

# 基于数字模型的西部平原城镇雨水系统规划优化

王建富<sup>1</sup>, 薛祥山<sup>1</sup>, 刘改妮<sup>1</sup>, 侯晓姝<sup>2</sup>

(1. 北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083; 2. 清华大学 环境学院, 北京 100084)

**摘要:** 针对较大范围的城镇雨水系统规划,通过科学、合理地应用水力模型分析手段,构建产汇流模型,结合现状积水点情况,从地表、排水管网、排涝通道等方面系统剖析内涝风险成因,基于传统的雨水规划方案,通过数字模型进行优化调整,最终可得到科学、经济、适合城镇雨水系统的规划方案。以邳州市城区为例,统筹考虑从“超标雨水排放系统”到“小排水系统”再到“超标雨水排放系统”的多级排水系统全过程控制,在排涝格局构建与排水管网建设的基础上,采用数字模型评估内涝积水点,进而提出积水点整治措施,以期为城镇的防涝规划及管理提供参考。

**关键词:** 雨水系统; 数字模型; 规划方案

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0128-07

## Optimization of Urban Rainwater System Planning in Western Plain Based on Digital Model

WANG Jian-fu<sup>1</sup>, XUE Xiang-shan<sup>1</sup>, LIU Gai-ni<sup>1</sup>, HOU Xiao-shu<sup>2</sup>

(1. Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute, Beijing 100083, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** A model of runoff generation and confluence was established by scientifically and reasonably applying the means of hydraulic model analysis for the planning of large-scale urban rainwater system. The causes of waterlogging risk were systematically analyzed through the surface, drainage pipe network, drainage channel and other aspects combined with the current situation of waterlogging points. Scientific and economic planning scheme which was suitable for urban rainwater system could be eventually obtained through adjustment and optimization of the digital model based on a traditional rainwater system planning scheme. The entire process control of the multi-level drainage system from “over-standard rainwater drainage system” to “small drainage system” to “over-standard rainwater drainage system” was fully considered in the urban area of Qionglai City. Waterlogging points were evaluated by using the digital model based on the construction of the drainage pattern and drainage pipe network. Then, remediation measures for waterlogging points were proposed in order to provide reference for planning and management of urban waterlogging prevention.

**Key words:** rainwater system; digital model; planning scheme

近年来,随着城镇化进程的不断推进,再加上极端天气频发,城镇内涝风险日益凸显。在此背景下,国务院先后于2013年4月和9月印发了《关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》《关于加强城

市基础设施建设的意见》,重点强调加大城市基础设施建设工作,加强城市排水防涝设施建设,提高城市抗内涝能力,并要求在2014年底前编制完成城市排水防涝设施规划<sup>[1]</sup>。随着数字模型应用的普及,

其也逐渐被应用于大型城市排水系统的规划设计中<sup>[1]</sup>,但目前对于城镇排水系统的规划更多采用传统方式,采用恒定均匀流推理公式,随着城镇排水系统规模的不断增大,计算时容易产生一定的误差,难以满足城镇逐渐发展的需求,同时,针对城镇排水系统更新慢、复杂性、重经济性的特点,采用高效和系统分析的数字模型,可为排水系统规划、改造、管理可行性评价等提供重要的支撑<sup>[2]</sup>。我国城镇现状雨水系统由于存在基础资料缺失或不准确、建设费用低、管理水平落后等问题,将数字模型应用于雨水系统规划方案存在一定的不确定性,因此,针对城镇排水管网系统多为合流制、排水管网设计标准偏低、明渠众多等特点,在保证城镇排水安全的基础上,从技术性、经济性、科学性等方面,提出因地制宜的雨水系统规划方法具有很强的必要性。

