

城市排水管网模拟系统介绍

陈小龙¹, 赵思东², 赵冬泉^{1,3}, 盛政^{1,3}, 罗睿¹, 陆露¹, 张俊¹

(1. 北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083; 2. 昆明排水设施管理有限责任公司, 云南 昆明 650000; 3. 北京清华同衡规划设计研究院有限公司, 北京 100085)

摘要: 城市排水管网模拟系统(DigitalWater Simulation)是基于SWMM和GIS技术的可视化建模与动态模拟评估工具,支持一维管网与二维地表的动态耦合模拟计算,完整反映排水管网整体运行负荷变化规律和城市内涝风险。系统按照《城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则》(建城[2013]88号)的要求,存储与管理排水系统相关数据,模拟结果满足《城市排水(雨水)防涝综合规划编制大纲》(建城[2013]98号)和新修订的2014年版《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)的模型相关技术要求。该系统可有效支持排水系统的规划、改造、现状评估诊断和城市内涝风险分析等工作。

关键词: 城市排水管网模拟系统; 内涝; SWMM; 一维管网; 二维地表

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2015)01-0104-05

Introduction of DigitalWater Simulation System

CHEN Xiao-long¹, ZHAO Si-dong², ZHAO Dong-quan^{1,3}, SHENG Zheng^{1,3},
LUO Rui¹, LU Lu¹, ZHANG Jun¹

(1. Beijing Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute Co. Ltd., Beijing 100083, China; 2. Kunming Drainage Facilities Management Co. Ltd., Kunming 650000, China; 3. Beijing Tsinghua Tongheng Planning and Design Institute Co. Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: DigitalWater Simulation system is a visual modeling and evaluation tool based on SWMM and GIS technology. It can achieve 1D drainage network and 2D surface coupling simulation, which can show the operation of drainage network and urban flood risk. Data storage and management follow the technical requirements of the *Technical Guidelines for Collecting and Managing Data of Urban Drainage and Flood Control Facilities* (MOHURD No. 88 [2013]). The simulation results can meet the model technology requirements of the *Outline of City Drainage(Rainwater) Waterlogging Integrated Planning* (MOHURD No. 98 [2013]) and the *Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering* (GB 50014-2006) (2014 Edition). DigitalWater Simulation system can be used in drainage network planning, renovation and evaluation as well as analysis of urban flood risk and so on.

Key words: DigitalWater Simulation; flood; SWMM; 1D drainage network; 2D surface

近年来,我国多个城市出现极端降雨情况,暴雨强度和重现频率增加。在城市化过程中,城市区域

产生了大量硬化地表,改变了局部地区的水文循环,加速了降雨的汇集和排放过程;同时,城市排水基础

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07302-001)

设施规划建设标准不高,不能满足城市经济社会发展的需要。在自然和人为因素的双重作用下,我国多个城市出现了较为严重的暴雨内涝灾害,造成了严重的生命财产损失^[1~3]。因此,科学评估排水系统的能力,及时开展城市排水风险评估具有重要意义^[4]。排水管网模型技术可以动态模拟城市区域在不同降雨条件下的产汇流过程,将汇水区与排水防涝设施作为上下游关联的整体系统进行评估计算,可以科学有效地评估与诊断排水管网的运行状态。因此,将其应用于排水系统的现状评估、规划评估与运行管理中,是城市排水行业技术发展的必然方向。

城市排水管网模拟系统(Digital Water Simulation)(简称DS)是由北京清控人居环境研究院有限公司与清华大学环境学院在多年研究基础上自主研发的^[5,6]。DS基于GIS技术实现建模与模拟评估的动态可视化,采用国际流行的排水管网计算模型作为模拟引擎,提供全中文的软件界面、帮助手册与培训体系,支持一维管网与二维地表的动态耦合模拟计算,支持多种类型降雨过程线的自动生成,可灵活实现多情景建模方案的对比。该系统无缝对接《城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则》(建城[2013]88号)(以下简称《导则》)^[7],兼容《导则》规定的各类普查数据表的格式,可以简化基于普查数据的建模数据处理工作,降低建模难度,提高数据的共享及应用效率;DS的模拟评估结果全面支持《城市排水(雨水)防涝综合规划编制大纲》(建城[2013]98号)(以下简称《大纲》)和新修订的2014年版《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)(以下简称《规范》)。同时,结合国内排水管网运行负荷偏高的特点,DS支持管线过载倍数、节点溢流风险等特征参数的动态计算与可视化展示。DS可为排水管网的规划管理、更新改造和内涝风险评估等提供决策支持平台。

