

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.02.052

SWMM 模型在城市防涝与流域防洪中的应用与研究

王洋洋

(苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘 要: 在全球极端暴雨频发与城市化建设进程加快的背景下,海绵城市建设、城市防涝及流域防洪已成为重要的研究方向。SWMM 模型作为一种较为成熟的水文模拟软件,具有免费开源、应用场景广等优点,已成为海绵城市建设、城市防涝、流域防洪等方向的研究热点。先对 SWMM 及其衍生模型进行简单介绍,再从国内与国外两个方面对 SWMM 模型最新的应用与研究方向进行综述,最后针对 SWMM 模型未来的发展趋势进行总结。

关键词: 海绵城市;城市防洪;流域防涝;SWMM 模型

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2023)02-0206-03

0 引 言

在全球气候不断变暖的气候背景下,全球降雨极端天气的出现频率也逐渐增加,并且伴随着城市化进程不断加快,城市下垫面属性中的非透水铺装面积不断增加,降雨量的增加且雨水下渗量的减少导致城市内涝和区域洪灾频发^[1]。2021 年河南郑州发生了严重的城市内涝并造成人员死亡和财产损失^[2]。

1 SWMM 模型介绍

SWMM(Storm Water Management Model)是美国环保署(EPA)于 1971 年开发的动态降雨径流模型^[3],截至目前 SWMM 已更新至 5.1.015 版。SWMM 模型免费且代码开源,在国内外被广泛应用^[4-6],且基于 SWMM 与其他研究工具耦合开发出了许多衍生模型,模型介绍见表 1。SWMM 不仅能模拟地表产流及地表与管网汇流的过程,还能模拟汇水范围内的非点源污染物质的产生、聚集、冲刷与转输的过程^[7]。SWMM 具有方便简单易学的特点,能在已建构的模型基础上直接进行改造模拟,对比出不同改造措施下的改造效果。

2 国内研究现状

国内外学者在无特殊说明情况下使用的 SWMM 模型一般为 EPA-SWMM,本文仅针对 EPA-SWMM 模型的研究进展进行介绍。目前国内关于 SWMM 的研究主要集中在:构建 SWMM 模型评估海绵城市改

表 1 SWMM 及其主要衍生模型对照表[8]

名称	开发机构	优点	缺点
EPA-SWMM	EPA、CDM	功能强大、免费开源、容易上手	水文模拟不完善、缺少地面地下耦合机制
PC-SWMM	CHI	与 GIS 完全耦合、能进行参数敏感性分析	在模拟透水比例较高的非城市化地区时,数据不准确
Info-SWMM	MWH	轻松处理节复杂模型系统	数据资料必须充足充分
XP-SWMM	XP Soft	二维模拟、数据接口兼容性较好、能进行动力波模拟	无法模拟汇水区间内地下水的交互;
MIKEURBAN	DHI	与 GIS 完全耦合、自动率定、能模拟化合物反应过程	难以模拟单独水流之间的运行过程

造对城市小区、公园、工业园等小区场地尺度的影响;与 GIS 耦合构建城镇、流域等大范围尺度的 SWMM 模型评估区域范围内的水文和水质系统。最新研究则更注重与算法等人工智能方向的耦合优化 SWMM 模型。

潘峰^[9]以河北农业大学西校区为研究对象构建了 SWMM 模型,研究 LID 改造前后校园的水文和水力方便的变化。研究表明:SWMM 具有较好的应用前景,通过使用绿色屋顶和透水铺装两项 LID 措施,在不同暴雨重现期下,径流总量控制率提高了 30%~32%。杨金文^[10]以萍乡市金典城小区为例,构建了小区的 SWMM 模型,从水文和水质两方面对比评估了传统开发模式与低影响(Low Impact Development, LID)开发模式下,不同暴雨重现期下的 LID 控制措施对区域径流和污染物的控制效果,研究结论与潘峰^[9]类似,随着暴雨重现期增加,传统开发模式的径流总量、污染物负荷等参数都会有明显增加,LID 开

收稿日期: 2022-04-06
作者简介: 王洋洋(1995—),男,硕士,助理工程师,从事给排水设计工作。

发模式对不同重现期下的径流总量、污染物负荷等参数都会有一定的控制效果,LID 开发模式对减轻雨水系统排放压力,降低内涝风险,雨水净化及资源化利用都有一定效果。

刘康安^[11]利用 GIS 耦合 SWMM 技术,建立泔河流域面源污染模型系统,模拟分析不同面源污染防控措施对流域面源污染负荷的影响。结果表明:与建筑小区的模拟结果类似,在无外部干预的情况下,降雨重现期越大,泔河流域的洪峰流量出现得越早,且在降雨过程中产生的地表径流总量呈现西南部地区高于东北部地区的特征,综合防控措施对流域面源污染物负荷削减效果最优,TN、TP 和 COD 负荷及径流的削减率最大值分别为 25.33%、15.85%、6.26%、5.98%。