### 1 基于数字模型的雨水系统规划优化方法

城市排水工程规划属于城市规划内容,按照规划分类方法,城市排水工程规划可以分为两个阶段:第1个阶段是城市总体规划中的排水工程规划,仅对城市排水系统做出概略性的指导,主要以城市给水、道路、环保等专业规划为设计条件,规划成果较为理想,虽然具有排水量的预测、排水体制的确定、排水设施配套以及排水管网系统走向的布置,但并未进行深入论证剖析,因此该阶段的排水工程规划具有一定的宏观性,更注重城市的远期发展;第2个阶段是城市地区详细规划中的排水工程规划,规划内容较深,成果接近实际,对地区的排水系统有较为详尽的规划,同时更准确地预测地区的排水量,对排水设施的建立和排水体制的选择进行了论述,但该阶段的排水工程规划缺乏系统性,局限于城市的行政分区,不足以对整个城市的排水系统起到指导规划作用。

城市排水工程是一项系统工程,受到很多因素的制约,为科学有效地指导城市排水工程建设,有效控制排水设计,避免产生规划设计与工程建设之间的脱节,进行了城市排水工程专项规划的编制,但目前该规划采用静态的水力设计方法,科学技术方法存在局限性,未能满足现阶段超过2 km<sup>2</sup>的雨水片区规划,且不能识别未来内涝风险区域,为弥补其不足,有必要引入数字模型进行优化、完善。

#### 1.1 数字模型应用于排涝规划优化的方法

根据近几年数字模型在城市排水防涝规划中的

应用情况<sup>[3]</sup>,同时整理国内雨水系统规划设计案例,分析应用数学模型改善城市雨水系统规划设计的方法,在借鉴国外先进技术和经验的同时,重点参考我国目前的经济技术水平和行业应用情况,得到目前我国雨水系统规划的优化方法如下:

① 明确规划对象和范围。确定规划对象,以雨水排水分区为单位,考虑排水分区相互关系,确定研究范围。

② 梳理、分析现状基础资料。对规划范围内的雨水系统气象资料、监测资料以及规划设计资料等进行收集与整理,作为模型搭建的基础。

③ 搭建数字模型。数字模型包括现状模型和规划模型两类,用于进行现状评估和规划方案分析(一维产汇流模型与二维淹没模型),模型的搭建包括数据库建立、数字模型选取、雨型确定、参数率定等工作。

④ 明确规划标准。为指导规划方案的编制,需根据规划范围的基础条件,明确规划范围内的雨水系统规划标准,基于该标准,进行建成区或新建区的雨水系统规划。

⑤ 提出规划方案或优化方案。基于确定的规划标准编制方案。

⑥ 数字模型评估与规划方案调整。针对提出的规划方案,搭建雨水规划系统模型,在规划情景下采用规划模型模拟,评估结果应包含管网过载倍数、管网水位线流速与流量变化曲线、积水点的空间分布、积水面积、积水时间、积水深度等。最后规划方案应基于评估结果进行优化调整。

#### 1.2 应用数字模型时需注意的问题

考虑到目前我国城镇的经济技术水平,结合案例实践,将数字模型应用于城镇雨水系统规划时需要注意以下几个问题:

① 收集基础资料并进行整理,保证资料的完整有效性。基础资料的收集主要包括现状基础资料、监测数据、规划设计资料的收集。其中,现状基础资料主要包括地形地貌资料、现状排水系统资料(现状排水管道普查数据)等;监测资料主要包括降雨监测数据、排水流量监测数据、排水水质监测数据等;规划设计资料主要包括规划设计标准、规划设计依据、用地规划数据、排涝通道与排水系统的设计平面图和纵断面图等。

② 现场踏勘,核实积水点、排水管网与排涝通

道情况。现场踏勘主要针对历史积水点、排水管网以及排水通道进行识别,保证基础资料的正确性,并对积水原因进行有效梳理与分析,作为规划方案制定的重要抓手,同时考虑城镇经济技术水平,将现状排涝格局作为目前重要的现场踏勘对象,梳理完善现状排涝通道的信息资料,包括长度、断面宽度、排水口位置等,为评估区域排涝能力提供支撑。

