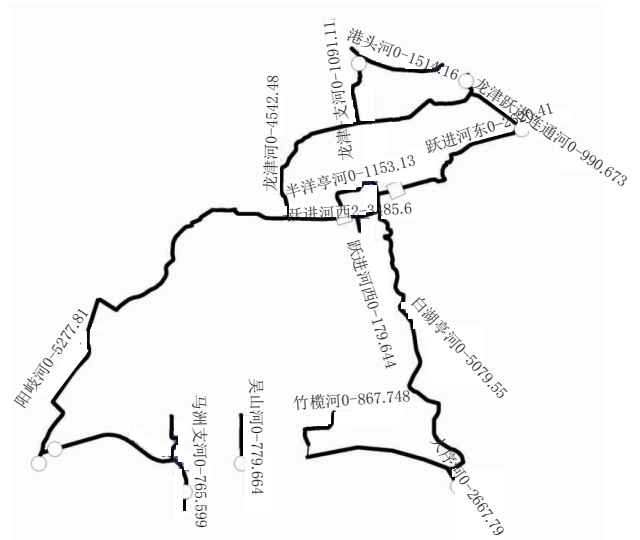


图 2 模型河网概化图

表 1 典型潮位过程

非汛期典型潮位 /m		汛期典型潮位 /m	
时间	潮位	时间	潮位
2016-01-19, 2:00:00 PM	2.019	2016-07-01, 2:00:00 PM	2.499
2016-01-19, 3:00:00 PM	1.849	2016-07-01, 3:00:00 PM	2.059
2016-01-19, 4:00:00 PM	2.519	2016-07-01, 4:00:00 PM	1.950
2016-01-19, 5:00:00 PM	3.299	2016-07-01, 5:00:00 PM	2.050
2016-01-19, 6:00:00 PM	3.999	2016-07-01, 6:00:00 PM	2.149
2016-01-19, 7:00:00 PM	4.519	2016-07-01, 7:00:00 PM	3.279
2016-01-19, 8:00:00 PM	4.709	2016-07-01, 8:00:00 PM	4.219
2016-01-19, 9:00:00 PM	4.599	2016-07-01, 9:00:00 PM	4.849
2016-01-19, 10:00:00 PM	4.149	2016-07-01, 10:00:00 PM	4.999
2016-01-19, 11:00:00 PM	3.599	2016-07-01, 11:00:00 PM	4.649
2016-01-20, 12:00:00 AM	3.059	2016-07-02, 12:00:00 AM	4.079
2016-01-20, 1:00:00 AM	2.529	2016-07-02, 1:00:00 AM	3.469
2016-01-20, 2:00:00 AM	2.089	2016-07-02, 2:00:00 AM	2.909
2016-01-20, 3:00:00 AM	1.950	2016-07-02, 3:00:00 AM	2.419
2016-01-20, 4:00:00 AM	2.000	2016-07-02, 4:00:00 AM	1.989
2016-01-20, 5:00:00 AM	2.119	2016-07-02, 5:00:00 AM	1.900
2016-01-20, 6:00:00 AM	2.989	2016-07-02, 6:00:00 AM	1.989
2016-01-20, 7:00:00 AM	3.789	2016-07-02, 7:00:00 AM	3.039
2016-01-20, 8:00:00 AM	4.429	2016-07-02, 8:00:00 AM	3.969
2016-01-20, 9:00:00 AM	4.649	2016-07-02, 9:00:00 AM	4.629
2016-01-20, 10:00:00 AM	4.509	2016-07-02, 10:00:00 AM	4.859
2016-01-20, 11:00:00 AM	4.079	2016-07-02, 11:00:00 AM	4.559
2016-01-20, 12:00:00 PM	3.549	2016-07-02, 12:00:00 PM	3.999
2016-01-20, 1:00:00 PM	3.039	2016-07-02, 1:00:00 PM	3.409
2016-01-20, 2:00:00 PM	2.569	2016-07-02, 2:00:00 PM	2.849
2016-01-20, 3:00:00 PM	2.139	2016-07-02, 3:00:00 PM	2.349
2016-01-20, 4:00:00 PM	1.859	2016-07-02, 4:00:00 PM	1.909

