

大家之言

谭琼. 《排水系统数学模型构建及应用标准》解读[J]. 净水技术, 2024, 43(2): 1-6, 134.

TAN Q. Interpretation of *Standard for Construction and Application of Urban Drainage Model* [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(2): 1-6, 134.

《排水系统数学模型构建及应用标准》解读

谭 琼*

(上海市水务规划设计研究院, 上海 200233)

摘 要 为规范上海市新一轮排水规划编制、排水系统“厂、站、网”一体化运行监管平台建设、水务行业数字化转型升级等相关工作中排水模型的构建和应用,上海市住房和城乡建设管理委员会组织编制了《排水系统数学模型建立及应用标准》。文章对该地方标准的制定和基本规定、数据收集与处理、模型构建与测试、模型率定与验证、模型评价与验收、模型应用与维护等关键点进行了解读。

关键词 排水系统 数学模型 模型构建和应用 模型标准 模型评价

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2024)02-0001-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.02.001

Interpretation of *Standard for Construction and Application of Urban Drainage Model*

TAN Qiong*

(Shanghai Water Planning and Design Research Institute, Shanghai 200233)

Abstract To standardize the construction and application of drainage models in the drainage planning, the construction of an integrated operation and supervision platform for the drainage system, and the digital transformation and upgrading of the water industry in Shanghai, *Standard for Construction and Application of Urban Drainage Model* is compiled by Shanghai Housing Urban-Rural Development Administration. This paper interprets key points including the development and basic regulations of the standard, data collection and processing, model assessment and testing, model calibration and validation, model evaluation and acceptance, and model application and maintenance.

Keywords drainage system mathematical model model construction and application model standard model assessment



谭琼,工学博士,高级工程师,现任上海市水务规划设计研究院供排水规划设计所副所长,IWA 国际水协数字水务专业委员会中国分会常委,先后获得住建部先进工作者、全国巾帼建功标兵等荣誉称号。长期从事智慧水务、城市防汛安全、水环境治理等领域规划研究工作,先后主持或作为骨干参与国家重大水专项、上海市科委等重大科研项目 20 多项。主编地方标准 1 部,参编地方标准 1 部,在核心期刊作为第一作者发表论文 20 余篇,获发明专利 2 项,软件著作权 9 项。曾获上海市科学技术进步奖二等奖、上海市水务海洋科技进步奖、全国及上海优秀工程咨询成果奖等 20 多项。

《室外排水设计标准》等规范规定在排水管道

设计中应引入排水系统模型进行设计校核^[1-2]。水利部关于推进智慧水利建设的指导意见和实施方案指出,要加快构建具有预报、预警、预演、预案(简称“四预”)功能的智慧水利体系。上海市水务局出台了《上海市水务海洋行业城市数字化转型实施意见》《关于开展排水系统“厂、站、网”一体化运行监

[收稿日期] 2023-09-23

[基金项目] 上海市科委项目(21DZ1202602);上海市水务局科研项目(沪水科 2022-13)

[通信作者] 谭琼(1980—),女,高级工程师,研究方向为城市水模型,E-mail:tanq20@163.com。

管平台建设的实施意见》和《关于推进上海市雨水排水系统提标工作的意见》等文件。加快制定本行业数字化转型所需的标准规范,并推进上海市城镇化地区排水模型的高质量构建和应用必要且迫切。

排水系统数学模型是排水智慧化模拟的核心技术,在国际上已有数十年的发展。由于模型专业性较强,涉及参数众多,缺少规范引领将对模型的应用效果乃至决策质量产生较大影响。但由于水情、雨情、人口密度、污染、开发强度、空间利用等差异,国外相关标准不能在上海照搬。2021年4月,根据上海市住房和城乡建设管理委员会《关于印发〈2021年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划〉的通知》(沪建标定〔2020〕771号)的要求,上海市水务规划设计研究院联合上海市排水管理事务中心等7家单位共同开展了地方标准的编制,经两年的反复研究讨论、征询意见、修改完善,完成了《排水系统数学模型构建及应用标准》(DG/TJ 08-2430—2023),并经上海市住房和城乡建设管理委员会组织审查,于2023年7月批准发布。