③ 参数率定或历史积水情况对比分析,保证模型搭建的准确性。搭建模型后,对模型进行校准,即利用实际监测数据对模型参数进行率定。将实际降雨资料作为模型降雨条件,对比模拟结果与实际监测值,反复调参,直至模拟结果与监测值的误差在要求范围内。若存在无监测数据或监测数据不足以支撑校核数据,可采用历史降雨条件与历史积水点进行校核,或通过经验参数率定方法,反复调参,直至模拟结果符合现状或规划情景的评估结果。

④ 基于有限资料,把握规划方案的科学性与经济性。针对上述准备的基础资料存在的地形地貌数据不完善且缺乏一定精度、降雨资料不全(包括雨型、5 min 间隔 2 h 降雨数据、24 h 降雨数据等)、规划设计数据不完善(如缺少排涝通道设计数据、现状排水管网信息不全、普查数据存在错误点位等)等问题,需根据基础规划范围与规划时限,通过梳理、对比规划数据与现状数据后进行补充;同时考虑到雨水系统规划的科学性,推荐选用短历时保守雨型进行补充;对于可通过现场踏勘获取的规划设计资料,应对必要性进行补充,从模型搭建方面考虑,基于城镇规模、排水管网数据、地形地貌数据等信息,明确数字模型搭建的精度,避免拓扑数据混乱、错误。

## 2 优化规划方法探讨与案例分析

城市排水防涝规划是一个复杂系统的工程<sup>[4]</sup>,需要考虑雨水排放路径的关系,做好小排水系统、大排水系统以及超标雨水排放系统的衔接,结合城市用地布局、道路、绿地以及开发场地等多方面因素,将绿色排水设施与灰色排水设施有机结合,避免“大拆大建”“头痛医头,脚痛医脚”。以邛崃市城区为例,分别从城镇排涝格局构建、新建雨水系统规划、内涝风险评估和内涝点整治等 4 个方面进行具体分析。

### 2.1 规划区域概况

规划区总面积为 38 km<sup>2</sup>,西面与南面靠近河

流,北高南低,总体地势平坦,地面高程为 490 ~ 510 m,坡度在 0.5% ~ 5% 之间。研究区内支流、沟渠错杂,护城河、文脉堰、大路沟 3 条支流自北向东南汇入下游的南河,承担该区域的排涝功能;南河作为城区的防洪河道,自西向东临城而过,城区雨水通过排涝通道直接排入南河,排涝通道的排水能力直接影响城区的内涝情况。该区域主要道路的地势较平缓,南北走向道路的纵坡相对较大,其中小南街、华夏名园路的纵坡达到 5%,具有较好的排水条件。

规划范围内的排水体制为分流制与合流制共存,排水分区的雨水依靠重力就近流入排涝通道,然后直接进入南河;现状雨水系统不完善,雨水管道共计 45 km,由于老城区局部排水能力低、局部地势低洼、下游排水不畅等原因,造成局部形成了较大的积水点。例如,学道街与善新巷的管网建设不完善,只有部分道路建有雨水收集系统;君平大道路中心 DN1 000 的雨水管网收集沿路两侧区域的雨水,最终排入大路沟,该道路北部区域是体育中心地块,沿街雨水管网为 DN500 ~ 600,该区域地势低洼、排水困难,且下游大路沟的下段存在淤积现象。规划区内的积水区域较为分散,分别位于 318 国道与司马道交叉口、318 国道与东星大道交叉口、永丰路南侧老城区、大路沟以北君平大道位置,最大历史积水深度约为 65 cm,因此对该区域进行规划改造是十分必要和迫切的。