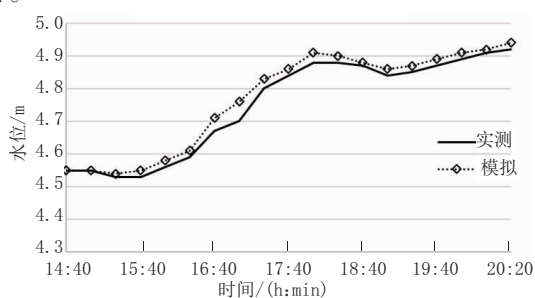
3.3 模型参数

本次根据实际情况,河道糙率取值为 0.025 ~ 0.033^[6]。根据研究区域模型计算稳定性要求及模型

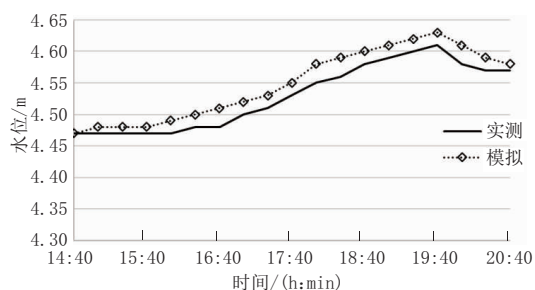
运行时间要求,一般水动力模型的时间步长可以取为5~15 min,空间步长取50~500 m不等,初始水位本次采用区域常水位3.6~4.1 m。

3.4 模型参数率定

为满足模型参数率定和验证需要,本次选用2017年12月26日和12月27日2次现场引水试验实测潮位以及内河水位数据进行率定和验证,率定结果见图3、图4。根据实测水位和模拟验证水位结果对比分析,跃进河与龙津河交界处、白湖亭叶夏处的实测和模拟结果接近,基本可以满足方案制定需要。

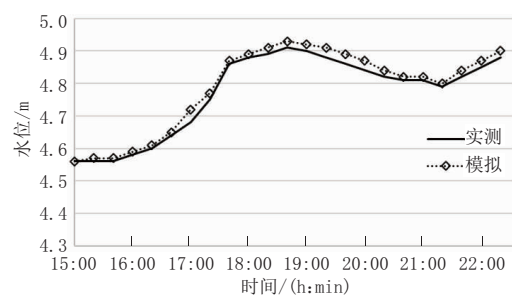


(a)跃进河与龙津河交界处水位过程图

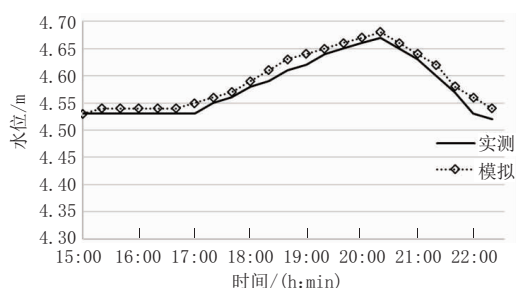


(b)白湖亭叶夏处水位过程图

图3 2017年12月26日引水率定结果



(a)跃进河与龙津河交界处水位过程图



(b)白湖亭叶夏处水位过程图

图4 2017年12月27日引水率定结果

4 补水活水策略

4.1 补水水源

目前项目周边无湖泊、水库以及中水等补水水源,仅南北两岸有流域性河道闽江。

根据竹岐水文站多年观察资料,闽江下游年均径流量可达557.29亿 m^3 ,即多年平均流量为1767 m^3/s 。闽江4月至7月是丰水期,径流量占全年的63.3%;11月至翌年1月为枯水期,占全年径流量的8.9%;平均12月份径流量最小,仅占全年2.9%,平均流量达623 m^3/s 。

根据福建省环保厅公布的水质评价断面数据,2017年闽江优良水质(I类~III类)比例达到98.3%,项目区域邻近测站水质常年保持II类~III类。

经分析,不管从水量还是水质角度,闽江均为优质补水水源,因此本次选取闽江作为仓山龙津阳岐水系的补水水源。

4.2 活水总体原则

根据项目区域特征,为保证区域补水活水的效果及可持续性,本次遵循以下原则:

(1)建设蓄水闸,维持区域常水位。考虑沿江部分水闸无法保水,在区域河道沿江出口建设保水钢坝闸,维持区域一定的常水位。

(2)自然纳潮为主,泵站纳潮为辅。日常情况下利用外江高潮期开闸自然纳潮,当外江枯水期自然纳潮动力不足时,利用引水泵站纳潮。

(3)保证河道补水单向流动,增强水动力效果。为了避免河道往复流,增加区域水系的水动力,需保证补水水流沿区域河道单向流动,增强水体流动,提高水质。

4.3 活水方案制定

(1)日常自然纳潮工况。根据区域周边闽江及乌龙江特征以及福州市联排联调中心整个南台岛“南引北排”的补水方针,采用潮差换水对区域进行补水,主要为南引北排,即涨潮时打开南侧乌龙江沿线的引水闸门纳潮,退潮时打开北侧闽江沿线的水闸排水,保持区域水体自南向北流动。根据区域河道参数以及区域地势,阳岐河和白湖亭河南部最高水位控制为4.7 m,常水位控制为4.3 m,北侧河道常水位控制为3.6 m。

