

张爱平. 超大排水系统模型构建技术与应用[J]. 净水技术, 2024, 43(4):145-151,177.

ZHANG A P. Modeling technology and application in super large drainage system[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(4): 145-151, 177.

## 超大排水系统模型构建技术与应用

张爱平\*

(上海市排水管理事务中心,上海 200001)

**摘要** 为实现白龙港排水系统的智能化诊断评估和运行调度管理,开展片区排水系统模型搭建工作。该模型建设范围以上海市白龙港污水片区服务系统为边界,包含边界内现状污水及雨水系统。鉴于现状已建系统异常复杂,为解决系统庞大、运行缓慢、无应用场景是什么意思等问题,从顶层设计出发,提出了“分系统、分片区、分主次、分时节”的“四分”建模策略,通过基础资料收集、模型构建、模型率定验证3个主要步骤,构建白龙港片区排水系统模型,并开展模型应用探索。该模型作为上海市排水运行调度管理平台模型构建的重要组成部分,结合白龙港排水系统监测监控体系完善,助力上海市排水运行调度管理平台和运行调度监控中心建设。

**关键词** 排水模型 白龙港区域 排水系统 建模 模型应用

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2024)04-0145-08

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.04.018

## Modeling Technology and Application in Super Large Drainage System

ZHANG Aiping\*

(Shanghai Drainage Management Center, Shanghai 200001, China)

**Abstract** In order to realize the intelligent diagnosis, evaluation and operation dispatching management of Bailonggang drainage system, the drainage system model of the area was built. The construction scope of the model was bounded by the service system of Bailonggang area in Shanghai, including the current wastewater and rainwater systems within the boundary. In view of the complexity of the existing system, in order to solve the problems of huge system, slow operation, and no application scenario, a "four part" modeling strategy of "subsystem, area, primary and secondary, and time division" was proposed from the top level design. Through the three main steps of basic data collection, model construction, and model calibration verification, the drainage system model of Bailonggang Area was constructed, and the model application exploration was carried out. As an important part of the construction of Shanghai drainage operation and dispatching management platform model, this model, combined with the improvement of Bailonggang drainage system monitoring and monitoring system, helps the construction of Shanghai drainage operation and dispatching management platform and operation and dispatching monitoring center.

**Keywords** drainage model Bailonggang area drainage system modeling model application

全面推进数字化转型是面向未来塑造城市核心竞争力的关键之举,是超大城市治理体系和治理能力现代化的必然要求。排水系统作为上海的安全中枢之一,是城市治理的重点,随着排水管网总量的增大和新时代排水系统功能需求的增加,原有依靠人工经验进行管理调度的难度越来越大,迫切需要通过

构建排水信息化监管平台对排水系统进行系统性、综合性治理。排水系统模型作为信息化平台的“智能中枢”,可用于初步识别系统存在问题,指导形成问题、工程、评估清单,为排水系统更新改造提供基础。此外,排水系统模型还可以用于构建如污水干线系统平稳调度、内涝预警与预案编制、放江污染控制等多应用场景,促进排水业务管理能级提升。鉴于此,项目将构建白龙港区域排水系统模型,其作为上海市排水运行调度管理平台模型构建的重要组成部分,将为上

[收稿日期] 2023-04-04

[通信作者] 张爱平(1971—),男,高级工程师,主要从事排水行业管理工作,E-mail:zapmail@yeah.net.

海市排水系统的现状评估<sup>[1-2]</sup>、洪涝灾害预测<sup>[3-4]</sup>、运行调度<sup>[5-6]</sup>和规划制定提供重要决策支持。

## 1 项目概述

### 1.1 项目范围

本项目的建设范围以上海市白龙港污水区域服务范围边界,包含边界内现状污水及雨水系统,包括但不限于检查井、管道、泵站、调蓄池、污水厂、排放口等。白龙港区域位于本市中部区域,其服务范围北至竹园区域南侧边界,西至闵行区界,南为闵行

区界及杭州湾区域北侧边界,东至长江,服务面积约为 1 075 km<sup>2</sup>,涉及黄浦、静安(南片)、徐汇、长宁、闵行、浦东及青浦(徐泾东部区域)7 个区。

### 1.2 污水系统

如图 1 所示,白龙港区域目前已形成“二片、二厂、三线”污水处理格局。“二片”指白龙港污水处理厂污水片和虹桥污水处理厂污水片,“二厂”指白龙港污水处理厂和虹桥污水处理厂,“三线”指污水二期中线、南干线、污水二期南线三条污水干线。