邹澄昊^[12]以嘉兴市新城区某建筑小区为研究对象,选用复合加权的多目标粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)优化构建的 SWMM 模型(见图 1),结果表明:PSO 方案在规划效率、经济性和水质水量削减率等方面均优于常规设计方案,使用 PSO 优化构建的 SWMM 模型可以针对建设区域内的主要矛盾,综合考虑项目成本、径流控制效果、雨水净化等多方因素,因地制宜且科学的选择海绵城市建设思路。刘鹏霄^[13]构建了大范围尺度的 SWMM 模型,联动使用 Morris 筛选法和 Sobol 法对区域内径流总量及径流峰值的敏感参数进行分析,确定:不透水区曼宁系数(N-Imperv)、透水区曼宁系数(N-Perv)、不透水区洼蓄量(Des-Imperv)、透水区洼蓄量(Des-Perv)、最小入渗速率(Min.Infil.Rate)和最小入渗速率(Decay constant)为区域 SWMM 的敏感参数;利用 BP 神经网络对样本进行训练,对径流总量和峰值流量两项目标进行优化,结果表明多目标混合粒子群算法优化的 SWMM 模型参数更为准确。

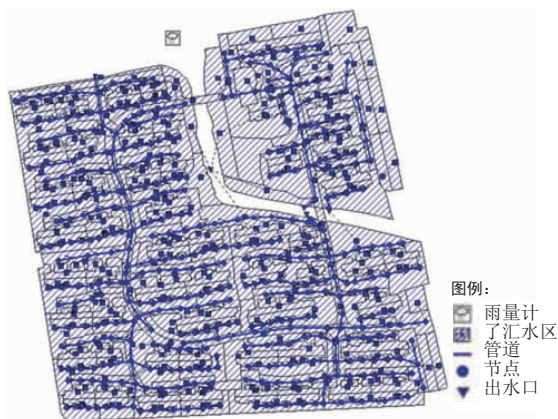


图 1 复合加权的多目标粒子群算法优化构建的 SWMM 汇水分区与管网概化图^[12]

3 国外研究现状

国外对于 SWMM 模型的研究相较于国内起步较早,关于 SWMM 模型的研究较为成熟。国外早期研究与现今国内主要研究方向类似,集中于构建 SWMM 模型研究不同 LID 设施对海绵城市构建或流域内水文的影响。国外最新的研究方向则在与算法等工具耦合用于平衡建设成本和环境效果,或与其他工具耦合扩大 SWMM 模型的应用范围。

Swarnkar, Anurag 等人^[14]以印度赖布尔市某区域为研究对象构建 SWMM 模型用于评估区域内雨水管网运行状况和寻找城市内涝点,研究结果表明:该区域的排水管网无法容纳所有降雨径流,导致内涝频繁发生,对此情况 Swarnkar, Anurag 等人在研究区域内找出两个合适的地点用于构建雨水调蓄池,为研究区域内海绵城市建设提供帮助。Choo, Yeon-Moon 等人^[15]以韩国的 Suyeong 河和 Oncheon 河流域为研究对象构建了流域范围尺度的 SWMM 模型用以研究在极端洪水环境下新建或升级大坝和地下水道对韩国釜山的潜在影响,研究表明:通过地下水道将 Oncheon 河与 Hoedong 大坝相连可以减少洪水发生的次数,并缩短洪水的持续时间,通过提高现有大坝的高度增加水库的蓄水量,或安装闸门调整洪水水量,这些措施均有助于降低洪水发生频次和周期。

Heydari Mofrad 等人^[16]将 SWMM 与多目标衍化算法耦合(Multi-Objective Evolutionary Algorithm, MOEA)形成非支配排序增强差分进化模型(Non-Dominated Sorting Enhanced Differential Evolution, NSEDE),用于优化防洪墙、交叉结构和末端蓄水池的大小,从而减小环境修复成本和径流总量(见图 2)。结果表明:与算法耦合形成的 SWMM 模型,在建设成本和暴雨重现期相同的情况下,环境修复成本降低了 61.7%,径流总量降低了 37.5%。Raje, Saurabh 等人^[17]耦合构建 SWMM 地表径流模型和 VS2DTI (Variably Saturated 2D Transport Interface) 地下径流模型用以评估道路渗滤系统(Partial Exfiltration Reactor, PER)对水文和水质的影响,研究结果表明:PER 中的水泥基透水路面(Cementitious Permeable Pavement, CPP)与氧化物涂层砂(Oxide-Coated Sand Media, OCS)相较于传统路面对区域内的水文和水质有所改进,PER 的径流总量控制率达到了 95%,通过 CPP 一级吸附过滤与 OCS 二级吸附过滤

作用,雨水中的溶解锌降低了 99%,且 CPP 可通过常规路面清洁设备恢复其透水与吸附过滤性能,对延长 PER 的寿命有一定帮助。

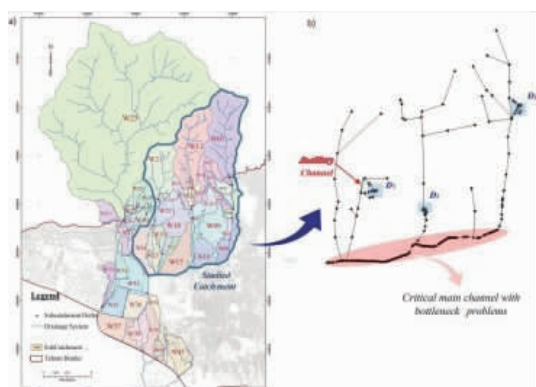


图 2 SWMM 与 MOEA 耦合形成非支配排序增强差分进化模型概化图^[16]