(2)闽江潮汐动力不足,泵站补水工况。根据区域日常情况下补水水流方向情况,潮汐动力不足工况下采用新建泵站补水,补水泵站流量为4 m^3/s ,补

水方向为东引西排、南引北排。当乌龙江潮位满足泵站补水条件时打开白湖亭泵站补水,退潮时打开北侧闽江沿线的水闸排水,保持区域水体自南向北、自东向西流动。根据区域河道参数以及区域地势,白湖亭河南部常水位控制为4.9 m,北侧河道常水位控制为3.6 m。

4.4 方案模拟验证

根据活水方案进行模型模拟,计算结果见表2,流向及水位分布情况见图5、图6。潮差补水工况下,南部阳岐河闸和白湖亭河闸24 h补水总量达11.6万m³,其中阳岐河和白湖亭河南段最高水位分别达4.66 m和4.57 m,北部河道补水高水位在4.10~4.20 m,整体河道水动力表现较好,其中河道流速最高达25 cm/s。

表2 2种工况模型模拟各河道水位和流速范围

河道名称	潮差补水工况		泵站补水工况	
	水位范围/m	流速范围/(cm·s ⁻¹)	水位范围/m	流速范围/(cm·s ⁻¹)
阳岐河	4.09~4.66	0.8~11.6	3.60~-4.18	0.1~9.1
跃进河东	3.60~3.88	0.1~6.5	3.63~4.15	0.1~5.8
跃进河西	3.95~4.20	0.1~7.3	4.18~4.47	0.1~7.4
龙津河	3.60~4.23	1.2~12.2	3.60~4.58	2.3~13.4
白湖亭河	3.97~4.57	0.1~25.0	4.23~4.87	0.3~13.3
半洋亭河	3.97~4.22	0.5~4.3	4.20~4.64	0.5~2.6
龙津一支河	3.60~4.12	0.1~19.7	3.60~4.53	0.1~14.1
龙津跃进连通河	3.60~4.10	0.1~14.7	3.60~4.15	0.8~6.5
马洲河	4.33~4.64	0.1~20.0	3.87~4.54	0.1~8.4
马洲支河	4.33~4.64	0.1~3.8	3.87~4.54	0.1~2.4
吴山河	3.60~4.10	0.1~15.8	3.60~4.10	0.1~4.6
竹榄河	3.60~4.10	0.1~15.8	3.60~4.10	0.1~4.6



图5 潮差补水工况模拟成果(单位:m)



图6 泵站补水工程模拟成果(单位:m)

泵站补水工况下,白湖亭泵站24 h补水量达25.8万m³,白湖亭河南部最高水位达4.87 m,其余河道补水水位在3.6~4.5 m,区域整体河道水动力表现较好,其中流速最高达14.1 cm/s。

根据模型模拟结果可见,活水方案能够满足维持河道水量、改善区域水动力的效果。

5 结语

针对福州仓山龙津阳岐水系活水保质的迫切需求,本文经过充分论证分析,提出充分利用现有的闽江水源,结合项目水系及水工建筑物特性,在日常工况下自然纳潮补水、闽江潮汐动力不足时泵站补水的活水方案。同时本文利用MIKE 11模型构建区域河网模型,通过模型验算表明本次提出的补水方案可行可靠。

下阶段应结合运行期水质情况进一步论证补水的需水量以及细化区域泵闸等水工建筑物的调度方式,减少能耗,降低运行成本。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院公报.水污染防治行动计划[J].中国环境报,2015(12):26-37.
- [2] 胡洪营,孙艳,席劲瑛,等.城市黑臭水体治理与水质长效改善保持技术分析[J].环境保护,2015(13):28-30.
- [3] 杨羽,陈洁.补水活水在城市黑臭水体治理中的应用[J].中国水运(下半月),2018,18(3):137-138.
- [4] 梁海涛,陈国轩,黄兆玮,等.珠江三角洲河道整治与修复方法初探[J].水利规划与设计,2013(1):1-3,14.
- [5] 周宏,刘俊,刘鑫,等.MIKE 11模型在望虞河西控工程排涝计算中的应用[J].中国农村水利水电,2016(1):39-43.
- [6] 刘鑫.传统与现代水文方法相结合在水系规划中的应用研究[J].城市道桥与防洪,2019(2):113-116.