

基于 GIS 构建 SWMM 城市排水管网模型

赵冬泉¹, 陈吉宁¹, 佟庆远², 王浩正², 曹尚兵², 盛政²

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 北京清华城市规划设计研究院
环境与市政研究所, 北京 100084)

摘要: 基于地理信息系统 (GIS) 对 SWMM 城市排水管网模型进行快速构建, 并在澳门某小区进行了应用和案例分析。结果表明, 该方法简便快速, 可准确提取排水管网的空间结构和属性数据, 模拟结果与监测数据达到较好的拟合, 为模型的进一步深入应用奠定了基础, 对其他分布式水文模型的空间结构和属性数据的获取也有一定的借鉴意义。

关键词: 城市排水管网; 构建; 暴雨径流管理模型; 地理信息系统

中图分类号: TU992.4 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2008)07-0088-04

Construction of SWMM Urban Drainage Network Model Based on GIS

ZHAO Dong-quan¹, CHEN Ji-ning¹, TONG Qing-yuan², WANG Hao-zheng²,
CAO Shang-bing², SHENG Zheng²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Environment and Infrastructure of Urban Planning and Design Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The spatial analysis technology of GIS integrated with Storm Water Management Model (SWMM) was used to construct urban drainage network models rapidly, and a case study was carried out in a selected area of Macau. The results show that the GIS-based approach can extract the spatial information and attribute data efficiently and accurately. The predicted time series match well with the monitored one, which can provide more reliable predictions for the model application. This approach can be referenced by other distributed hydrological models for spatial analysis and attribute data extraction.

Key words: urban drainage network; construction; SWMM; GIS

城市排水管网系统担负着收集城市生活污水和工业废水、及时排除城区内雨水和流经市区雨水的任务。利用数学模型的方法来模拟排水管网是城市排水系统辅助管理的一种有效手段。SWMM 是美国环保局推出的暴雨径流管理模型, 该模型可以对单场降雨或者连续降雨而产生的坡面径流进行动态模拟, 进而解决与城市排水系统相关的水量与水质问题^[1]。目前, SWMM 已被世界各国的研究者广泛用于研究城市暴雨径流污染和城市排水系统的管理上^[2~4]。近年来, SWMM 模型在我国城市排水系统中的应用也越来越多^[5~8]。

由于城市地表特征和排水管网的复杂性, 构建 SWMM 城市排水管网模型成为一项繁重而复杂的工作, 而地理信息系统 (GIS) 技术的快速发展为此提供了技术支持^[9]。在城市排水管网模拟中, 涉及到的汇水区特征、城市排水管道布局等具有显著的地理位置特性, 利用 GIS 可以有效管理涉及的空间数据, 并能提供相应的 GIS 分析, 如: 拓扑分析、三维分析等。

笔者采用 GIS 中的 Basins、Intersect 和 Thiessen 等技术, 建立了 SWMM 汇水区自动划分和属性数据自动提取等一系列快捷方便的方法。该方法在澳门

某典型商住混合小区进行了应用,对小区出水口水量的模拟数据与实际监测数据进行比较,结果证明了该方法的便捷性和可靠性。

1 SWMM 模型简介

SWMM 模型具有强大的水文、水动力模拟功能,对雨水管、合流制管道、自然排放系统都可以进行水量、水质的模拟,包括地表产流、地表汇流、排水管网输送、贮水处理及接纳水体的影响等过程。SWMM 模型对数据输入时间间隔可以是任意的,输出的结果也可以是任意的整数步长,而且对于计算区域的面积大小也没有限制,是一个通用性很好的模型。该模型由 4 个计算模块 (Runoff、Transport、Extran、Storage/Treatment) 组成^[10], SWMM 通过这些模块来分别模拟不同的降雨径流过程。SWMM 模拟的城市排水系统中各个单元的示意图如图 1 所示^[11]。