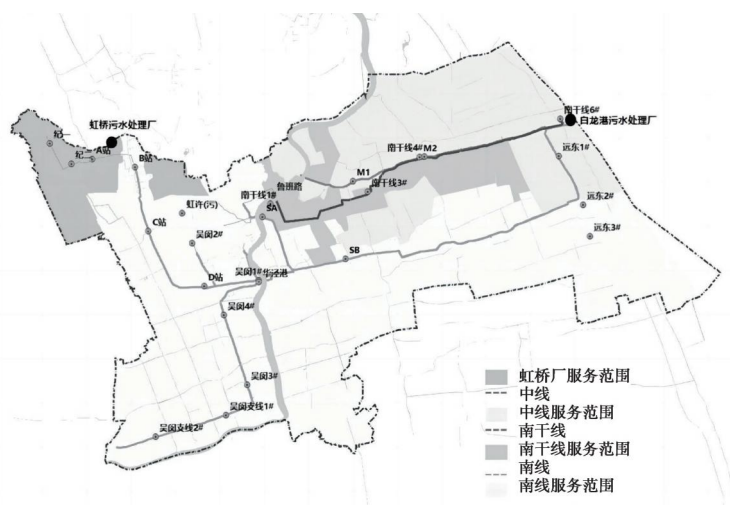


图 1 白龙港区域污水系统

Fig. 1 Wastewater System of Bailonggang Area

#### 1.2.1 “二片”

白龙港区域“二片”总服务面积为 1 075 km<sup>2</sup>。其中,虹桥厂及其收集系统服务虹桥污水处理厂片,服务面积为 67 km<sup>2</sup>。现状白龙港污水处理厂和规划白龙港第二污水处理厂及其收集系统主要服务白龙港污水处理厂片,服务面积为 1 008 km<sup>2</sup>。

#### 1.2.2 “二厂”

##### (1) 白龙港污水处理厂

白龙港污水处理厂规划设计规模为 350 万 m<sup>3</sup>/d, 近期总规模为 280 万 m<sup>3</sup>/d,出水执行一级 A 排放标准,另外包括应急处理设施(采用一级强化处理工艺)。近年来,白龙港污水处理厂超负荷运行情况较为严重,其中 2020 年平均处理水量为 311.34 万 m<sup>3</sup>/d,2021 年平均进厂水量为 323.4 万 m<sup>3</sup>/d。

##### (2) 虹桥污水处理厂

虹桥污水处理厂设计规模为 20 万 m<sup>3</sup>/d,出水执行一级 A 以上排放标准,另外包括容积 5 万 m<sup>3</sup>/d 的污水调蓄池 1 座。近年来,虹桥污水处理厂处理

水量较为平稳,其中 2020 年平均处理水量为 20.32 万 m<sup>3</sup>/d,2021 年平均处理水量为 20.32 万 m<sup>3</sup>/d。

#### 1.2.3 “三线”

##### (1) 中线

中线浦西段收集黄浦区合流污水,浦西总管过黄浦江后沿龙阳路,龙东大道、奚阳公路向东至白龙港污水处理厂,沿途有 M1、M2 两座中途泵站。

##### (2) 南干线

南干线主要节点泵站为南干线 1#、3#、4#、5#和 6#泵站,主要过江管有 1 根。南干线自日晖港起,穿越黄浦江,向东横贯川沙县全境,至长江口南岸的川沙白龙港。由于南干线建设年代久远、应急抢险事件频发,目前正在对南干线 3#~6#泵站间的干线管线实施搬迁改建。