1 功能介绍

1.1 基本功能

① 设施编辑

城市排水管网建设周期长,资产数据不完整、不准确,已建的管网主要靠纸质图、Excel或简单的CAD文件进行记录和管理,管网信息化不够系统,各种数据并存,数据关联性差,不能及时更新并统一存储。DS的设施编辑功能提供了不同格式数据导

入、编辑、维护和更新功能,全面对接《导则》的技术要求,对城市管网设施数据进行标准化的组织、存储和管理。用户已有的Excel数据、CAD数据或GIS数据经过一定处理,便可以导入系统生成模拟数据库;对于按照《导则》要求,使用免费的“城市排水防涝设施普查信息平台”管理的排水管网普查数据库,DS可以直接打开使用;对于图纸数据,则可以经过扫描或拍照后,利用GIS工具进行坐标校正,作为背景图层添加到系统中的地图窗口,利用添加、删除、拆分等功能进行绘制和属性数据人工提取。同时,DS提供各类数据编辑器,对时间序列、曲线数据、泵站控制规则和管网模拟条件等进行编辑、导入和导出。

为了保证数据质量,利用GIS的空间分析功能,可基于DS进行设施数据的校验,对管网数据的拓扑关系、数据完整性和异常值进行检查。通过问题数据校验表格与所在地图视图同步的校验工作方式,既节省了人力、物力,也提高了数据检查的工作效率和准确性。

② 设施查询

设施查询功能分为地名查询、属性查询和属性表查询三种方式,方便用户了解和查看排水设施的空间位置、设施性能和运行情况。用户可以通过搜寻地名方式快速定位到该地点,系统支持地名模糊查询;根据管网设施资产属性和管网特征自定义查询规则,配置复杂字符串,查询符合条件的管网设施;根据设施类型,选择查询符合条件的设施,查询设施属性表,支持节点查询、管线查询和区域查询。

③ 网络分析

为了了解排水设施网络关系,通过分析节点可进行管网连通性分析和上下游分析。根据在排水管网中选择的起点和终点,分析两点之间是否存在连通性,可以查看连通管道和路径详细信息,也可查看管道纵断面图,了解管网铺设情况;根据在排水管网中选择的上下游分析节点,来分析和统计该节点的上游和下游管网设施,以查看该分析点的上游服务范围 and 下游设施范围。在事故应急中,可通过网络分析快速定位事故发生位置和影响范围,以便采取合理措施,减小事故危害。

1.2 模拟功能

① 参数编辑

DS提供专业的模拟参数编辑器,包括降雨编辑

器、气象编辑器、入流编辑器、水泵性能曲线编辑器、调蓄池容量编辑器、管渠断面编辑器等。DS集成了基于暴雨强度公式的降雨过程线生成工具,用户可以选择不同雨量、雨型和重现期的降雨数据进行模拟。气象数据提供蒸发、风速、气温、积雪和融雪数据的编辑、导入和导出功能。水泵特征曲线编辑器是输入水泵生产厂家提供的不同类型水泵性能曲线的专业编辑器。在管渠断面曲线编辑器中,用户可以通过站点距和高程编辑不规则管渠断面形状。

② 1D 管网模拟

将管网数据和模型参数导入 DS 中,设置相应的模拟情景,即可进行排水管网的模拟计算。DS 可进行完整的水文过程模拟,通过非线性水库进行地表汇流模拟,可选稳定流、动力波和运动波三种方式进行管网流量演算,对于地表下渗,可选择 Horton、Green Ampt、Curve Number 三种下渗模型。1D 管网模拟包括节点(水深、水头、流量、溢流量、蓄水量、水深与井深比值、水面与井口距离)、管线(流量、水深、流速、充满度、弗劳德数、过载倍数)和汇水区(雨量、损失量、径流量、地下水入渗量等)的结果以曲线图、结果表、动态渲染图、统计图、专题图等多种形式输出和表达。

