

# 在 GIS 技术支持下建立暴雨水调蓄模型

邵尧明

(杭州市勘测设计研究院,浙江 杭州 310012)

## Establishment of GIS Technology Supported SWMM

SHAO Yao-ming

**摘要:**在城市 GIS 技术平台支持下建立暴雨水调蓄模型,经过大量的实测资料分析验证,首次提出城市暴雨水浅蓄模型的新概念,实现对处于城市地区积水灾害的实时分析预报,并分析 GIS 在水动力学模型中的应用。

**关键词:**GIS 技术;暴雨水;调蓄模型;试验研究

### 一、概 述

GIS 作为采集、存储、处理和分析空间数据的强大工具,通过地貌要素和地面模型自动生成功能及 3 维空间处理模块,可实现虚拟 3 维直观演示和各种分析,为政府部门提供一种方便快捷的分析方法和信息支持。城市 GIS 是城市规划建设、市政工程管理最佳手段,随着人民对环境生活质量追求的日益提高,面对城市暴雨水的优化管理,需要利用工程或非工程措施来进一步提高抗御自然灾害的能力,并优先采用具有投入少、工期短、见效快的非工程措施,即借助城市 GIS 技术,融计算机图形和数据库于一体,储存和处理空间信息的高新技术,结合美国暴雨水管理模型 (SWMM) 这一国际领先技术,把地理位置和相关属性有机结合起来。结构和功能合理的城市暴雨水管理系统,对提高管理效率、降低决策中的人为失误、减少城市暴雨水的影响有着重要作用,可满足对城市暴雨水管理模型建设的要求,借助其独有的模型分析功能和可视化表达,提高城市暴雨水管理的效率和科学性。

### 二、试验小区概况及模型要素的生成

试验小区——天一家园地处浙江省余姚市城市中心,位于姚江北侧,六浦江西岸,是一处汇水界定范围明确,基本地面高程约为 3.7 m (黄海基面),排水工程雨水与污水分流制,相对独立闭合的试验区,排水总面积为 15 576.38 m<sup>2</sup>,其中住宅建筑占地面积 4 873.37 m<sup>2</sup>,铺砌面积 5 294.89 m<sup>2</sup>,绿地及坡地面

积 5 408.12 m<sup>2</sup>,是一处典型的住宅小区。试验区排水管网总长度 1 729.29 m,其中雨水管为 1 224.38 m,污水管 504.91 m。雨水管网纵横交织,相互连接,汇集后通过量水堰排入六浦江。

#### 1. 数字高程模型 (DEM) 的生成

建立 DEM 的方法有多种,一是数据源及采集方法直接通过地面测量,如用 RTK、全站仪、野外测量等作业方法;二是从现有地形图上采集,如格网读点法、数字化仪手扶跟踪及扫描仪半自动采集法等,将离散的地形数据通过某种适当的算法转化为相应的网格化的地形数据。有多种转化算法可供选择,如距离加权法、最小二乘法、多面函数法、泰森多边形法等,要得到一种既有相当精度又比较光滑的网格,需要仔细选择合适的计算方法。利用 GIS 的特种模块对地形图中的等高线进行矢量化,然后在分析模块中把所获取的等高线数据抽稀处理生成 DEM 模型。

#### 2. 水深 (H) 容积 (V) 关系曲线的建立

采用与地面模型同样的原理和方法可以形成水深 (H) 容积 (V) 关系曲线,以建成 3 维的地面模型。利用 GIS 技术与水动力水文模型相结合,再根据 DEM 提供 3 维数据。DEM 是通过进行水文分析如汇水区分析、水系网络分析、降雨分析、蓄洪计算、积水分析和径流分析等,来预测、模拟显示城市积水区域,确立损失率和积水深度及各水历时的函数关系,进一步分析积水损失,评估计算损失情况。同时得到暴雨水调蓄模型研究所需的各积水深度 (H) 与容积 (V) 关系曲线,见图 1。

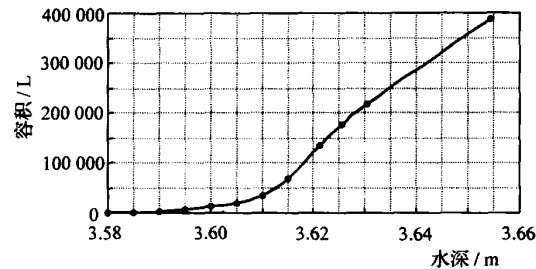


图 1 水深 (H) 与容积 (V) 关系曲线图

3. 迳流系数的率定

数字高程、土壤、植被、土地利用等数据直接影响暴雨形成的地表迳流,因数字高程模型得到注蓄量及汇集方向等,土壤结构、植被类型及覆盖密度等反映地表贮水能力,土地利用类型也直接影响地表迳流量。因此,通过 GIS 地理、地貌要素模块的查询,得到各地类要素的面积,见表 1,然后求得综合迳流系数,综合迳流系数权重关系式

$$\phi = \frac{\phi_1 f_1 + \phi_2 f_2 + \phi_3 f_3 + \phi_4 f_4}{f_1 + f_2 + f_3 + f_4} \tag{1}$$