##### (3) 南线

南线总管服务范围涉及徐汇区、闵行区、长宁区和浦东新区中部地区。主要节点泵站为 SA 泵站、吴闵 1# 泵站、华泾港泵站及 SB 泵站,主要过江管有 3 根。

### 1.3 雨水系统

如图2所示,白龙港污水系统范围内涉及到的雨水排水系统共计188个,其中雨水强排系统有177个,合流制强排系统为11个。目前区域

内部分雨水系统正处于改造、建设期,预计至2035年,区域内将建成197个雨水排水系统,其中雨水强排系统增至186个,合流制强排系统为11个。

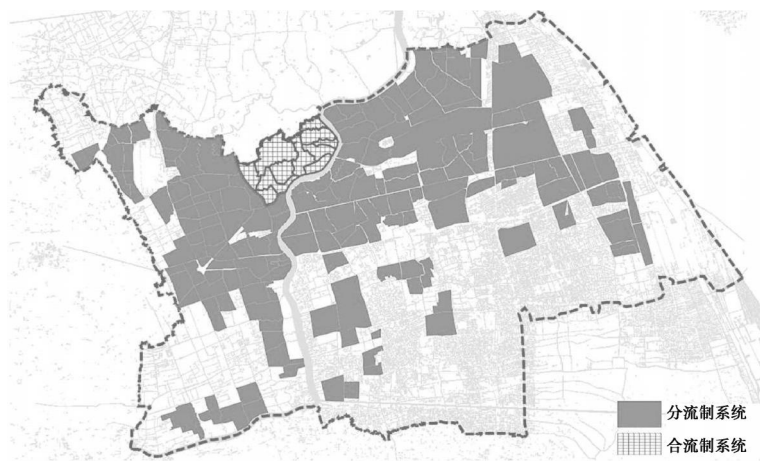


图2 白龙港区域雨水系统图

Fig. 2 Rainwater System of Bailonggang Area

## 2 模型构建思路

### 2.1 项目模拟软件

采用 InfoWorks ICM 11.0 进行上海市中心城区(白龙港区域)排水模型的建模与分析工作, InfoWorks ICM 是综合的城市排水、流域及海绵城市一体化模型系统,能够模拟树状管网和环状管网、重力流和压力流不同流态;上海常用管道断面形状、材料、粗糙系数、坡度;调蓄池、溢流、截留管道以及泵站、堰等附属构筑物的水流状况;能以图形、表格、动态专题图等多种形式展示排水系统管道负荷状态、系统积水冒溢等模拟结果。

### 2.2 项目顶层设计

根据项目要求,本次排水模型的建立过程中不做模型概化,保留 GIS 系统中的所有检查井以及管道数据。而上海市白龙港区域现状已建排水系统异常复杂,其中污水及合流管网约为 3 825 km,雨水管网约为 4 954 km,检查井数目超过 33 万个。为解决系统庞大、运行缓慢、无应用场景等问题,项目组从顶层设计出发,提出了“四分”思路,即“分系统、分片区、分主次、分时节”。

#### (1)分系统

分系统是指区分雨、污水系统,对两者分别建模(合流制地区则建立一套管网,考虑旱天及雨天情况),而雨水系统中的截流污水通过截流泵与污水

系统进行关联(暂不考虑管网存在的局部雨污混接)。

#### (2)分片区

在污水系统中,将污水系统首先拆分为虹桥污水厂服务片区及白龙港污水厂服务片区,然后在白龙港污水厂服务片区中又根据 3 条干线划分其相关支线服务片区,为后续主干模型与支线模型的区分提供基础,并保障建模范围全覆盖、无遗漏。