1 标准基本规定

1.1 标准适用范围

本标准适用于上海市城镇排水系统的规划、设计、运行、维护、调度、评估和管理,以及内涝防治与水环境治理等过程中涉及的排水系统数学模型的构建和应用。考虑到现阶段上海市模型技术发展成熟程度,本标准技术内容以排水系统数学模型的水文水力机理模型为主,不对水质模型进行规范。

1.2 模型分类分级

划分模型层级的目的是确定模型对排水设施的概化程度,明确各层级模型包含的设施对象。根据上海市污水集中外排为主、分散为辅,平原河网强排、自排结合,水利分片治理的格局,结合国内外规范调研和上海市已建模型经验,本标准将上海市排水系统数学模型划分为3个层级。从一级到三级模型,聚焦的设施服务范围逐步缩小,模型对象的详细程度逐步增加。一级模型为大尺度,包含模拟对象数量相对较少,以主干与次干污水管、雨水主干管渠、相关泵站、污水厂为主,常用于市级、污水干线系统或战略规划阶段模拟分析;二级模型为中等尺度,一般包含所有市政管道、检查井和相关排水设施,常用于排水系统尺度的评估、精细化模拟与辅助决策;

三级模型为小尺度,细化到街坊、厂区、园区、下立交、地道等内部排水管道和泵站,用于针对特定区域的详细评估与设计方案验证。

此外,结合业务场景需求,规定了模型构建类别——根据建模对象排水体制,分为污水、雨水、合流三大类型;按建模对象设施所处建设阶段,排水模型分为现状、规划两类;按模拟计算输入边界数据的实时性,排水模型分为离线、实时两种。

一个模型中可根据实际情况,包含单一或多种类型/层级模型的灵活组合。在模型构建工作中,还要充分考虑服务区域范围,形成片区、行政区、排水系统的体系架构。

1.3 模拟方式

标准规定排水管渠、河道模拟应采用一维模型,地表积水模拟可在一维管渠模型基础上耦合二维地表漫流模型或耦合一维地表漫流模型。精度要求不高的快速评估阶段,可采取地表二维漫流模拟。易涝区分析和整改、内涝风险评估类项目宜结合数字地面高程模型,构建一维管渠与二维地表漫流耦合模型。

1.4 建模范围

模型范围不应小于排水系统规划服务区域,应根据研究区域范围、应用需求及模型类型,确定建模范围的汇水区边界和管渠、泵站等排水设施。

建模汇水区边界应结合区域地形、用地分类、地面汇流路径、管网坡向、相邻系统连通性等情况确定。上海市排水系统存在较多边界管道相互连通的情况,如建模时根据系统设计边界直接截断,难以全面反映相邻系统间的流量交换和外界水位的影响。因此,经分析评估有必要的,建模汇水区边界范围应在目标排水系统范围基础上适当扩大。

二级模型是排水系统尺度的常用模型,本标准结合了近年建模实践、上海市排水行业地理信息系统(GIS)数据库建设现状及模型维护需求,规定二级模型宜保留与排水行业GIS数据库相同的管网设施密度与管径范围,在不对模拟结果产生明显影响时,可适当简化部分支管,但不应简化地势低洼易涝区的检查井和管渠。

