

城市洪水分析与模拟的 GIS 方法研究

张 犁

中国科学院
(地理研究所, 北京 100101)
国家计划委员会

提 要 城市独特的双重排水体系以及城市化过程的不断加剧, 使城市洪水问题的研究远较农村地区的洪水研究复杂。本文在总结国内外城市洪水研究经验的基础上, 探讨利用地理信息系统 (GIS) 进行城市洪水过程的分析与模拟, 提出了一些 GIS 求解策略, 包括流域水文特征参数的提取、分布式降雨—径流模型及洪水演进模型, 并应用于福建三明市 1994 年 5 月 3 日城市洪水过程的反演, 取得较好的成果。

关键词 城市洪水 地理信息系统 分布式水文参数模型

1 城市洪水过程的模拟

城市水文模型作为水文模型的一个分支, 有其独特的体系结构。虽然城市内部的排水问题可以用降雨—径流模型来解决, 但是, 城市外部的洪水控制问题却缺少合适的模型, 很少有文献探讨外部作用的城市洪水的演进过程。一方面是因为至今仍未找到稳定可靠的二维圣维南方程组的有效解法, 另一方面也可能是因为缺乏理想的微地形数字表达方法。GIS 在整个水文学领域的应用仍不深入, GIS 专业人员和水文学家之间缺乏足够的交流。

从 GIS 的角度来看, 考虑到流域水文空间差异的分布式模型较传统的集总模型更加适合 GIS 的数据模型和数据结构, 而且, 在预测空间分异对流域水文特征的影响等方面, 分布式模型有着显著的优势^[1]。

城市独特的人工地貌特征和排水系统使得坡面流域流路难于确定, 地形特征难于用常规方法表达, 人工建筑的障碍增加了洪水波的非线性成份, 没有 GIS 的支持, 很难利用分布式模型计算城市的降雨—径流过程, 因此, 需要借助于 GIS 的功能, 尤其是地形表现、土地利用和土壤数据的获取、坡面流路径的确定、水文参数的提取等方面, 把 GIS 的分析方法和手段结合到降雨—径流计算模型中。

1.1 坡面流计算

假设把城市流域离散为均匀格网, 每个格网都将被看作是一个独立的水文响应单元。在这些格网单元上, 有降雨、下渗、蒸发、入流和出流等水文过程, 格网单元的物理特征由格网单元大小、土地利用类型、土壤类型、坡度、曼宁系数等体现。通过对每个格网单元降雨转化为径流的计算, 可以获得整个流域降雨—径流过程的时空分布。这种方法称为

来稿日期: 1995—07; 收到修改稿日期: 1995—10。

“串联水库”, 每个格网单元作为一个“水库”与其他下游“水库”串联起来, 串联的方式和顺序由单流路或多流路算法确定, 水流路径仅受重力作用的影响, 并适当考虑建筑设施的阻断作用。在这种情况下, 下游单元的任何水文改变不会影响到上游单元, 因此, “串联水库”法没有考虑回水的影响 (比如说潮汐的顶托)。

这种非线性水库的模式可以通过结合曼宁方程和连续方程建立起来^[2,3]。对于每个格网单元, 连续方程可写为:

$$\frac{dv}{dt} = A \cdot \frac{dd}{dt} = A \cdot R_e - Q_o + Q_i \quad (1-1)$$

其中, $v = A \cdot d$, A 为格网单元面积, d 为该单元上的水深, t 为时间 (秒), R_e 为净雨量 (即该单元接受的降雨减去蒸发和下渗的损失), Q_i 为从其他邻元流入的径流量, Q_o 为流出的流量。

等式 1 可进一步细化为:

$$d = d_o + R_e + \left(\frac{\sum Q_i}{A} - Q_o/A \right) \cdot \Delta t \quad (1-2)$$

其中, d 和 d_o 为时段 Δt 结束和开始时格网单元的水深; Δt 为计算的时间步长; $\sum Q_i$ 表示从其他邻元的入流, Q_o 为该单元的出流; R_e 和 A 的含义与等式 1 相同。

浅河道的曼宁公式可以用于计算每个格网单元的出流 (公式 1-3):

$$Q = \text{width} \cdot \frac{1}{n} \cdot (d - d_p)^{\frac{5}{3}} \cdot \text{slope}^{\frac{1}{2}} \quad (1-3)$$