### 2.2 排涝格局优化

基于邛崃市“上蓄、中疏、下排”的整体防洪格局,构建邛崃市城区“一横、一纵、多网”的排涝格局,以保证达到 20 年一遇的内涝防治标准,防止城区发生内涝,保障城市水安全。根据现状评估结果,重点针对现状 3 条支流沟渠过水能力不足的主要断面(包括大路沟下段、邓沟等)进行疏通,同时在现有排涝格局的基础上新增排涝通道并进行连接,构建“一横、一纵、多网”的排涝格局,位置布局如图 1 所示,共计增加 10 条排涝通道,包括护城河、文脉堰、大路沟、规划渠道 1、规划渠道 2、规划渠道 3、大路沟上游段 1 和段 2、文脉堰延伸段 1、文脉堰延伸段 2、大路沟延伸段 1,以扩大排涝通道的收水范围,减少管网转输时间和排水压力;在现有排涝通道断面数据的基础上,后期利用水力模型在 20 年一遇降雨组合 20 年一遇洪水条件下反复校核沟渠河道过水能力能否满足规划目标。





图1 邛崃市城区的排涝格局

Fig.1 Drainage layout of urban area in Qionglai City

## 2.3 数字模型的选取与规划模型的搭建

### ① 模型选取

该案例的建模软件采用城市排水管网模拟系统 (DigitalWater Simulation), 实现管渠一维水动力和地表二维漫流之间的水量交换和动态演进仿真, 并支持管线充满度、地表淹没水深等特征参数的动态计算与可视化展示<sup>[5]</sup>。同时, 利用该平台可建立排水管网与河道耦合模型, 通过对内部河道进行合理的概化, 将城市内部河道纳入排水管网模型, 可以实现排水管网与内部河道的动态耦合模拟计算。

### ② 规划模型搭建

基于规划范围内的排水设施普查数据, 完成排水管网断面尺寸、检查井底部、地面高程等数据的处理和录入, 并通过 GIS 工具进行拓扑检查与调整, 针对管网错接、管网逆坡、连接管线与节点缺失、断头管网、管网重复等问题进行修复, 在此基础上采用泰森多边形法进行汇水区的划分, 基于模型排水系统拓扑关系搭建成果, 进行模型参数的设置, 包括下渗参数、合流制管网旱季和雨季入流参数、管网汇流参数、模型边界条件等。搭建完成的现状评估模型包括 803 个检查井 (含 167 个排放口)、192.80 km 雨水管道、592 个子汇水区, 同时将约 25 km 的河道概化为自然排水渠道纳入排水管网模型中进行计算。

### ③ 降雨情景设置

由于缺乏长期的在线雨量监测数据以及邛崃市本地雨型分析成果, 本研究利用模拟降雨对规划排水系统进行分析, 同时考虑到城市降雨强度具有时间和空间分布的不均匀性, 选取根据规划区所在的雨量站数据修编的暴雨强度公式, 采用芝加哥雨型, 雨峰系数设置为 0.4, 时间间隔为 1 min, 生成重现

期为 1、3、5、20 年一遇的短历时降雨过程线 (降雨历时为 2 h), 总降雨量分别为 50.32、66.64、74.09、96.86 mm, 平均降雨强度分别为 25.31、33.32、37.04、48.44 mm/h。

### ④ 参数率定及验证

由于缺乏该区域常年雨量监测数据, 考虑到在雨水系统规划中数字模型主要用于整体评估和方案对比分析, 且邛崃市本地缺少完整的基础资料, 因此在雨水系统规划中, 采用现状历史积水资料对模型进行校核具有一定的合理性和科学性, 同时采用人工率定法反复调试灵敏度较高的模型参数, 直至模拟积水空间位置和积水范围与积水点实测情况大致吻合, 以保证模型的准确性, 并满足规划需求。

## 2.4 规划方案与模型评估

根据该区域的城镇特性, 规划目标如下: 规划范围内新建管渠的设计重现期为 2~5 年一遇, 城镇内涝防治标准为 20 年一遇, 改造或新建区域随着邛崃市的建设发展逐步进行提升, 规划期末达到上述目标。因此, 基于现状排水能力与内涝积水情况, 采用“汇-网-局部”的系统整治理念, 在排涝格局优化的基础上, 从排水管道建设规划到积水点整治规划, 系统地制定该研究区域的规划方案, 并利用数字模型进行优化。