在雨水系统中,则根据现有的雨水片区进行划分,对每个雨水片区分别进行建模与率定验证,针对有连通的雨水系统,则考虑联合建模。

#### (3)分主次

对模型进行一、二级分类,其中一级模型为污水主干模型,包含污水系统主干以及泵站等相应设施。二级模型为雨污水(含合流制)的排水分区,包含支线、主管等所有市政管道。

#### (4)分时节

上海市排水系统运行受旱季、雨季影响较大,因此,在运行数据应用及率定过程中,区分旱季、雨季,并提出不同率定要求。

### 2.3 技术路线

基于上海市排水设施 GIS 数据库,本项目排水系统模型构建的技术路线如图 3 所示。在对上海市中心城区开展基础信息调研,在获取社会经济、排水

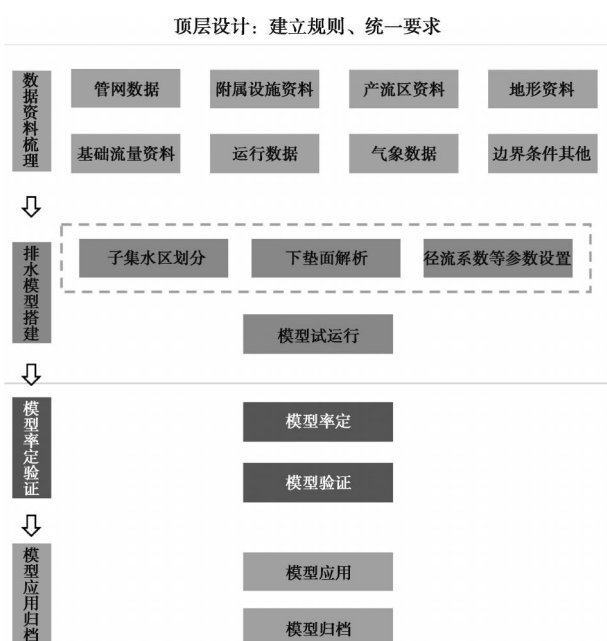


图 3 排水模型构建技术路线

Fig. 3 Technical Route of Drainage Modeling

系统、地形水文、排水设施监测数据的基础上,根据建模类型与层级,输入/导入排水管网、泵站、汇水区下垫面等数据,设置模型初始参数,开展模型构建工

作。随后测试不同输入条件下模型的收敛性,确保所构建的模型数值稳定。现状模型需要整理用于模型率定验证的旱天和雨天实测调查数据,通过率定验证合理识别模型参数。结合系统特性和已有监测站点分布情况,选择合适的率定点位;必要时,补充开展临时流量监测。最终可使用模型开展规划方案论证、风险评估、内涝预报预警、排水运行调度等应用。

### 3 模型数据资料

#### 3.1 数据调查与收集

根据项目要求,调查、收集模型构建所需的数据及资料,如表 1 所示,主要包括基础地理数据、监测/预报数据、设施数据以及业务数据<sup>[7]</sup>。

#### 3.2 数据录入与整理

根据 GIS、物探、竣工资料,将检查井和管网数据,包括检查井高程、编号,以及管道管底标高、管径、材质、系统类型等,导入模型网络中;根据管材、管龄分类设置管渠曼宁粗糙系数初始值;根据水力连接情况,合理设置局部水头损失,并结合模型率定调整。管渠淤积严重的,模拟时考虑淤积深度对断面的影响。

表 1 基础数据收集  
Tab. 1 Basic Data Collection

数据类型	数据名称	数据要求	数据来源	数据格式
基础地理数据	现状地形	精度不低于 5 m×5 m,用于生成二维三角网格与检查井地面高程复核	当地勘测院	DEM
	现状土地用途或者现状下垫面数据	至少包含道路、屋顶、绿地 3 类属性	当地测绘院	SHP
	河道数据	包含河道桩号以及河道断面属性	当地水利院	CAD、SHP
监测/预报数据	降雨数据	间隔步长 5 min	当地气象局	Oracle、Access、Excel
	设施监测数据	间隔步长 5 min	行业运维单位	Oracle、Access、Excel
	管网监测数据	间隔步长 5 min	行业运维单位	Oracle、Access、Excel
	河道水位数据	间隔步长 5 min	当地水利院	Oracle、Access、Excel
设施数据	现状雨水、污水(含合流)管网数据	需要包含管道管径、上下游底高程等关键信息	行业数据库	SHP
	现状雨、污(含合流)水泵站设计、设施设备资料	需要包含泵站的泵机个数、泵机的流量等数据	设计图纸、运行方案等	CAD、SHP
	现状雨水排口情况	明确排口位置和排口与管道连接情况	设计图纸	CAD、SHP
业务数据	人口/供水数据	用于污水量估算	当地规划院	Excel
	历史积水点记录	用于内涝模型率定验证	行业运维单位	CAD、SHP
	管道沉积物数据	用于管道沉积物的模拟	行业运维单位	CAD、SHP
	管网雨污混接调查数据	用于雨污水混接模拟	行业运维单位	CAD、SHP

合理概化泵站、调蓄池、污水处理厂等排水设施,并根据设计资料、正确设置其空间位置及物理参数。根据调度方案及历史运行记录,合理设置设施中的各类控制对象,如检查井、管道、闸门、格栅、水泵等。

### 3.3 拓扑关系问题核查

采用可获得的最新资料模拟排水管网,并对其中的信息及拓扑关系进行核查。根据经验,管道系统数据或多或少存在一些问题,主要包括以下9类:信息缺失、标高存疑、倒虹存疑、管径存疑、管道连接性存疑、排口存疑、泵站存疑、孤立管道复核和孤立管道删除。

## 4 模型构建与试运行

### 4.1 雨水模型构建

白龙港区域雨水系统集水区的划分原则是根据原有的雨水片区,结合河道、地形和已建管道拓扑等,通过泰森的方法进行精细化的子集水区划分工作,整个白龙港区域最终划分超过15万个子集水区。对区域内15万个子集水区进行下垫面批量提取工作,将其分为道路、建筑物、植被、水系、道路铺装以及其他6类。雨水模型的产流模型根据提取的6种下垫面属性分成固定径流系统(Fixed)与霍顿产流(Horton)。汇流模型统一采用城市经典的SWMM汇流模型<sup>[8]</sup>。