③ 1D-2D 耦合模拟

DS 在城市数字高程模型(DEM)的基础上,结合城市土地利用情况,对研究区域自动进行二维网格划分,对地表进行二维淹没分析,能够形象模拟洪水的淹没范围与淹没水深,如图1所示。

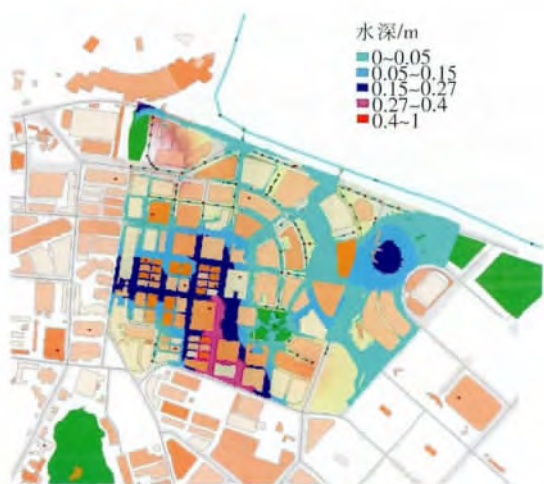


图1 2D模拟结果渲染图

Fig.1 Schematic diagram of 2D results renderings

同时系统可以将城市一维排水管网与二维地表

无缝耦合,分析超出排水管网能力的积水在地表的演进过程,较为准确地计算出积水范围、水深分布和淹没时间。另外,系统提供多界面多模式的模拟结果动态展示方式,展示不同时间、空间的淹没范围及淹没水深情况,还可将结果制作成柱状图、曲线图等,展示城市地表的淹没风险,为城市内涝灾害风险管理提供辅助决策依据。

2 DS 的应用模式

DS 是一款功能全面的排水管网模拟软件,在管网规划、建设、改建和日常管理中可以发挥重要的技术支持作用。

① 管网现状诊断与评估。通过分析现状管网数据的模拟结果,了解管网运行状况,发现并分析管网存在的问题,如:管网逆坡、倒虹吸、管道淤积、污水厂处理能力不足、管道入流入渗等情况,以便提出合理的处置措施,改善排水管网的运行效能。

② 管网排水能力评估。对规划或现状管网,通过不同重现期降雨条件模拟,评估管网排水能力,结合城市排水和内涝防治标准,合理确定管网布局、技术参数和改建方案。

③ 雨水溢流分析。实现不同降雨条件下排水管网溢流情况的时空分布及溢流量的分析和评估,以便确定管网溢流点位置、溢流量和处置方案。

④ 内涝风险评估。通过 1D-2D 耦合模拟,分析暴雨内涝情景下,地表积水的“产生—流动—汇集—消退”的完整过程,并对积水范围、深度、时间和淹没风险进行分析和评估。图2和图3分别为淹没时间和淹没风险分级渲染图。