### 2.4.1 排水管网规划方案与排水能力评估

#### ① 管网规划方案调整

针对新建区域以及管网建设不完善的路段, 规划新建 DN500~1 200 雨水支干管共计 115.05 km, 规划新建排水明渠为 0.98 km, 如图 2 所示。



图2 规划区的雨水管网分布

Fig.2 Distribution of rainwater pipe network in study area

#### ② 规划管网能力评估

雨水管道系统的能力评估是采用管网模拟技

术,结合同频率分布的芝加哥雨型,模拟不同重现期(1、2、5年)下管网的运行状态,以管网超载作为管网不达标的依据。根据雨水管网的规划,利用DigitalWater Simulation软件建立现有的规划雨水管网模型,对规划雨水管网能力进行评估,验证规划雨水管网是否存在超负荷的情况。本研究认为,若管网出现超载状态,则视为该管段雨水排水能力不足,具体采用“管道平均过载倍数”指标进行评估,对于平均过载倍数(峰值) $>1$ 的雨水和合流制管道,均视为能力不足。

基于上述排水管网的排水能力,通过规划一维管网水力模型在1、2、5年一遇重现期条件下的模拟,为管网优化调整提供依据。评估结果如下:排水能力 $<1$ 年一遇的管道长度为13.67 km,占比为7.09%;排水能力为1~2年一遇的管道长度为19.80 km,占比为10.26%;排水能力为2~5年一遇的管道长度为36.40 km,占比为18.87%;排水能力 $>5$ 年一遇的管道长度为123.03 km,占比为63.78%。由此可知,规划管网的排水能力较好,大部分满足排水设计标准,其中,排水能力 $<2$ 年一遇的管道长度为33.47 km,仅占管网总长度的17.35%,这些管道主要位于老城区,通过现状踏勘、模型评估以及管道断面分析可知主要原因如下:a.老城区管网建设陈旧,局部存在管径过小、大管接小管的问题,造成水力坡度大于管道坡度;b.老城区存在合流制管道,管网截流倍数过小,降雨期间排水能力不足;c.区域内局部管网建设不完善,由于老城区地势较平坦,局部存在不易排水区域,造成局部区域积水。

### ③ 管网规划方案调整

基于历史积水点情况调研以及规划模型的评估结果,结合实际需求,分析发现排水能力不足的管网主要集中在老城区的合流制管网,即主要集中在文星街、小北街、南街、文庙街、建设路、兴贤街、步行

街、蜚虹大道。按照从上游到下游的改造顺序,进行雨污分流改造,从而将排水系统提升至2年一遇标准,具体改造方案如表1所示。

表1 排水管网改造方案

Tab.1 Reconstruction scheme of drainage pipe network

项 目	改造措施	改造管线长度/m
文庙街	增设污水井,改接污水管网(接入建设路污水管网)	—
小北街	增设污水井,改接污水管网(接入西街污水管网)	—
幸福路	街道西侧新建 DN800 雨水管网,接入建设路雨水管网	337
文君街	街道北侧修建 DN400 污水管网并接入兴贤街,保留原有雨水管网	38
建设路	幸福路街道中心线新建 DN600 雨水管网并接入建设路	10
文星街	增设污水井,改接污水管网(接入东街),同时新建 DN500 雨水管网并接入东街雨水管网	20

## 2.4.2 内涝风险评估与积水点整治方案

### ① 内涝风险评估

区域内涝风险分析是在构建区域管网模型的基础上,通过与地表二维模型进行耦合,模拟20年一遇2 h降雨情景下的地表内涝积水状况,通过模拟积水变化的整个过程,从而可以分析计算得到内涝积水的影响范围、积水深度和时间。基于模拟结果,结合区域管网状况,制定相应的内涝积水应对措施,最终使整个系统满足区域内涝防灾标准的要求。