模型采用的降雨主要为上海市实测降雨与设计降雨;河道水位数据为白龙港区域河道常水位数据;雨水泵站运行设置主要是将雨水泵站的历史运行数据清洗成5 min等步长的运行数据通过RTC regulator导入模型作为泵站启闭的边界条件。

模型试运行主要是通过采用不同重现期的降雨时间来评估模型运行的鲁棒性以及积水范围的合理性。项目针对各雨水片区分别在1年1遇、5年1遇以及50年1遇的降雨条件下进行模拟,查看模型运行的稳定性,同步评估模拟产生的积水点合理性(包括积水深度、相邻检查井冒溢情况),并与现有积水点资料进行对比。

### 4.2 污水模型构建

通过问题识别、反馈、复核、更新机制,全面梳理白龙港区域污水管网家底,最终形成包括3条干线、72条泵排支线、133条重力支线在内的白龙港区域污水系统拓扑关系图。考虑到模型响应速度及后期污水模型的应用场景,将污水排水模型分为两大组

成部分:污水主干模型以及污水支线模型。

#### (1) 污水干线模型

白龙港系统过于复杂,污水主干管道总长度超过180 km,因此,采用分段梳理、分段建立、分段验证的思路,即从白龙港污水厂出发,根据主干节点泵站逐步向上游拓展,最终完成白龙港系统整体污水主干模型的建立。其中,第一阶段建设范围为M2/SB至白龙港污水处理厂;第二阶段建设范围为M1/华泾港/吴闵一至白龙港污水处理厂;第三阶段为纪一泵站至白龙港污水处理厂,即全流程模拟。

将建立的第四阶段白龙港污水主干模型进行2022年度的模拟。其中,白龙港污水处理厂全年模拟水量为10.9亿m<sup>3</sup>,进厂水量为11.1亿m<sup>3</sup>,全年总水量误差为1.8%,选取典型旱天、小雨、大雨工况进行率定,纳什系数分别为0.86、0.83、0.83;虹桥污水处理厂全年模拟水量为8099万m<sup>3</sup>,进厂水量为8186万m<sup>3</sup>,全年总水量误差约为1.1%,同样选取典型旱天、小雨、大雨工况进行率定,纳什系数分别为0.61、0.51、0.51。

#### (2) 污水支线模型

根据白龙港污水系统拓扑关系图,完成支线及相关泵站污水输送量及配泵能力梳理,并开展污水支线建模工作。其中:生活污水的输入主要由居民生活污水量以及居民污水曲线两部分组成;地下水入渗量来自实际调研及测算数据;污水泵站的运行设置主要是将污水泵站的历史运行数据清洗成5 min等步长的运行数据通过RTC regulator导入模型作为泵站启闭的边界条件。

针对所有污水支线进行试运行测试,确保污水支线可以正常运行。

## 5 模型应用

### 5.1 辅助雨水系统全生命周期管理

通过排水模型形成“问题清单、工程清单、评估清单”,为雨水系统更新改造提供基础。其中,“问题清单”为利用模型识别、预测城市雨水系统现状瓶颈及其可能产生的问题及风险;“工程清单”为利用模型为工程新建或改造提供可行、高效方案,并可辅助确定区域性工程开展时序;“评估清单”为利用模型对工程方案实施前后的效果进行预评价和后评估,确定其成效并辅助提供运行策略。通过3张清单,方便业主单位或者主管部门进行区域级甚至是

市域级的雨水系统全生命周期管理。

以白龙港区域肇家浜与小木桥雨水系统为例进行说明。在模型构建的基础上,为了保障模型的可用性及准确性,将肇家浜泵站前池液位作为率定点位,选取两场典型降雨对片区雨水模型进行率定验证,其中降雨 I (大雨,12 h 降雨量为 15~29.9 mm) 的纳什系数为 0.72,降雨 II (中雨,12 h 降雨量为 5~14.9 mm) 纳什系数为 0.69。