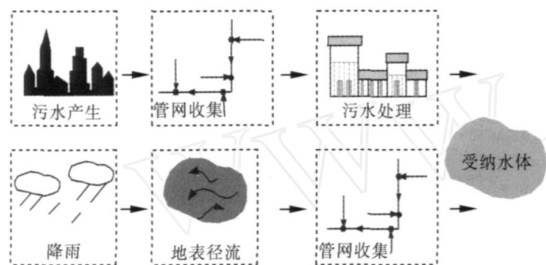


图 1 SWMM 模拟的城市排水系统单元示意

Fig 1 Sketch of urban drainage network simulated by SWMM

2 建模方法

建模是进行城市排水管网模拟的第一步,模型构建的准确性将直接影响模拟的效果。模型构建包括模型结构识别和模型参数识别两部分。笔者利用 DEM (Digital elevation model) 数据通过 GIS 水文分析 (Hydrological Analysis) 中的 Basins 划分工具进行汇水区自动划分,并利用 Thiessen 方法进行子汇水区的细分和边界修正,提取模型结构,然后通过 GIS 的空间统计功能和图层叠加方法提取具有物理意义的相关属性数据,包括汇水区面积、坡度和不透水区比例等,最后可自动将数据库中的数据按照特定格式导出到 SWMM 中进行计算,从而简化了繁琐的数据处理工作,提高了建模的效率。

2.1 汇水区划分

在 SWMM 中,一般将研究区域划分成若干个子汇水区,根据各子汇水区的特性分别计算其汇流过

程,并通过排水管网将各子汇水区的出流进行汇集和输送^[10]。通常,子汇水区的划分是以各城市地图或卫星图片为背景,通过人工勾绘得到的,但是对于较大规模的排水管网概化,这将是非常繁琐的工作,而且人工绘制的汇水区不确定性很大,也难以获得物理意义较强的模型参数,必将影响模型计算的结果。基于 GIS 水文分析中的 Basins 划分功能和 Thiessen 自动划分多边形的方法,辅助进行管道节点对应汇水区的划分,其工作流程如图 2 所示。

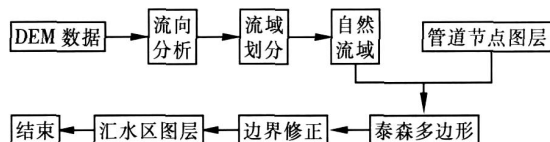


图 2 GIS 支持下的子汇水区划分方法

Fig 2 Subcatchments division procedure based on GIS

由图 2 可知,该方法是通过 DEM 数据进行一系列水文分析来划分子汇水区的。首先使用流向分析工具从 DEM 图层获取流向分析结果,再利用 Basins 工具提取具有物理意义的自然汇水区;然后利用泰森多边形工具,将获得的自然汇水区进一步划分,使得每一个节点对应一个汇水区;最后通过 GIS 的修改工具 (包括删除、修改、合并等) 调整二次划分后的子汇水区输入 SWMM 模型。该方法以 DEM 和研究区检查井数据为基础,通过两次自动划分获得 SWMM 的基本汇水单元,充分利用了已有的数据,使得划分结果更具有实际的物理意义。另外,该方法的所有步骤都是借助 GIS 分析功能实现的,简化了建模过程中的人工操作,提高了建模效率。

2.2 属性数据提取

在 SWMM 模型中,整个城市排水系统被简化为水流和物质在一些主要环境设施或者要素之间进行迁移和转化的过程,其中必不可少的要素包括汇水区、管网节点和排水管道。在构建好整个排水管网模型的空间结构后,需要对上述要素的相关属性进行设置,利用 GIS 的相关数据提取和统计功能,辅助快速提取相关属性数据 (见图 3)。

利用城市排水管网数据提取管道的长度、管径、管道起点和终点的埋深,检查井的地面高程,管道的起始点和终止点编号等属性信息。对于汇水区的土地利用情况,通过将汇水区图层与土地利用现状图进行 GIS 相交运算得到,以便计算汇水区的不透水区比例。另外汇水区的平均坡度将影响 SWMM 模