管网河网约束作用明显的自排区、风暴潮洪多碰头条件下的城市内涝分析等情况,宜构建管网-河网一体化排水模型,充分反映河网与管网之间的动态耦合关系。

1.5 基本流程

建模基本流程宜包括:建模类型与范围确定、基

础数据收集与处理、模型构建与测试、模型率定与验证、模型评价与验收、模型应用与维护,如图 1 所示。

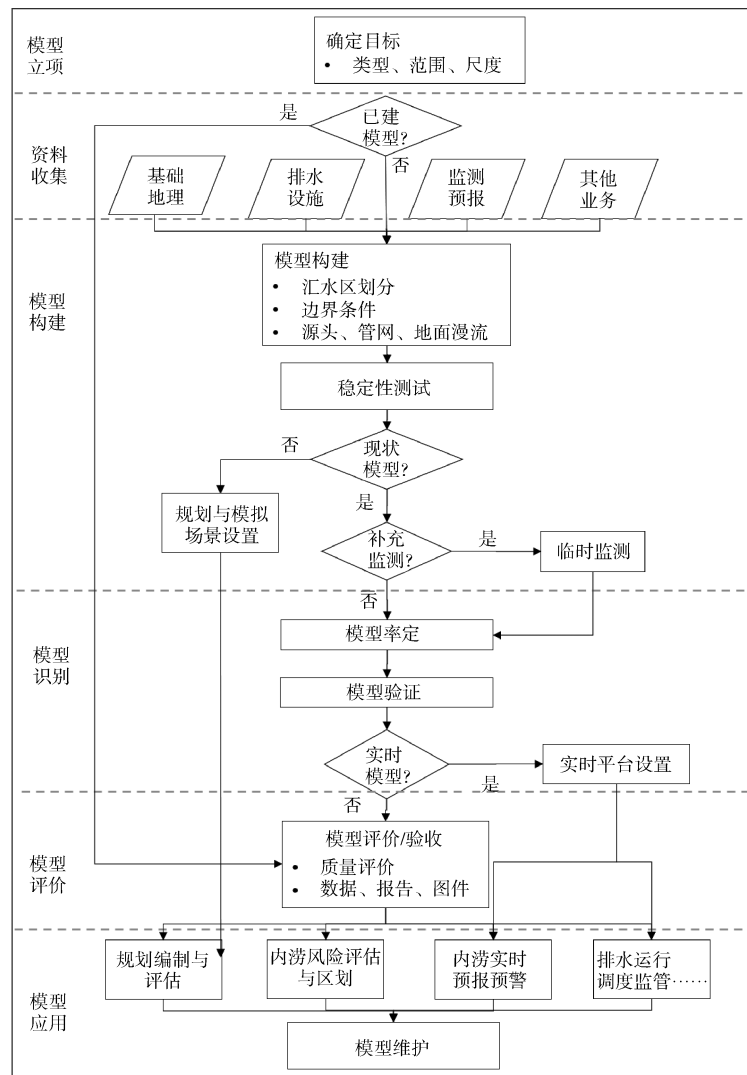


图 1 排水模型构建及应用流程

Fig. 1 Drainage Construction and Application Process

2 数据收集与处理

2.1 一般规定

数据是建模的必要前提,应依据模型类型,通过资料收集、现场调查、监测和测量等手段,获取基础地理数据、设施数据、监测/预报数据和业务数据 4 类基础资料。对建模数据进行标准化处理,还需对数据的完整性和准确性进行校核。

2.2 4 类数据

地理数据:应利用影像图、基础地形图、数字高程模型等基础地理数据进行模型对象的空间定位、土壤类型、土地利用、地形地貌分析和汇水范围划

分。构建规划模型时还应收集地区控制性详细规划,包括人口、用地、竖向地形、产业分布、市政设施、道路交通、河流水系、海绵城市等城市规划和水务规划空间数据集,用于规划雨污水量预测、规划排水设施布局与规模确定、规划工程效益评估。地形图比例尺中心城区不宜低于 1:500,数字高程模型分辨率宜为 2~30 m。当不同来源数据的平面坐标和高程系统不一致时,应按上海市现行通用坐标系和高程系统进行坐标与高程的转换或校正。

设施数据:宜优先利用排水设施 GIS,必要时开展现场探测,获取各类设施空间数据和属性数据。

GIS 数据一般依据竣工图输入,其尺寸、标高应当反映设施建设的最终情况,但随着设施运行可能出现沉降等变化,同一对象在原始设计图纸、GIS 库、CCTV 检测、物探报告中的属性信息可能不一致,这时应该进行合理甄别使用。各设施对象应设置主关键字段,并在关联设施对象的属性列表中正确对应。