模拟结果显示,在20年一遇降雨条件下,规划区内低风险区域面积为7.10 hm<sup>2</sup>,占风险区总面积的58.6%;中风险区域面积为3.20 hm<sup>2</sup>,占风险区总面积的26.4%;高风险区域面积为1.81 hm<sup>2</sup>,占风险区总面积的15.0%;基于排涝格局优化与排水管网建设,大部分历史积水点已经消除,但仍存在16个较大的内涝积水点,具体情况如表2所示。

表2 积水点情况一览

Tab.2 Survey of waterlogging points

积水点	平均积水量/m <sup>3</sup>	最大水深/m	积水时间/min	积水面积/m <sup>2</sup>	积水位置	积水原因
1	6 054	0.57	197	12 107	邛名高速东侧约300 m邻近南河处	规划管网设计标准低
2	4 450	0.67	121	8 900	邛芦路与瑞云街道交叉口	规划管网设计标准低且为低洼处
3	5 899	0.74	107	11 344	西环路与西街交叉口	现状管网设计标准低

续表 2(Continued)

积水点	平均积水量/m <sup>3</sup>	最大水深/m	积水时间/min	积水面积/m <sup>2</sup>	积水位置	积水原因
4	6 637	0.51	242	10 088	校场路与西街交叉口	西街现状管网设计标准偏低
5	601	0.35	78	2 003	善政街与永丰路交叉口靠南	善政街现状管网设计标准偏低
6	2 144	0.35	52	6 903	北坛街肉鸭联合公司附近	地势低洼、无排水出口
7	2 413	0.32	248	6 040	君平大道体育中心附近	地势低洼、排水困难
8	1 164	0.25	41	7 761	汇源街延伸处与君平大道交叉口	汇源街延伸段现状管网排水能力不足
9	602	0.32	60	4 015	文南路与东兴大道交叉口处	文南路现状排水能力不足
10	797	0.21	56	5 315	318 国道与邛新路交口处杰地城附近	地势低洼、排水困难
11	6 181	0.43	210	22 213	华夏名园与司马大道交叉口处	地势低洼、排水困难,华夏名园路现状排水能力不足
12	398	0.26	43	2 657	方圆路与司马大道交叉口处	方圆路现状排水能力不足
13	551	0.43	52	1 837	方圆路与美食街交叉口处	方圆路现状排水能力不足
14	1 408	0.45	62	7 067	工业 2 号路与邛新路交叉口南侧附近	工业 2 号路现状排水能力不足
15	1 502	0.42	48	5 007	园区 1、2 号路	排水沟及管道淤堵不畅、排水困难
16	465	0.28	46	8 053	川西旅游环线与司马大道交叉口东南侧附近	地势低洼、排水不畅

② 积水点整治方案

由于规划区的地势条件较好,主干道明渠较多,优先采用超标排放与调蓄相结合的思路,针对地势条件好的区域以建立行泄通道为主。规划区南北方向竖向条件较好,道路坡度较大,道路两侧建有较多的明渠,尤其在规划区中部,可利用明渠及内河水系的行泄通道功能,通过新建行泄通道,辅以增加雨水排口的方式,解决积水点内涝问题。

在对 16 个内涝积水点成因分析的基础上,提出

内涝积水点的整治方案,并反复调整工程量:如果内涝点附近有河湖水体,则增加雨水排口,将积水就近引入,如果距离较远,则修建行泄通道将积水引入;对地势低洼的路段,新建调蓄池,增强调蓄能力,内涝积水主要排入河道和排水明渠。规划区内涝点整治系统共需调蓄容积为 41 267 m<sup>3</sup>,其中主要河道的调蓄量为 11 918 m<sup>3</sup>,占 28.9%;绿地的消纳量为 29 349 m<sup>3</sup>,占 71.1%,可实现区域内涝防治标准达到 20 年一遇,具体工程措施见表 3。

