

SWMM 模型在低洼积水工程的应用

胡剑锋¹, 方开凯²

(1. 杭州市西湖区城市管理监管中心, 杭州 310012; 2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 西安 710055)

摘 要: 现在大多数中小型设计院都是按照规范及经验对区域排水系统中的现有问题进行改建设计, 具体效果无法有一个准确的定量分析, 难以用具体的数据来解释改善之后能达到的效果, 而 SWMM 与 ArcGIS 作为免费的软件可解决上述缺陷。利用 SWMM(storm water management model)与 ArcGIS 结合, 以及 MIKE 等软件模型模拟区域排水系统的运行现状, 分析得出现有管网的“瓶颈制约”, 进而提出改造方案来缓减节点溢流和管道过载的情况。提示通过模型的建立为城市排水管网改建和设计提供了技术支持, 具有理论指导意义。

关键词: ArcGIS; SWMM; 排水管网; 低洼积水; 管道过载

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2014)06-0451-04

Low-lying water treatment based on SWMM

HU Jianfeng¹, FANG Kaikai²

(1. Xihu District City Management Supervision Center, Hangzhou 310012, China; 2. Institute of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Now in most of the small and medium-sized design institutes, reform design to problems in regional drainage system is according to the standard and experiences, but the specific effect cannot be expressed by an accurate estimate which need to explain to the stakeholders. However with the help of geographic information system(ArcGIS) and storm water management mode(SWMM), we can solve this problem. By geographic information system(ArcGIS) and storm water management model (SWMM) or MIKE, the running condition of the rain pipe system is simulated to find out the “bottleneck” of the pipe network. Based on that, we put forward reform project to ease the condition of the node flooding and conduit surcharge. Supporting by this technology, the result can be applied to optimize the design and reconstruction of urban drainage network.

Key words: ArcGIS; SWMM; drainage network; low-lying water; pipeline overload

收稿日期: 2014-09-05

作者简介: 胡剑锋(1974—), 男, 浙江省杭州人, 助理工程师, 主要从事基础设施工程管理及设计前期工作研究。

随着中国城市化进程的不断加快,杭州市城市化率由 1990 年的 40.46% 增加到了 2012 年的 74.3%。与之不匹配的是城市市政建设基础设施的严重滞后。2013 年,杭州先后遭遇了“3.24”“8.18”“9.13”强降雨及 23 号强台风“菲特”袭扰,严重影响了杭州城区的正常运转。面对强降雨城市内涝现象越来越严重,西湖区留下、天目山路、文三路、虎跑路、黄姑山路、教工路、曙光路、黄龙路等多个地段都出现严重积水现象,为此,杭州市率先启动了“五水共治”工程。然而,防汛排涝是一个系统工程,局部修复、改造无法从根本上解决城市积水的问题。因此,相对准确地了解城市排水管网的运行现状,对区域性的积水因素进行定性分析,利用数值模拟的方法合理地进行排水管网的优化与扩建就显得那么的必要和紧迫。

1 积水成因分析

1.1 气候特征

杭州位于亚热带季风气候区,具有四季分明、雨量充沛的气候特征。梅雨和台风雨为本流域大洪水的主要成因,若大洪水时又恰好遇上钱塘江天文大潮,钱塘江极易出现特高水位,如 1997 年 7 月 9 日(农历 6 月 5 日)梅雨及 8 月 20 日 11 号台风(农历 7 月 18 日),闸口站水位分别为 7.85 m 和 8.13 m,一年内连续 2 次突破历史最高水位记录。

根据闸口站 1946—2005 年降水资料统计,多年平均降水量 1 451.4 mm。降水量年际变化明显,最丰年 2 374.4 mm(1954 年),最枯年 941.1 mm(1967 年)。年内分配亦不均匀,从多年平均日降水量看:3—9 月份降水量 1 092.3 mm,占全年的 75% 以上,最大月降水量 215.8 mm(6 月份),最小月降水为 58.1 mm(12 月份)。实测最大 1 h 降雨量为 90.2 mm,最大 1 日降雨量为 261.0 mm(1962 年 9 月 5 日),最大 3 日降水量为 337.3 mm(1962 年 9 月 4—6 日),最大 7 日降水量为 361.1 mm(1999 年 6 月 24—30 日)。杭州市区多年月平均降雨量统计情况见表 1。

表 1 杭州市区多年月平均降雨量

Table 1 Years of average monthly rainfall of Hangzhou downtown
mm

月份	降雨量	月份	降雨量
1	71.0	7	149.4
2	89.5	8	153.0
3	130.1	9	153.2
4	127.7	10	78.7
5	163.0	11	61.8
6	215.8	12	58.1

1.2 径流特征

位于杭州西部的西湖区,区块周边的雨水主要受纳水体为沿山河、西溪河、古荡湾河、冯家河、余杭塘河、西溪湿地及周边水域。区块周边河道水系属于运西片,根据规划,运西片属运河水系,涝水主要经余杭塘河和沿山河排入运河,流入杭嘉湖平原。长时间、高强度的连续暴雨,外河水位上涨是造成内涝的主要原因。典型河流径流特征举例见图 1 和图 2。