监测数据:宜收集降雨、蒸发、流量、潮(水)位、积水深度、泵机状态、闸门状态等时间序列监测数据开展模型计算和率定验证。应分别调查雨量、水位、泵闸状态等实时监测情况,以及预报降雨、潮(水)位、流量等实时预报情况,连接多源时空数据库。应检查监测数据合理性、一致性,并对异常值进行修正。

业务数据:包括排水设施的生产运行方案、调度细则等业务数据,用于辅助制定模型中相关设施的调度规则;排水系统易涝区、历史积水记录、灾害突发事件等业务数据及同步降雨、潮(水)位、设施运行数据,用于系统诊断与重演验证;排水系统管道检测修复、养护清淤、雨污混接调查、外水分析等业务数据,作为模型水力计算参数设置参考因素等。应建立与相关设施的拓扑对应关系,核查空间位置是否准确,对问题进行核实处理并记录。

3 模型构建与测试

模型构建与测试是建模工作的重要环节,涉及软件选择、降雨与水位、水量、源头设施、管网设施、地面漫流、计算测试和实时平台搭建各环节的模拟概化方法和技术要求。

3.1 软件要求

建模软件的选择,应结合应用目标、模型类型、排水管网规模、体量和对象类型等因素确定;软件性

能主要考虑可模拟规模、流态、维度、河道耦合度、计算性能、软件界面友好性和完善度等。

3.2 降雨潮(水)位

考虑到城市化地区降雨时间空间分布不均和上海市每一个排水泵站基本具备降雨监测记录的现状,规定采用历史实测降雨或设计降雨开展雨水径流模拟时,应考虑降雨空间变化,合理设置参与计算的雨量过程数量。采用历史降雨模拟时,采用的过程降雨分布及数量宜与研究排水区域内已建雨量站密度保持一致。设计雨型应根据项目研究目标确定,可按上海市地方标准选取短历时设计雨型或长历时设计雨型^[3-4]。

污水模型下游水位边界宜采用管道、泵站、污水厂等点位的水位监测数据,必要时可在模型中对污水厂提升泵站、调蓄池、溢流堰等厂内构筑物 and 排放口等设施进行概化模拟。当河湖水位影响雨水排水设施出流时,应根据工况合理设置河湖出水口的水位边界,最好采用同步实测潮(水)位、河网模型同步计算水位。设计条件下参考上海市防洪除涝相关规划和标准规定的水利片控制水位^[4]。

3.3 水量水文

模型应引入影响排水系统运行的所有水量来源,包括但不限于:生活污水、工业废水、地下水渗入、降雨径流、初期雨水截流、分流制系统雨污混接、研究范围与相邻系统间可能存在的水力联系(包括可能存在的河水倒灌、“借道转输”的雨污水等)。建模时,应根据地区情况,结合模型类型和水量影响比重,正确处理和适当概化水量。模型包含的各类水量来源应根据地区实际情况按表 1 的规定选取。

表 1 排水系统数学模型水量来源
Tab. 1 Mathematical Model of Drainage System Flow Sources

模型水量来源	生活污水	工业废水	地下水渗入	降雨径流	初雨截流	转输边界外水	雨污混接	河(潮)水倒灌	临时排水
污水模型	√	√	√	-	√	○	○	○	○
雨水模型	-	-	○	√	○	○	○	○	○
合流模型	√	√	√	√	√	○	-	○	○

注:“√”表示应包含的水量,“○”表示经评估影响较大时应选择包含的水量,“-”表示可不包含的水量。

规定应按照地形地貌、地表、用地和市政管网布局合理划分子汇水区,二级模型的子汇水区宜以街坊为单元进行划分,一般尺度为 $2 \sim 4 \text{ hm}^2$ ($1 \text{ hm}^2 = 0.01 \text{ km}^2$)。二级以上模型应采取分布式方法进行子汇水区降雨径流模拟,基于渗透性分类计算下垫