在确定模型可用的情况下,采用不同的降雨事件,评估现状雨水系统在不同降雨工况下的最大积水深度、积水面积以及非建筑物积水面积占比,如图 4(a) 所示。此外,还可对雨水系统目前所在风险等级及系统改造后的风险等级变化进行评估及对比,如图 4(b) 所示。高风险地区主要出现在肇家浜系统北部、西部系统末端处及地势低洼处。通过模拟工程改造后情景可知,高风险区域明显减少,尤其针对 100 年 1 遇及郑州 7·20 降雨,风险等级明显降低。在本模型中风险等级以积水深度与积水时间为依据,其中:低风险指积水深度在 0.15~0.25 m 且积水时间在 0~30 min;中风险指积水深度在 0.25~0.50 m 且积水时间在 0~30 min,或积水深度在 0.15~0.25 m 且积水时间超过 30 min;高风险指积水深度在 0.25~0.50 m 且积水时间超过 30 min,或积水深度>0.5 m 且积水时间>0。

## 5.2 污水系统旱天平稳输送

在不新建或改扩建任何设施的基础上,为降低白龙港污水处理厂应急处理设施运行量和启用天数,对其运行调度策略进行研究。建立白龙港污水处理厂主干模型,根据接入干线泵站的逐 5 min 启闭数据、旱天日均流量等信息对旱天进行模拟,以期干线接入泵站的运行策略提供指导。为便于各行政区管理与协调,将各接入主干泵站划分至各行政区进行综合控制,当各行政区采取表 2 的流量控制方案,可在保障系统不冒溢的基础上,白龙港污水处理厂的流量不超过 35 m<sup>3</sup>/s。

应用模型模拟的各行政区流量控制方案运行,2022 年白龙港厂生物处理量为 297.3 万 m<sup>3</sup>/d,比 2021 年增长 1.8%;应急设施运行量比 2021 年减少 48.2%,启用天数降低 26.7%。

为保障模拟的合理性,对白龙港污水处理厂主干模型进行率定验证。2021 年的全年模拟水量 11.42 亿 m<sup>3</sup>,实际进厂水量为 11.63 亿 m<sup>3</sup>,全年总

水量误差为 1.8%;2022 年的全年模拟水量 10.93 亿 m<sup>3</sup>,实际进厂水量为 11.16 亿 m<sup>3</sup>,全年总水量误差约为 2.1%。此外,选取典型旱天进行率定,其纳什系数基本大于 0.8,且模拟峰值流量相对误差不超过 8%。

## 6 总结与建议

### 6.1 总结

本项目主要工作内容包括构建白龙港污水区域的污水和雨水排水系统模型,主要取得如下成果。

(1)全面收集与整理模型相关数据:根据建模需求,针对基础数据梳理出 4 种数据类型以及 14 种重要原始数据,并按照用途对其进行相应处理(含多源数据匹配以及数据格式统一)与清洗(含异常数据识别及处理),使其在应用过程中正确且可靠。

(2)梳理管网拓扑关系初见成效:获得白龙港区域内雨水、污水、合流制管道、检查井 GIS 数据资料,在对其进行标准化处理(本次工作主要为坐标转化及矫正)后,并对其完整性及拓扑关系合理性(主要包括:连接性错误、标高缺失、管道缺失、倒坡等)进行核查,对存在问题进行核实、处理与记录。

(3)高标准建模确保模型能用且好用:分级分类建立白龙港区域排水模型,建立白龙港污水主干模型,2022 年白龙港污水处理厂全年总水量误差为 1.8%,选取典型旱天、小雨、大雨工况进行率定,纳什系数分别为 0.86、0.83、0.83;虹桥污水处理厂全年总水量误差约为 1.1%,同样选取典型旱天、小雨、大雨工况进行率定,纳什系数分别为 0.61、0.51、0.51。此外,针对一些重点雨水片区开展了较为严格的率定验证(含流量过程纳什系数及峰值流量及峰现时间验证),亦能保障较好的模型精度。

(4)模型边建边用初现智慧核心价值:目前排水模型在雨水系统评估及污水系统调度中开展了尝试性应用并取得了一定的成效,为后续模型应用场景的构建提供了思路 and 基础。

### 6.2 建议

(1)模型需长期更新维护:目前白龙港区域雨水污水系统存在大量更新改造工程,因此,存在部分基础数据不新不全的问题,需迭代更新行业数据库与模型网络,保障模型长期稳定有效。