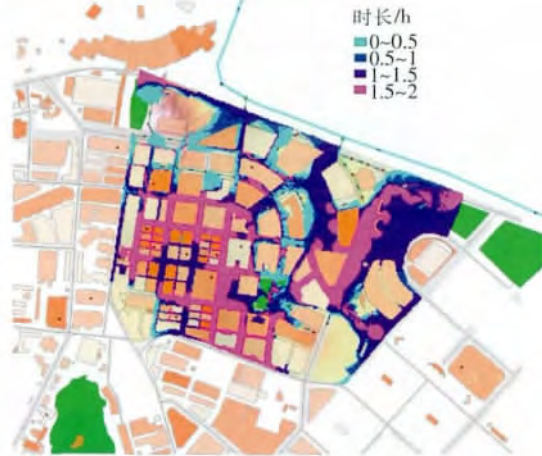


图2 淹没时间分级渲染图

Fig.2 Schematic diagram of flood time renderings

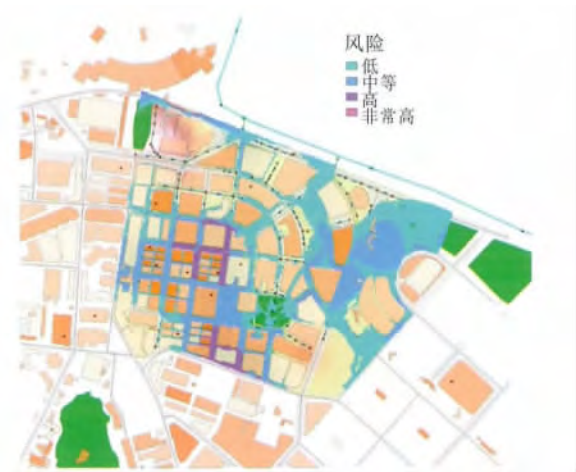


图 3 淹没风险分级渲染图

Fig. 3 Schematic diagram of flood risk renderings

⑤ 河道顶托作用分析。当河道水位淹没排水口时,会对排水管网产生顶托作用,影响排水管网的运行能力。按照《大纲》的要求,将城市内河纳入模型计算,模拟河道水位变化对排水管网的影响。模型可以模拟、分析和评估出管网在河道顶托作用下的运行情况,也可以分析内涝情景在河道顶托作用下的变化情况。图 4 为管网节点在无顶托作用和有顶托作用下的水深对比,图 5 为地表淹没范围在无顶托作用和有顶托作用下的对比情况。

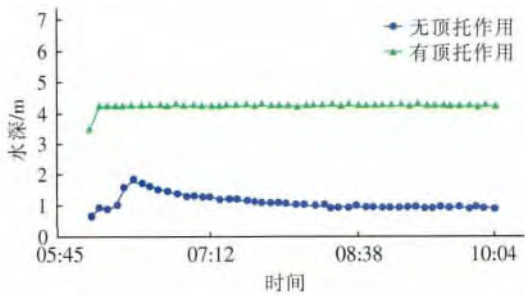


图 4 节点水深对比

Fig. 4 Comparison of node water depth

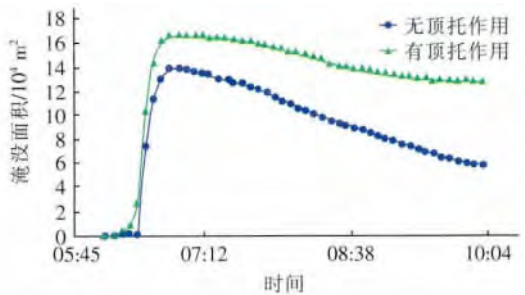


图 5 地表淹没范围对比

Fig. 5 Comparison of surface flood area

此外,DS 还可以应用于低影响开发(LID)控制策略综合评估、污水厂改扩建管网负荷评估、泵站调度策略评估、户线接入影响评估、管网养护中的清淤分析和事故应急分析等工作。

3 特点与优势

作为国内自主研发的排水管网模拟软件,在吸收和借鉴国外先进技术和理念的同时,DS 也在长期的应用和优化过程中形成了鲜明的中国特色:全面衔接《导则》、《大纲》和《规范》的要求,全中文的软件体系和培训体系,与中国排水规划管理体系接轨,管网资产管理与模拟评估一体化,充分考虑国内数据特点、简化建模难度。1D 管网与 2D 地表耦合模拟,淹没范围、深度、时间统计分析,充分展示内涝情景。此外,与国外同类软件相比,DS 在通用性、普适性、数据要求、本地化服务能力和价格等方面具有明显的优势,见表 1。