式中,  $\phi$  为各下垫面迳流系数;  $f$  为各区块地类面积。

表 1 试验小区下垫面与迳流系数统计表

地 类	建筑区	铺砌区	绿坪区	坡地区	备 注
面积/ $\text{m}^2$	4 873.37	5 294.89	2 971.33	2 436.79	综合迳流 系数为
迳流系数	0.95	0.90	0.13	0.15	0.651

三、数据观测采集系统

观测数据采集借助计算机技术,通过降雨,由雨量传感器发出指令信号,通过有线网络传输给计算机,计算机即自动开启,采集各要素的试验数据。

1. 雨量器设置及计量方法

雨量器设置在试验小区内的南侧坡地顶点,高程为 5.37 m。地形空旷开阔,无遮挡,距建筑物相应高度的天顶距小于 20°。配有器口直径为 20 cm 的自动翻斗式雨量器,它由集水漏斗、翻斗、磁钢和钢管簧管等组成。降雨时,雨水进水汛斗流入翻斗,当水量达到定值为 0.5 mm 计量后引起盛水翻斗翻转,并由磁钢吸合,钢管产生一个通断电信号,此电信号计数脉冲,如此反复。翻动第一斗的瞬间同时开启计算机采集测流数据。

2. 迳流量测定及计算方法

三角形量水堰,为一等腰三角形缺口,缺口边锐缘,倾角面向下游,由厚 3 mm 的不锈钢板制作,堰口

顶角为 90°的等腰三角形量水堰。过堰流量通过堰水深来确定,在堰板上游 40 cm 处设置了液位变送器,液位变送器外套用不锈钢管固定,钢管顶端布有网织孔,以消除水力波动,提高测流的精度。液位变送器最大量程为 0.5 m,液位变送器的精度为  $\pm 0.25\%$ ,最大限差为  $\pm 1.25\text{ mm}$ 。水流形态为自由出流时的流量公式

$$Q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} \times \tan \frac{\phi}{2} H^{2.5} \tag{2}$$

式中,  $Q$  为过堰流量,  $\text{L/s}$ ;  $\mu$  为流量系数为 0.6;  $g$  为重力加速度,  $9.81\text{ m/s}^2$ ;  $\phi$  为堰口顶角;  $H$  为过堰水深, m。

3. 实测降雨与迳流量

数据采集以秒为单位采集一组,本次降雨共采集数据 20 082 组。为了便于分析,将每秒采集的数据以 5 min 截取平均,统计得出 5 min 实测暴雨量及迳流量过程成果,见图 2。

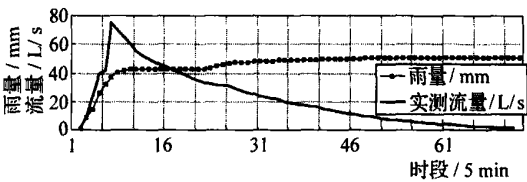


图 2 5 min 实测雨量及迳流量过程线图  
(2000 年 8 月 16 日)

四、调蓄模型的建立与验证

调蓄模型的建立是针对当今社会城市化的加速发展,对雨洪迳流形成进行研究,并得出其规律,从城市满足排水规划、设计到实时管理的迫切需要。本试验分别建立了不同下垫面的 3 个试验小区进行联合仿真研究,采集了大量的观测数据和研究成果,对美国的 SWMM 模型、日本国的坦克模型和我国长期沿用的前苏联的计算方法进行深入的仿真研究,运用水体力学、水文学、测量学的基本理论,在 GIS 技术平台支持下,利用 GIS 进行空间数据处理和分析,首次建立了暴雨水浅调模型,经严密的分析推演,以天一家园试验小区实测暴雨水和地面调蓄模型进行仿真,计算值与实测值较好地吻合成果见图 3。

1. 雨水算过流能力试验

雨水算的过流能力是城市雨水排放设计的重要依据之一,直接关系到城市雨水排放工程建设的投资和安全运行。在现行的设计规范和国内外的资料中,都没有雨水算过流能力的详细资料。我们委托

浙江大学水工结构与水环境研究所,进行了雨水算的流量-水位关系模型试验,以建立各类型雨水算的进水水头与进水流量之间的关系。以下分别为侧立式、屋顶圆形雨水算经验公式。