面面积,城市地区宜区分铺装路面、屋面、透水性表面、水面以及其他地表。

现状污水模型有条件地区,宜开展供水量、污水处理量、设施运行量等数据关联分析,结合地区人口普查、供用水量监测、排水户调查、排水流量监测等

数据,确定污水定额、时变化曲线、日(季节)变化曲线、废水量和地下水入渗水量。

应结合模型软件,针对不同下垫面类型选用合适的产汇流计算方法。产流模型应扣除蒸发、植被截留、洼蓄和土壤下渗等损失。汇流模型可采用水力学方法或水文学方法。

3.4 源头设施

源头设施模拟方法及参数设置应反映设施使用的初始状态,以及调蓄空间和含水率的占用和恢复过程,相关参数宜结合上海市海绵城市建设相关标准规范和现场试验确定。

3.5 模型计算与测试

模型计算时应设置合理的上下游边界、计算时间步长、结果输出步长、初始状态和可调控设施的控制方式。模型的稳定性测试应选取一般与极端工况进行计算,确保模型运行正常,计算结果满足质量守恒原则。例如,分别模拟旱流日、低强度多峰值的降雨、5年一遇历时2h的设计降雨、100年一遇历时2h或24h的设计降雨。应仔细检查整个模型、排水口、主次干管、附属设施等重要位置的水深和流量过程线,包括以下信息。

(1)模拟运行是否完整,是否收敛。

(2)检查井的水量平衡情况:确保进出流量质量守恒偏差在10%以内。

(3)检查井的冒溢情况:对于旱天重力流模拟,一般情况下应无冒溢。

(4)溢流情况:对于旱天模拟,一般情况下应无溢流。

(5)泵站运行情况:集水池水位和泵机开停是否符合设置规则,运行是否正常。

(6)管道超负荷情况:判断管道来水、流动是否合理。

3.6 实时模型

实时模型应以数学模型为内核,与遥测雨量、水位、水泵水闸等设施状态监测数据,以及降雨、潮(水)位等预报数据实现在线连接,基于实时计算发挥预报预警决策支持功能。模型实时数据读取频率、计算频率、计算时长、输出参数的设置应兼顾性能与时效,实现模型的滚动计算。宜在泵站上下游、调蓄设施上下游、主干管、次干管、易涝点、排河口等位置建设实时监测点位,监测雨量、水位、流量等关键参数,参与实时模型计算或验证预报结果。

4 模型率定与验证

《排水系统数学模型构建及应用标准》明确了模型率定与验证的场次要求,对率定验证点位的选取、精度目标指标进行了规定。

4.1 场次要求

模型率定和模型验证应采用各自独立的多组实测数据,根据系统类型及运行实际,分别对旱天、雨天开展率定。用于率定验证的雨天数据宜包含3场以上有效降雨,宜包含不同降雨强度与历时特性。用于率定验证的旱天数据宜包含工作日、非工作日,考虑不同季节情况下的波动。

4.2 点位要求

上海市在泵站、污水厂、调蓄设施、易积水点安装的固定监测点应作为模型率定验证的基础点位。在项目条件允许时,宜开展临时流量监测,补充用于模型率定验证与计算的数据,率定验证点位密度宜不低于排水系统、次干管、主干管个数。同时,宜根据积水路段记录、溢流频次等历史数据开展模型验证。

4.3 精度目标

《排水系统数学模型构建及应用标准》提出,应按目标、需求、数据情况和管道功能,分A、B两个等级确定模型精度目标,主要考虑:(1)用于调度控制的点位精度要求应高于非控制点位;(2)主管、干管的精度要求应高于支管;(3)积水点、溢流点等重点关注区域的精度要求应高于一般区域。同一模型中,视应用情况和数据条件,可设置高精度点位(A级)和一般精度点位(B级)。