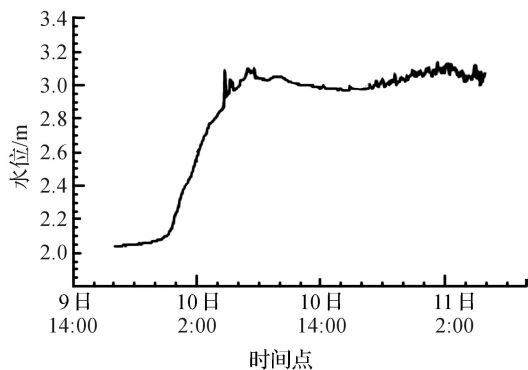


图 1 沿山河西闸

Fig. 1 West gate of Yanshan River

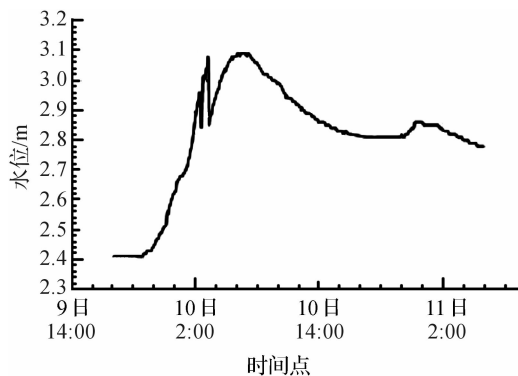


图 2 五常港南

Fig. 2 South of Port Wuchang

1.3 带共性的因素

1) 区块大环境水利设施不完善,制约了河道泄洪能力,造成区域外围河道水位较高、河道泄洪不畅,局部河道淤积严重、断面过窄。

2) 区域自身防洪排涝系统建设滞后。现状区域内雨水管道多为重力排放,且排出口标高较低,有的排出口现状就在常水位下。这种情况就形成了在降雨初期,下游河道水面标高和管道水头损失之和,小于地块标高,则地块雨水可排入河道或管道;随着降雨量增加,降雨历时加长,河道水位逐渐升高,当两者之和大于地块标高时,雨水管道中充满雨水,地块雨水就无法重力外排河道,造成地块积水。

3) 老小区或老路下现状雨水管道设计标准(重现期)偏低,雨水管道内部存在封头未敲除、淤堵、脱节、断裂、倒坡等现象,路面雨水口尺寸偏小、非标、淤积严重等都会形成积水问题。

2 传统设计的局限性

目前,传统的排水管渠设计是基于暴雨强度公式的基础上的,主要针对局部路段提出设计参数。最主要是考虑地块面积、径流系数、暴雨重现期等主要因素,对区域内的管网、下垫面等缺少综合考虑。所以在河道径流在初期阶段能够排除内涝积水,而在河道高水位时排水管道无法正常运行,城市低洼带造成城市内涝积水严重。因此,通过软件来模拟低洼积水、管网的节点溢流等来增大工程设计的前瞻性和可靠性,是目前迫切需要解决的问题。

3 模型与模拟方法

SWMM(storm water management model,暴雨洪水管理模型)是一个动态的降水-径流模拟模型,主要是用于模拟城市某一单一降水事件或长期的水量和水质模拟。通过 SWMM 进行建模,对每个子流域在不同时间步长任意时刻所产生径流的水质和水量,以及对每个管道和河流中水的水质、水深和流量等进行追踪模拟。运用这一软件国内外已经有相关的研究成果^[1]。

刘俊等^[2]以 SWMM 模型为基础,模拟了街区和汇水区的地面积水全过程,从而开发出了适合上海市的地表产流和防洪管理要求的雨洪模型。通过 SWMM 模型,丛翔宇等^[3]也相应模拟了北京某小区在不同暴雨设计频率下的排水效果,积水和道路坡面流等情况。上海同济大学环境科学与工程学院的李树平教授更是研究出了 SWMM 的汉化版,大大减少了国内设计人员的工作量,为大家提供了方便。

3.1 大型工程建模方法

建模的过程可以通过利用 ArcGIS 的水文分析(hydrological analysis)功能自动划分汇水区,对大型工程来说大大减轻了 SWMM 在建模过程中的工作量。建立数据库需要准确地建立属性与空间数据的关系,排水管网和子流域的拓扑关系需要按模型构建的原则进行检查,所以建立数据库要放在城市雨洪模型构建之前。

管网、道路、检查井及雨水口等都属于城市雨洪模型所涉及的主要空间信息,为了更加合理有效地管理这些空间数据和属性数据,必须将其精确地输入数据库。城市雨洪模型数据集的点、线、面三要素,是地理空间数据库中的主要元素。点,代表雨水口、排放口、检查井等;线,代表管线、街道、河道等;面,代表子流域。