型模拟过程中汇水区地面漫流的水力学特征,在本研究中利用 GIS 中的栅格数据统计分析功能,对城市 DEM 数据进行分析统计,计算各个汇水区中地面坡度的平均值。

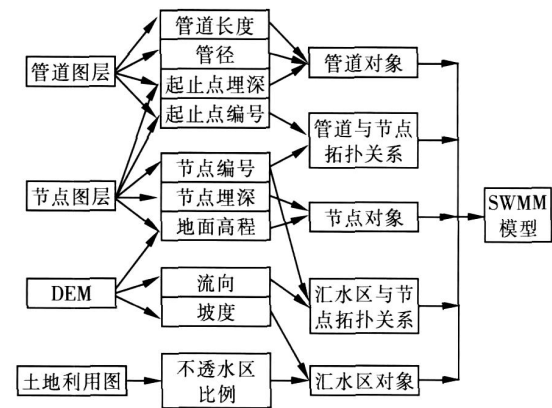


图 3 属性数据提取示意

Fig 3 Procedure of attribute data extraction

3 案例研究

选取澳门雅廉坊小区作为研究案例。小区面积为 13.65 hm²,平均坡度为 7.75%,其中商住混合区占 88.23%、住宅区占 3.08%、绿地面积占 7.51%、其他用地占 1.18%,不透水率约为 60%,人口约为 2.7×10⁴ 人。

该小区内排水管道为分流制排水系统,小区排水管网模型的构建过程见图 4。

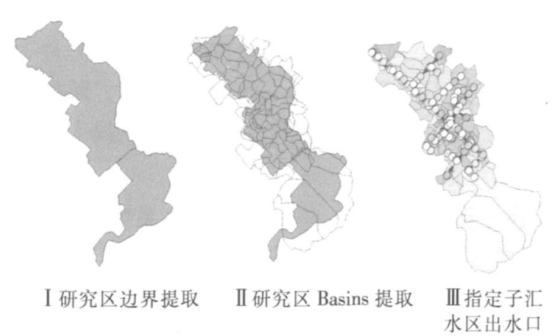


图 4 试验小区排水管网模型自动构建过程

Fig 4 Construction of drainage network model of experimental district

首先,根据收集的研究区域必要的的数据源 (DEM 数据、卫星影像和排水管网)对研究区边界进行识别,然后进行汇水区自动划分并提取属性数据,最后指定各子汇水区的出水口 (节点或其他相邻子汇水区)。试验小区的参数设置情况如下:汇水区面积、管道长度、管径、管道起点和终点及其埋深通

过管网数据获得;检查井的地面高程、汇水区的坡度等属性信息根据 DEM 数据通过 GIS 统计计算方法获得;不透水区比例通过汇水区的土地利用比例获得。参考国内外相关文献的报道^[2~7],根据研究区域的地面特征设定其他经验参数:透水区曼宁系数为 0.24、不透水区曼宁系数为 0.012、透水区洼蓄量为 2.5 mm、不透水区洼蓄量为 0.3 mm、管道粗糙率为 0.013;渗透采用 Horton 模式,最大渗透率为 76.2 mm/h、最小渗透率为 3.18 mm/h,入渗递减率为 4.14/h。

利用构建好的雅廉坊试验小区排水管网模型对 2005 年 8 月 24 日降雨进行模拟,模拟结果与雅廉坊汇水区出水口水量监测结果进行了对比,对比结果见图 5。

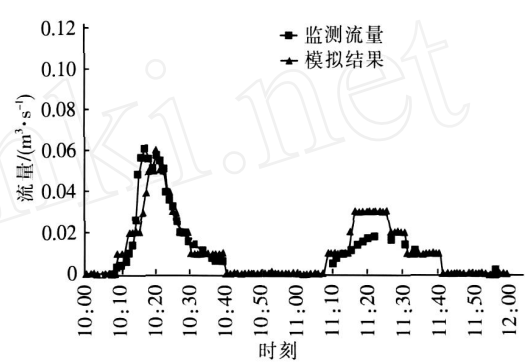


图 5 模拟结果和监测数据对比

Fig 5 Comparison between simulation results and field monitoring data

从图 5 可以看出,当在模型中输入了准确的排水管网结构和具有明显物理意义的相关属性数据时,其他模型参数采取文献中的经验参数,模拟结果与监测数据已经达到了较好的拟合。两条曲线的峰形,最大流量以及最大流量发生的时间之间的偏差都较小,这证明了 SWMM 城市排水管网模拟模型的可靠性,也说明了排水管网的空间结构和排水管网要素的相关属性数据的准确性对模拟结果的好坏有着决定性的影响。在该模型的基础上,对模型参数进行调整和优化,可以使模拟结果更加符合观测情况,从而辅助研究者进行城市典型排水流域的暴雨径流特征、产流规律和输送规律的研究和讨论。