模型精度评定的项目应包含峰值流量(水位)、峰现时间、流量总量和流量(水位)过程。模拟误差采用绝对误差、相对误差、纳什效率系数(NSEC)3类指标。NSEC用于衡量模拟过程与实测过程之间的吻合程度,按式(1)计算。

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [y_s(i) - y_o(i)]^2}{\sum_{i=1}^n [y_o(i) - \bar{y}_o]^2} \quad (1)$$

其中: n ——序列过程的数据个数;

E ——NSEC值;

y_s ——模拟值;

y_o ——实测值;

$\bar{y}_o$ ——实测值的均值。

点位的精度目标应根据表2的规定确定。

表 2 模型精度目标

Tab. 2 Target of Model Verification

精度目标		A	B
流量精度	峰值流量	10%	20%
	峰现时间/h	0.5	1.0
	总量	10%	20%
	流量过程 NSEC	0.5	0.5
水位精度	峰值水位/m	0.1	0.5
	峰现时间/h	0.5	1.0
	水位过程 NSEC	0.5	0.5

5 模型评价与验收

5.1 质量评价

在应用模型之前,应针对模型整体或模型区域开展模型质量评价,判断所建模型与应用需求的匹配度。区域范围较大、率定验证点位较多的模型,质量等级宜按表 3 的规定,根据模型整体或评价区域内点位率定验证合格率评定。合格率应根据达到目标精度要求的点位占有率点位的百分比确定。

表 3 模型质量评价等级判定

Tab. 3 Determination of Model Quality Evaluation Grade

质量等级	合格率 Q_R
甲	$Q_R \geq 85.0\%$
乙	$85.0\% > Q_R \geq 70.0\%$
丙	$70.0\% > Q_R \geq 60.0\%$

5.2 验收归档

建设单位可根据需要对模型建设项目开展模型专项质量审核与验收归档。模型用于上海市重要工程的、建设规模较大的重点项目应进行质量审核与专项验收。建设单位可委托第三方单位进行质量审核。审核单位应参照本标准对模型类型、范围、深度、计算条件的合理性、规范性、准确性、适用性等方面进行全面审核。模型建设项目的专项验收应由建设单位组织,提交建模报告、监测报告、测试报告和模型源文件、数据集等,资料齐全且模型满足目标、功能、质量要求时出具验收报告。有第三方审核报告的可以依据审核结论进行验收。

6 模型应用与维护

对典型应用场景如规划方案比选、内涝风险评估、实时预报预警、运行调度方案制定过程中模型相关要求进行了规定。

6.1 规划方案

规划模型使用的用地分类、污水量、地下水入渗量、设计降雨等应与上海市现行雨污水规划相一致。改建地区规划模型宜在现状经率定验证模型的基础上进行局部修改,新建地区规划模型应对推理法设计方案进行校核修正。规划模型水力计算结果应符合国家现行标准中相关规定,应核查的水力参数包括:管渠充满度、设计流速、压力流设计承压值、设计暴雨重现期下的积水深度和退水时长等。目前,上海市正在开展的推进排水详细层级规划编制工作的意见,要求构建雨水排水模型,全面应用于详细层级规划的编制与评估。《排水系统数学模型构建及应用标准》为“绿、灰、蓝、管”多种雨水提标方案的比选确定提供了技术支持。

6.2 内涝风险评估

城市内涝风险评估与区划宜采取一维、二维耦合模型进行排水系统内涝风险及整改措施评估。采用设计暴雨重现期和内涝防治重现期进行内涝模拟,必要时应增加其他重现期设计降雨、历史降雨、极端暴雨和气候变化影响因素进行内涝风险评估。宜挑选反映管网流态、水位变化、积水范围、积水深度和积水历时等信息的指标进行内涝风险统计评估。应绘制不同降雨条件下的积水淹没图,有条件地区应绘制积水风险区划图,并基于 GIS 生成表达风险评估结果的电子地图。目前,上海市刚完成第一次全国自然灾害综合风险普查,其中就利用排水系统内涝风险评估模型和历史内涝数据,以情景分析法为主,开展了内涝风险评估。基于对中心城区暴雨淹没情况的分析,在综合集成不同量级暴雨淹没程度的基础上,以内涝风险区划图的形式整体反映不同地块内涝危险性的差异,为提升上海市抵御内涝灾害的综合防范能力和“安全韧性城市”建设提供了科学决策依据。