4 结 语

国内外海绵城市、城市防涝及流域防洪的建设工作正如火如荼的展开,相关的模拟技术逐步发展并日趋成熟,SWMM 模型作为最早的一批研究模型,免费开源且模型经过不断更新迭代能更方便、够更准确、更全面的模拟城市及流域范围内的水文和水质的变化,但 SWMM 模型在以下几个方面的研究仍需进一步完善。

(1)目前国内海绵城市建设中 LID 设施规模的选择一般根据住房城乡建设部颁发的《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)》^[18]中容积法的计算数据进行选用,此种方法不能准确反应海绵城市建设前后改造区域范围内的水文和水质的变化情况,在海绵城市建设过程中 SWMM 模型的建立是十分必要的。

(2)目前对于 SWMM 模型的研究仍处于简单的建立区域性 SWMM 模型研究不同 LID 设施对建设成果的影响,不能反映各 LID 设施在模型中的作用机制,强化不同 LID 设施在 SWMM 模型中的作用机理仍是需要深化研究的方向之一。

(3)SWMM 模型作为免费开源、多用途、应用范围广的模型,相较于其他付费封闭模型具有较强的优势,在不同领域与其他专业软件的耦合研究,仍是热门的研究方向之一。

(4)存在较多因素影响 SWMM 模型的建模准确度,对 SWMM 模型参数进行调教研究以提升 SWMM 模型精确性和准确性,SWMM 建模的精细化研究仍有较大的发展空间。

(5)SWMM 模型已有较多的研究成果,但模型的实际场景应用仍有欠缺,SWMM 模型在城市内涝预警、流域防洪预警、洪涝灾害的群众转移等社会服务应用方向有教广阔的应用空间^[19]。

参考文献:

- [1] 王峰,颜正惠,黄伟乐,等.城市雨水内涝成因及对策[J].中国给水排水,2012,28(12):4.
- [2] 国务院灾害调查组.河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告[R].2022.
- [3] 符博渊.SWMM 在城市排水管网系统的应用研究[J].福建质量管理,2016(3):165-169.
- [4] Basnet K, Khadka S, Shrestha K K. Sustainable Urban Storm Water Drainage Design using SWMM: a Case Study of Lamachaur, Pokhara, Nepal[J].2020.
- [5] 沈炜彬,邱梦雨,陈盛达.SWMM 模型下海绵城市建设效果核心指标评价——以萧山世纪城区域为例[J].给水排水,2021,57(8):61-65.
- [6] 杜颖恩,侯精明,马红丽,等.基于 SWMM 的 LID 设施空间格局优化模拟研究[J].中国给水排水,2021,37(19):120-125.
- [7] 杜纤.基于 SWMM 模型的城市暴雨洪涝精细化模拟研究[D].郑州:郑州大学,2020.
- [8] 宋翠萍,王海潮,唐德善.暴雨洪水管理模型 SWMM 研究进展及发展趋势[J].中国给水排水,2015,31(16):16-20.
- [9] 潘峰.基于 SWMM 的校园降雨径流模拟与 LID 改造方案研究[D].保定:河北农业大学,2021.
- [10] 杨金文.基于 SWMM 模型的萍乡市海绵城市建设效果研究[D].南昌:南昌工程学院,2019.
- [11] 刘康安.基于 GIS 和 SWMM 模型的泔河流域面源污染与综合防控研究[D].西安:长安大学,2020.
- [12] 邹澄昊.基于多目标粒子群算法的 LID 设施优化布局研究[D].杭州:浙江工业大学,2020.
- [13] 刘鹏霄.基于混合粒子群算法的 SWMM 模型参数率定研究[D].张家口:河北建筑工程学院,2021.
- [14] Swarnkar A, Bajpai S, Verma M K. Sustainable Management of Stormwater to Prevent Urban Flooding Using SWMM, Virtual, On-line, 2021[C]. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021.
- [15] Choo Y, Sim S, Choe Y. A study on urban inundation using swmm in busan, korea, using existing dams and artificial underground waterways[J]. Water (Switzerland), 2021, 13(12).
- [16] Heydari Mofrad H, Yazdi J. An enhanced multi-objective evolutionary algorithm for the rehabilitation of urban drainage systems[J]. Engineering Optimization, 2022, 54(2):349-367.
- [17] Raje S, Sansalone J. Continuous Simulation of an Infiltration-Exfiltration System Loaded by Stormwater[J]. Journal of Environmental Engineering (United States), 2022, 148(3).
- [18] 住房城乡建设部.海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [19] 龚政,郭蕴哲,杭俊成,等.沿海城市溃堤洪水模拟技术研究进展[J].水利水电科技进展,2020,40(3):78-85.