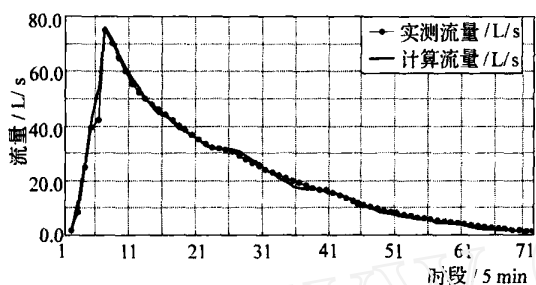


图 3 2000 年 8 月 16 日计算与实测流量过程对比图

#### 侧立式雨水算关系式

$$Q = AH^B \quad (3)$$

其中,  $A = 0.56$ ,  $B = 1.51$ 。

#### 圆形雨水算关系式

$$(\text{非淹没状态下}) \quad Q = AH^B \quad (4)$$

其中,  $A = 0.51$ ,  $B = 0.90$ 。

$$(\text{淹没状态下}) \quad Q = AH^B \quad (5)$$

其中,  $A = 1.43$ ,  $B = 0.35$ 。

式中,  $Q$  为进水流量,  $L/s$ ;  $A$  为流量系数;  $H$  为水深,  $cm$ ;  $B$  为指数。

#### 2. 浅蓄数学模型

实用的数学模型,就是把客观的条件简化,把次要的、偶然的因素去掉,保留其基本规律,根据这些条件建立的暴雨水调蓄模型必须是逻辑严密、完整的计算系统,模型主要通过时段降雨量与排放量进行调节计算,将某一时段始的入水量,减去该时段末的总入算量。当降雨量渐增时,部分水量不能及时入算,还滞蓄在路面、绿地、屋面等滞蓄的区域,时段始入水量和时段末滞蓄的水量关系式分别为

$$V_{\text{始}} = F\phi I \quad (6)$$

式中,  $V_{\text{始}}$  为时段开始的入水量;  $F$  为汇水面积;  $\phi$  为径流系数;  $I$  为时段降雨量。

$$V_{\text{末}} = V_{\text{始}} - T(Q_1 + Q_2 + Q_i) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式中,  $V_{\text{末}}$  为时段末滞蓄的总水量;  $T$  为时段 (取

5 min);  $Q_i$  为各雨水算入算流量。

然后,根据  $V_{\text{末}}$  查算水深 ( $H$ ) 容积 ( $V$ ) 关系曲线图,求得该时段内的积水深度 ( $H$ )。根据这一计算成果,建立城市暴雨积水预报和实时管理模型。以暴雨水浅蓄模型为基础,结合地形、管网、泵站、河网、历史暴雨积水、雨型统计等资料进行联合仿真,在得到气象部门发布的暴雨天气预报后,模型可对暴雨可能产生的积水地点、积水深度和积水时间作出精确的预报,并通过 GIS 进行显示和分析。

#### 3. 暴雨水动力模型要素

管道输送是将以上入各雨水算产生的迳流过程通过雨水管道及雨水井进行演进,迳流演进中的雨水管道纵横交错,各水力因子的概率分布系统复杂。将雨水管道分为管道与非管道两大类,其中管道过水断面的管径 ( $D$ ) 为 200 cm 和 400 cm 两种,非管道系与管道之间连接点有雨水检查井和窨井两类。

暴雨水浅蓄模型以大量的实测资料为依据,结合姚江流域河网的水文、地形、水利工程等特点进行实时校正,扩展了闸门、泵站等多种运行控制方式的模拟、往复流糙率的处理、产汇流计算、计算结果 GIS 显示等功能,并经过同步实测水位、雨量、流量资料对模型参数进行了率定。计算结果在 GIS 平台上实现了水位和流量变化在城区河网、管网图上的动态显示。

#### 五、结束语

随着 GIS 技术不断发展,空间数据的数量和质量不断增强,大量的空间信息可以集成到 3 维 GIS 中进行分析使用。基于城市 GIS 的辅助决策支持系统在城市暴雨水管理模型领域中的应用已成为一个必然的趋势。我们在城市暴雨水浅蓄模型的研究方面进行的有益的探索和实践,对于浅蓄模型的设计思想、体系结构和关键技术在城市地区雨水排放的研究及应用方面具有借鉴意义。经试验小区——天一家园于 2000 年 8 月 16 日大暴雨的验证,排除影响市区积水的人为因素,计算结果与实测资料吻合较好。该模型的建立将在城市防汛指挥决策的科学化、及时性方面发挥较大的作用。

参考文献(略)