结合 ArcGIS 和 SWMM 软件的共同作用,建立一个包括静态数据库(水力计算过程不变)及预报时的动态数据^[3]的系统数据库^[4]。静态数据对应包括线(排水管道、街道)的长度、管径和子流域的面积及坡度等,节点(代表了检查井、雨水口、出口)的地面标高、井深、进出口偏移等。以上数据的存储则采用了地理空间数据库中的属性表,其规则如下:在 SWMM 中分别建立 4 个图层(节点、管网、排放口和子流域),并分别配备一个 SWMM 模型所需要的属性表,属性表里面的每一条数据都记录着图层上唯一的一个空间地物。动态数据由 SWMM 模型计算结果的输出和降雨信息的输入这两部分组成,利用 ArcGIS 与 SWMM 对数据进行统计分析的流程见图 3。

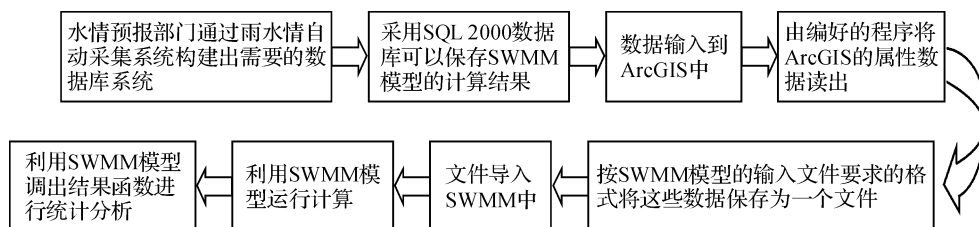






图 3 数据统计流程图

Fig. 3 Flow chart of data statistics

3.2 小型工程建模方法

对于小型工程的建模用 ArcGIS 显得麻烦,可以在 SWMM 中直接进行操作。首先可以在 SWMM 软件中使用背景图像,将地形图以 jpg 的形式导入 SWMM 中,在主菜单中选择视图|背景|调用对背景的比例进行调节;再按照在 CAD 中的汇水区域划分手动进行绘制;然后把手绘的汇水面积的各项系数(出水口、宽度、面积、坡度、不渗透性等)输入。接着用节点  表示 CAD 中对应的检查井,用  表示排放口,检查井之间用  进行连接,代表了排水管道,然后根据所给的地下雨污管线的电线表赋予其对应的属性,节点分别输入内底标高、最大水深、初始深度等;管道则选择对应的形状,最大深度,长度,进出水的偏移等。降雨用雨量计  来表示,雨量计的功能则是为研究的区域提供降雨数据。降雨数据的来源既可以是自己定义的,也可以是来自水情部门的文件结合芝加哥雨型^[5]。雨量计需要输入的参数基本包括降雨数据类型、降雨数据来源、时间步长等。而一般降雨数据包含了 3 个合成的设计事件,表达为历时 2 h 的 2、10 和 100 年一遇的暴雨。每一暴雨通过 SWMM 模型中独立的时间序列对象表示,包含了 5 min 时间间隔的降雨强度记录。时间序列分别命名为 2 年、10 年和 100 年,具体效果见图 4。最后运行模型,可执行 2 年模拟,根据对象制表。

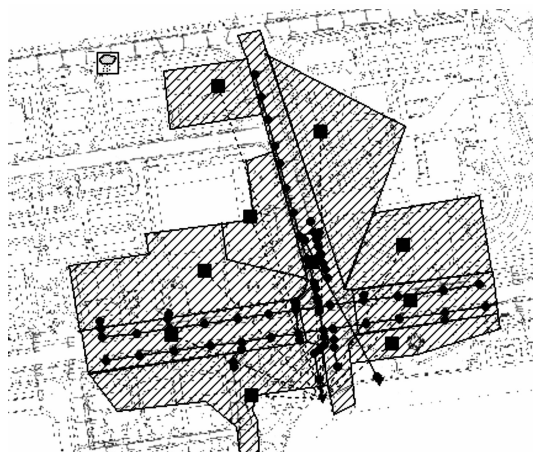


图 4 运行界面

Fig. 4 Operation interface

4 结 语

SWMM 的内涝模型具有一定的精度和可行性,可以通过该模型分别分析当不同重现期的暴雨发生时地面的淹没情况。节点溢流的原因则可以基于 SWMM 的运行结果进行对应的分析。通过对上游排水分区的查看,看看其是否存在问题,出现溢流是否是因为地势相对过低的原因等;然后对积水点下游管段进行排查,看其是否是因为管径设计得太小、管道会不会存在堵塞的现象等。对上述的可能性检查完之后,通过多方面综合因素(如施工造价、施工难度及运行成本)的考虑,以改造目的为前提选择最合适的改造方案,使系统运行性能实现最优化。在以后的工程中,设计方结合 SWMM 软件进行建模可以大大提高设计的可靠性,通过对模型的运行也可相对更加直观地看到改良后的效果。

参考文献:

- [1] Rossman L A. Storm Water Manual Version 5.0[EB/OL]. [2014-07-20]. http://www.epa.gov/ednnrmrl/models/swmm/epaswmm5_user_manual.pdf.
- [2] 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): 64-66, 70.
- [3] 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.
- [4] 张红旗. 排水管网水力模型与地理信息系统(GIS)集成技术研究[D]. 北京:北京工业大学, 2009.
- [5] 岑国平,沈晋,范荣生. 城市设计暴雨雨型研究[J]. 水科学进展, 1998, 9(1): 41-46.