6.3 实时预报预警

宜采用实时模型用于内涝预报预警,应以经率定验证的模型为计算引擎,与雨量、水位、水泵等设施状态实况和预报水、雨、工情数据实现在线连接,并充分考虑降雨的时间空间分布,具有数据诊断和容错机制。预报起始点之前应使用实况数据参与模型运算;起始点之后的预见期,应使用降雨、水位预报数据参与模型运算。实时模拟应采用滚动计算方

(下转第 134 页)

127-132.

SHA C. Engineering design and discussion of a WWTP quasi-IV water standard upgrading and reconstruction project in Shenzhen [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4): 127-132.

[7] 陈谷. 小孤山再生水厂工程设计案例与探讨[J]. 净水技术,

2018, 37(7): 4-9.

CHEN G. Engineering design case and discussion on project of Xiaogushan reclaimed water treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(7): 4-9.

(上接第6页)

式,计算间隔宜根据监测数据采集频率和预报时效需求设置,降雨期间不宜超过 30 min。宜建立汛后模型效果评估、汛前模型更新维护机制,不断提高内涝预报模型精度与成效。目前,上海市中心城部分地区已开展了实时预报预警工作,并在防汛演练和会商中提前发布积水深度、范围和历时,较好支持了“四预”工作。

6.4 运行调度方案

应利用模型为排水运行调度提供技术支撑,对管网、泵站、调蓄池、污水厂等设施的运行情况进行评估,对运行方案进行优化,提高厂站网一体化联动调度能力,实现平稳运行、均化水量、节能降耗和放江污染削减等多重目标。模型成果应与运行监管等平台相融,近期应具备模型情景展示和实时监测数据展示功能,远期宜具备实时模型计算与动态预警预报功能。应建立模型定期更新维护机制,更新维护周期不宜超过 12 个月,宜建立模型库与 GIS 数据库间的数据规范更新机制。

7 结语

《排水系统数学模型构建及应用标准》针对上海市城镇排水的规划、设计、运行、维护、调度、评估和管理,以及内涝防治与水环境治理等过程中涉及的排水系统数学模型的构建和应用,系统提出全流程构建与运行维护的技术要求,贯穿“绿、灰、蓝、管”各环节,特别是对厂站网一体化运行管理与智能调度、水污染治理防控、实时防汛预警等应用领域进行了规范。目前,上海市已按照《关于开展排水系统“厂、站、网”一体化运行监管平台建设的实施意见》和《排水系统数学模型构建及应用标准》要求,在中心城开展了石洞口、竹园、白龙港三大片区

雨污水模型的构建和审核工作。《排水系统数学模型构建及应用标准》总结提炼的规范经验,可为其他地区和城市排水模型构建和应用工作提供参考依据。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局. 室外排水设计标准: GB 50014—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. Standard for design of outdoor wastewater engineering: GB 50014—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城镇内涝防治技术规范: GB 51222—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, China National Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Technical code for urban flooding prevention and control: GB 51222—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [3] 上海市质量技术监督局. 暴雨强度公式与设计雨型标准: DB 31/T 1043—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
Shanghai Municipal Bureau of Quality and Technical Supervision. Standard of rainstorm intensity formula and design rainstorm distribution: DB 31/T 1043—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [4] 上海市市场监督管理局. 治涝标准: DB 31/T 1121—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
Shanghai Municipal Commission of Market Regulation. Standard for waterlogging control: DB 31/T 1121—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.