表 1 同类软件对比

Tab. 1 Comparison among similar softwares

项 目	国外模拟软件	国内开发软件(DS)
与普查数据集成	一般(处理后导入,模拟成果再导出)	优秀(直接使用,无缝共享)
管网模拟功能	好	较好,应用更方便
地表模拟功能	好,可与自己开发的商业模型耦合	较好,数据处理相对简单
技术先进性	好,开发积累时间长	好,适合中国实际需求
通用性	较好,基于自己开发的模型,不开放模拟引擎的源代码	好,基于源代码公开的 SWMM 模型,通用性和普适性强
价格	一般	优秀,是类似功能国外软件价格的 20%~50%
模型实用性	好,国外案例较多	较好
本地化服务能力	较好	优秀

4 结语

城市排水管网模拟系统(DigitalWater Simulation)是在对当前国内外排水管理先进经验进行总结和深度研究的基础上,针对国内排水管网管理中存在的突出问题,采用国际上流行的排水管网计算原理作为系统的核心计算引擎,自主设计开发的集排水管网动态模拟计算功能与 GIS 空间管理分析功能于一体的城市排水系统数字化管理平台。该平台基于完善的排水管网数据体系及便捷的数据编辑与

维护技术、海量数据的集成管理及综合的数据分析与查询技术、专业的排水系统计算模型及流程化的应用与分析方式等关键技术,为排水管网的综合管理和模拟分析提供了灵活高效的解决方案。目前DS软件已经应用于全国多个城市的排水防涝规划编制工作中,获得了良好的效益。同时,用于科学研究和教学的高校版也已推出,用户只需完成注册申请便可免费使用,可提高排水行业的技术水平。

参考文献:

- [1] 郭常安,邓立鸣. 广州市中心城区内涝分析及对策[J]. 中国给水排水,2011,27(10):25-28.
- [2] 刘超. 福州市排水排涝整治思路研究[J]. 中国给水排水,2014,30(3):106-108.
- [3] 宫永伟,李俊奇,师洪洪,等. 城市雨洪管理新技术中的几个关键问题讨论[J]. 中国给水排水,2012,28(22):50-53.
- [4] 尹占娥,许世远,殷杰,等. 基于小尺度的城市暴雨内涝灾害情景模拟与风险评估[J]. 地理学报,2010,65(5):553-562.
- [5] 赵冬泉,陈吉宁,佟庆远,等. 基于GIS构建SWMM城市排水管网模型[J]. 中国给水排水,2008,24(7):88

-91.

- [6] 赵冬泉,邢薇,佟庆远,等. 基于数字排水技术的城市雨洪控制方案设计与评估[J]. 中国给水排水,2010,26(16):74-77.
- [7] 陈吉宁,张悦. 城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则(试行)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.



作者简介:陈小龙(1988-),男,安徽合肥人,硕士,工程师,主要从事城市排水防涝、污染控制的研究与规划设计工作。

E-mail: cxl@digitalwater.cn

收稿日期:2014-06-25

(上接第103页)

- 息平台介绍[J]. 中国给水排水,2014,30(11):156-158.
- [1] 楚敬龙,杜加强,滕彦国,等. 基于GIS的重庆市万州区滑坡灾害危险性评价[J]. 地质通报,2008,27(11):1875-1881.
- [2] 殷杰,尹占娥,王军,等. 基于GIS的城市社区暴雨内涝灾害风险评估[J]. 地理与地理信息科学,2009,25(6):92-95.
- [3] 孙阿丽,石纯,石勇. 基于情景模拟的暴雨内涝危险性评价——以黄浦区为例[J]. 地理科学,2010,30(3):465-468.
- [4] 王磊,周玉文. 基于投影寻踪的城市排水系统洪涝风险评估模型[J]. 中国给水排水,2011,27(23):78-82.
- [5] 王建鹏,薛春芳,解以扬,等. 基于内涝模型的西安市区强降水内涝成因分析[J]. 气象科技,2008,36(6):772-775.
- [6] 邱绍伟,董增川,李娜,等. 暴雨洪水仿真模型在上海

防汛风险分析中的应用[J]. 水力发电,2008,34(5):11-14.



作者简介:胡坚(1967-),男,江苏镇江人,博士,正高,主要从事水污染控制与治理、城市防涝与面源控制研究。

E-mail: yuyiping395@163.com

收稿日期:2014-06-30