4 结论

基于 GIS 空间分析技术对 SWMM 城市排水管网模型进行快速构建,并在澳门地区某小区进行了案例分析和应用。结果表明,该方法可以简便快速

地构建复杂的城市排水管网模型,准确提取排水管网的空间结构,并使得其中大部分属性数据具有很强的物理意义,提高了模型预测分析的准确性,为模型的进一步深入应用奠定了基础,对其他分布式水文模型的空间结构和属性数据的获取也有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 董欣,陈吉宁,赵冬泉. SWMM模型在城市排水系统规划中的应用[J]. 给水排水, 2006, 32(5): 106 - 109.
- [2] Campbell C W, Sullivan S M. Simulating time-varying cave flow and water levels using the Storm Water Management Model[J]. Engineering Geology, 2002, 65(8): 133 - 139.
- [3] Zaghoul N A, M A Abu Kiefa. Neural network solution of inverse parameters used in the sensitivity-calibration analyses of the SWMM model simulations[J]. Advances in Engineering Software, 2001, 32(7): 587 - 595.
- [4] Burian S J, Streit G E, McPherson T N, et al. Modeling the atmospheric deposition and stormwater washoff of nitrogen compounds[J]. Environmental Modelling & Software, 2001, 16(5): 467 - 479.
- [5] 刘俊,徐向阳. 城市雨洪模型在天津市区排水分析计算中的应用[J]. 海河水利, 2001, (1): 9 - 11.
- [6] 任伯帆,邓仁健,李文健. SWMM模型原理及其在霞凝港区的应用[J]. 水运工程, 2006, (4): 41 - 44.
- [7] 丛翔宇,倪广恒,惠士博,等. 基于 SWMM的北京市典型城区暴雨洪水模拟分析[J]. 水利水电技术, 2006, 37(4): 64 - 67.
- [8] 刘俊,郭亮辉,张建涛,等. 基于 SWMM模拟上海市区排水及地面淹水过程[J]. 中国给水排水, 2006, 22(21): 64 - 70.
- [9] He C S, Croyley I I T E. Application of a distributed large basin runoff model in the Great Lakes basin[J]. Control Engineering Practice, 2007, 15(8): 1001 - 1011.
- [10] Huber W C, Dickinson R E. Storm Water Management Model User's Manual (4th version) [R]. Georgia: Environmental Protection Agency, 1992.

电话: 13811786308

E-mail: whz@mail.bjenv.com

收稿日期: 2007 - 12 - 20

(上接第 87页)

参考文献:

- [1] 周云龙. 植物生物学[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [2] 高拯民,李宪法,王绍堂,等. 城市污水土地处理利用设计手册[M]. 北京:中国标准出版社, 1990.
- [3] Pauliukonis N, Schneider R. Temporal patterns in evapotranspiration from lysimeters with three common wetland plant species in the eastern United States[J]. Aquatic Botany, 2001, 71(1): 35 - 46.
- [4] Idso S B. Relative rates of evaporative water loss from open and vegetation covered water bodies[J]. Water Resour Bull, 1981, 17(1): 46 - 48.
- [5] Wenker A G, Dougherty J M, McHenry J L, et al. Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates[J]. Ecol Eng, 2002, 19(1): 1 - 11.
- [6] Glenn E, Thompson T L, Frye R, et al. Effects of salinity on growth and evapotranspiration of *Typha domingensis* Pers[J]. Aquatic Botany, 1995, 52(1): 75 - 91.
- [7] Lafluer P M. Evapotranspiration from sedge-dominated wetland surfaces[J]. Aquatic Botany, 1990, 37(2): 341 - 353.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
- [9] Meuleman A F M, van Logtestijn R, Rijs G B J, et al. Water and mass budgets of a vertical-flow constructed wetland used for wastewater treatment[J]. Ecol Eng, 2003, 20(1): 31 - 44.
- [10] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统模型研究进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(3): 353 - 358.
- [11] 毛战坡,尹澄清,单保庆,等. 研究湿地有效面积对暴雨径流调控作用的多因子模型[J]. 水利学报, 2002, (7): 57 - 63.

电话: 13621168562

E-mail: lsy01@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2007 - 12 - 20