(2)模型应用场景仍需拓展:目前已将模型应用于系统评估、风险预测等方面,但与建设预期中的

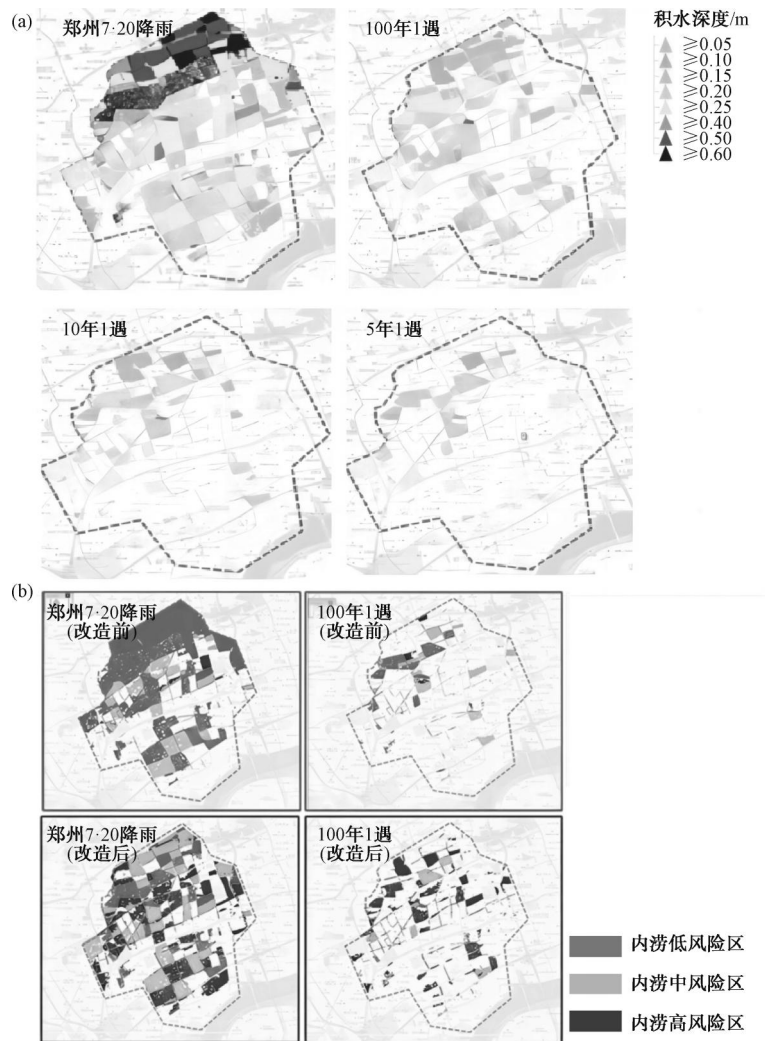


图4 模型辅助雨水系统全生命周期管理

Fig. 4 Full Lifecycle Management of Model Auxiliary Rainwater System

表2 各行政区流量控制方案

Tab. 2 Flow Control Scheme for Each Administrative Region

污水处理厂	行政区/总计	旱天流量/( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	建议流量/( $m^3 \cdot s^{-1}$ )
白龙港污水处理厂	黄浦区	1.77	<1.80
	闵行区+长宁区	12.90	<13.00
	浦东新区	14.52	<14.6
	徐汇区	5.08	<5.20
	总计	34.27	<34.6

使用目标仍有差距,因此在后续排水模型应用中需进一步根据使用场景对模型进行深化,保障其发挥城市排水系统治理“核心大脑”的功能。

参考文献

[ 1 ] 何黎. 基于 InfoWorks ICM-2D 耦合模型的上海某片区排水系

统排水能力分析[J]. 中国市政工程, 2021(4): 36-40, 107.  
HE L. Analysis of drainage capacity of drainage system in some area of Shanghai based on InfoWorks ICM-2D coupling model [J]. China Municipal Engineering, 2021(4): 36-40, 107.

[ 2 ] 杨严, 彭海琴. 城市排水系统内涝风险评估[J]. 净水技术, 2018, 37(8): 116-121.

(下转第 177 页)