表 3 内涝点治理工程量统计

Tab. 3 Statistics of waterlogging control project

积水点	排水沟渠参数			受纳体参数			备注
	是否需要	宽×高/(mm×mm)	长度/m	受纳体	类型	调蓄容积/m <sup>3</sup>	
1	是	1 000×800	180	南河	河流	6 054	
2	是	800×800	40	南河	河流	4 450	
3	否	—	—	文脉堰	排水明渠	5 899	泵站
4	是	800×800	48	文脉堰	排水明渠	6 637	
5	是	400×300	30	文脉堰	排水明渠	601	
6	是	—	—	大路沟	排水明渠	2 144	泵站
7	是	600×500	60	大路沟	排水明渠	2 413	
8	是	400×300	80	大路沟	排水明渠	1 164	
9	是	400×300	60	文脉堰	排水明渠	602	
10	是	500×300	90	文脉堰	排水明渠	797	
11	是	—	—	文脉堰	排水明渠	6 181	泵站



续表 3(Continued)

积水点	排水沟渠参数			受纳体参数			备注
	是否需要	宽×高/(mm×mm)	长度/m	受纳体	类型	调蓄容积/m <sup>3</sup>	
12	是	500×300	820	南河	河流	398	
13				南河	河流	551	
14	是	600×500	190	大路沟	排水明渠	1 408	泵站
15	否	—	—	大路沟	排水明渠	1 502	
16	是	400×300	680	南河	河流	465	

### 3 结论

通过梳理分析国内城镇雨水系统规划情况,并结合邛崃市规划案例总结得出,为保障城镇排水安全,应结合本地的经济技术水平,将传统的雨水系统规划方法与数字模型相结合,从系统性的角度对规划范围进行评估分析,在从“区域到局部”优化排涝格局的基础上规划设计排水管网和整治内涝积水点,在有限的基础资料条件下科学合理地制定规划方案,同时对雨水系统原有的设计方法进行改进与完善。在雨水系统规划中,通过构建科学的雨水系统模型可更为快速有效地制定规划方案,也可充分利用数字模型系统性、高效性、科学性的优势,对不同规划方案进行评估、调整,最终得到满足目标且有效的方案,实现“汇—网—局部”的过程控制。

### 参考文献:

- [1] 刘小梅,吴思远,云海兰,等. 水力模型在排水防涝规划体系中的应用[J]. 中国给水排水,2017,33(11):133-138.  
Liu Xiaomei, Wu Siyuan, Yun Hailan, et al. Application of hydraulic models in drainage and flood control planning systems in small watersheds [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(11): 133-138 (in Chinese).
- [2] 马洪涛. 数学模型在城市排水规划中应用的相关问题[J]. 中国给水排水,2013,29(21):138-143.  
Ma Hongtao. Discussion on issues about application of mathematical model in urban drainage planning [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(21): 138-143 (in Chinese).
- [3] 车伍,张伟,李俊奇,等. 中国城市雨洪控制利用模式研究[J]. 中国给水排水,2010,26(16):51-57.

Che Wu, Zhang Wei, Li Junqi, et al. Study on patterns of urban stormwater management in China [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(16): 51-57 (in Chinese).

- [4] 车伍,马震,王思思,等. 中国城市规划体系中的雨洪控制利用专项规划[J]. 中国给水排水,2013,29(2):8-12.

Che Wu, Ma Zhen, Wang Sisi, et al. Specific planning for stormwater management and utilization in Chinese urban planning system [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(2): 8-12 (in Chinese).

- [5] 陈小龙,赵思东,赵冬泉,等. 城市排水管网模拟系统介绍[J]. 中国给水排水,2015,31(1):104-108.

Chen Xiaolong, Zhao Sidong, Zhao Dongquan, et al. Introduction of Digital Water Simulation system [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(1): 104-108 (in Chinese).



作者简介:王建富(1989—),男,北京人,硕士,工程师,主要从事市政排水工程规划、排水防涝规划、海绵城市规划与设计等工作。

E-mail: solarwjf@163.com

收稿日期:2018-09-03