臭效果。对于污泥输送机等设备密封采用有机玻璃钢罩密封,对脱水机房等产生臭气的车间采取全车间抽吸收集臭气。

### 参考文献

- [ 1 ] 李晴晴, 杨彦, 席欢, 等. 化学沉淀法处理高盐含磷废水[J]. 环境工程, 2022, 40(5): 31-36.  
LI Q Q, YANG Y, XI H, et al. Treatment of high-salinity phosphate-containing wastewater by chemical precipitation method [J]. Environmental Engineering, 2022, 40(5): 31-36.
- [ 2 ] 梁宏, 陈英燕, 张开彬, 等. 磁性-化学沉淀复合试剂处理含磷废水研究[J]. 工业水处理, 2021, 41(3): 93-98.  
LIANG H, CHEN Y Y, ZHANG K B, et al. Treatment of phosphorus wastewater by magnetic-chemical precipitation compound reagent [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(3): 93-98.
- [ 3 ] 卢永, 冯向文, 汪林, 等. 化学沉淀-纳米吸附工艺深度处理含氟废水[J]. 工业水处理, 2022, 42(7): 75-79.  
LU Y, FENG X W, WANG L, et al. Advanced treatment of fluoride wastewater by chemical precipitation & nano material adsorption [J]. Industrial Water Treatment, 2022, 42(7): 75-79.
- [ 4 ] 张钰卿, 刘佳, 许兵, 等. 含氟废水处理中的除氟吸附技术研究进展[J]. 净水技术, 2022, 41(5): 23-29, 61.  
ZHANG Y Q, LIU J, XU B, et al. Research progress of adsorption technology for defluorination in fluoride-containing wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(5): 23-29, 61.
- [ 5 ] 王磊. 水环境敏感地区大型微电子园区废水处理工程实例[J]. 工业水处理, 2023, 43(7): 202-206.  
WANG L. Wastewater treatment project in large-scale microelectronics industrial zone in water environment sensitive areas [J]. Industrial Water Treatment, 2023, 43(7): 202-206.
- [ 6 ] 陈浩, 杨斌, 乔琪. 高级氧化工艺预处理乙腈生产废水[J]. 净水技术, 2023, 42(s1): 194-199.  
CHEN H, YANG B, QIAO Q. Pretreatment of acetonitrile production wastewater by AOPs [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(s1): 194-199.
- [ 7 ] 陈秀成. 地下式污水处理厂用地指标分析及节地设计方向[J]. 中国给水排水, 2023, 39(4): 53-58.  
CHEN X C. Analysis of land quota and land conservation design direction of underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(4): 53-58.
- [ 8 ] 刘巨波. 污水处理厂臭氧处理系统的设计要点[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 13-18.  
LIU J B. Design key points of ozone treatment system in WWTPs [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 13-18.
- [ 9 ] 周波, 顾凤. 地下式污水处理厂改造工程中除臭系统设计经验总结[J]. 净水技术, 2023, 42(s1): 303-311.  
ZHOU B, GU F. Summary of experience in the design of deodorization system for underground WWTP reconstruction project [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(s1): 303-311.
- (上接第 151 页)
- YANG Y, PENG H Q. Assessment of waterlogging risk for urban drainage system [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(8): 116-121.
- [ 3 ] 时珍宝, 谭琼. 基于水力模型的排水系统防涝应急调度预案制定[J]. 中国给水排水, 2020, 36(15): 93-99.  
SHI Z B, TAN Q. Formulation of emergency dispatching plan for waterlogging prevention of drainage system based on hydraulic model [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(15): 93-99.
- [ 4 ] 黄国如, 王欣, 黄维. 基于 InfoWorks ICM 模型的城市暴雨内涝模拟[J]. 水电能源科学, 2017, 35(2): 66-70, 60.  
HUANG G R, WANG X, HUANG W. Simulation of rainstorm water logging in urban area based on InfoWorks ICM model [J]. Water Resources and Power, 2017, 35(2): 66-70, 60.
- [ 5 ] 彭海琴, 张留臻. 上海污水干线总管网络模型构建与调度研究[J]. 城市道桥与防洪, 2020(1): 143-146, 158.  
PENG H Q, ZHANG L Y. Study on construction and operation of sewage main network model in Shanghai [J]. Urban Roads and Bridges and Flood Control, 2020(1): 143-146, 158.
- [ 6 ] 宋瑞宁, 郭毅, 徐巍, 等. InfoWorks ICM 模型在污水管网运营管理中的应用[J]. 给水排水, 2022, 58(s1): 401-405.  
SONG R N, GUO Y, XU W, et al. Application on sewage pipe network operation management with InfoWorks ICM [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 58(s1): 401-405.
- [ 7 ] 王浩正, 冯宇, 孙文超, 等. 城市排水系统模型综述[J]. 中国给水排水, 2021, 37(22): 1-10.  
WANG H Z, FENG Y, SUN W C, et al. Review of urban drainage system models [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(22): 1-10.
- [ 8 ] 陈晓燕, 张娜, 吴芳芳, 等. 雨洪管理模型 SWMM 的原理、参数和应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 4-7.  
CHEN X Y, ZHANG N, WU F F, et al. Stormwater management model (SWMM): Principles, parameters and applications [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(4): 4-7.