其中, width 为格网单元宽度 (m); slope 为格网单元沿水流路径方向的坡度 (m/m); d_p 为蓄洼深度 (m); n 为曼宁粗糙度系数; d 为 Δt 时段末单元内的水深。

合并公式 (1-1) 和公式 (1-3) 可以得到一个非线性微分方程, 即非线性水库方程 (公式 1-4), 它可以用来求解未知的 Δt 时段末格网单元内的水深 d 。

$$\frac{dd}{dt} = R_e - \frac{\text{width}}{A \cdot n} \cdot (d - d_p)^{\frac{5}{3}} \cdot \text{slope}^{\frac{1}{2}} + Q_i/A \quad (1-4)$$

那么, 设

$$f(d) = -d + d_o + R_e \cdot \Delta t + \frac{\sum Q_i}{A} \cdot \Delta t - \frac{\left(\frac{1}{2}(d + d_o) - d_p \right)^{\frac{5}{3}}}{n \cdot \text{length}} \cdot \text{slope}^{\frac{1}{2}} \cdot \Delta t \quad (1-5)$$

公式 (1-5) 可以利用牛顿—拉普生迭代法进行求解。式中, $f(d)$ 为函数名, length 为格网单元的长度。

1.2 街面流计算

考虑到格网单元的精度和计算的复杂性, 通常我们并不把街道表示为包含两组平行排水渠的水流单元, 而是把它简化为一个矩形交叉段。采用与计算坡面流相同的算法, 采用矩形交叉段的曼宁方程 (公式 1-6), 并结合连续方程公式 (1-4), 可以求解组成街道的每个格网单元的水深和出流^[2]。

$$Q = \frac{((d - d_p) \cdot \text{width})^{\frac{5}{3}}}{(2(d - d_p) + \text{width})^{\frac{2}{3}}} \cdot \text{slope}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{n} \quad (1-6)$$

为了完成这种简化,通常格网单元的大小设定为街道的宽度,从而使街道仅由单象素串联而成。同时,由于街道上常常有许多下水口,因此,必须考虑下水口对水流的转移作用。对于这些格网单元,如果入流总和超过了下水道可能的最大出流,那么,该单元超出下水道的出流部分将沿着表面水流路径流入下一个相邻单元,否则,下一个单元将不可能获得该单元的出流,而是全部流入人工地下管网之中。

1.3 二维行洪模型求解

二维圣维南方程组经过一定的修正后,仍然也是可以应用于由于河道水位上升引起的城市洪水问题。

连续方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

动量方程:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\frac{p^2}{h})}{\partial x} + \frac{\partial(\frac{pq}{h})}{\partial y} + gh(\frac{\partial h}{\partial x}) + g \frac{\sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 h^2} p = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial(\frac{q^2}{h})}{\partial y} + \frac{\partial(\frac{pq}{h})}{\partial x} + gh(\frac{\partial h}{\partial y}) + g \frac{\sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 h^2} q = 0$$

其中, h —— 水面高程; p, q —— x 和 y 方向流量; x, y —— 横向及纵向距离; t —— 时间; g —— 重力加速度; c —— chezy 系数。

上述等式都是非线性偏微分方程,可以通过差分技术(显式的或隐式的)进行求解。由于显式差分法求解的稳定性主要依赖于所选取的时间步长,算法较隐式差分方法简单,因此,采用单步回退差分法把等式差分为:

连续方程:

$$\frac{h_{i,j}^{t+1} - h_{i,j}^t}{\Delta t} + \frac{p_{i,j+1}^{t+1} - p_{i,j}^{t+1}}{\Delta x} + \frac{q_{i+1,j}^{t+1} - q_{i,j}^{t+1}}{\Delta y} = 0$$

x 方向的动量方程:

$$\begin{aligned} & \frac{p_{i,j}^{t+1} - p_{i,j}^t}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{(p_{i,j}^t)^2}{h_{i,j}^t} - \frac{(p_{i,j-1}^t)^2}{h_{i,j-1}^t} \right] + \frac{1}{\Delta y} \left[\frac{(p_{i,j}^t)(q_{i,j}^t)}{h_{i,j}^t} - \frac{(p_{i-1,j}^t)(q_{i-1,j}^t)}{h_{i-1,j}^t} \right] \\ & + g \frac{1}{\Delta x} \frac{(h_{i,j}^t - h_{i,j-1}^t)^2}{2} + \frac{1}{2} g p_{i,j}^t \left[\frac{\sqrt{(\bar{p}_{i,j}^t)^2 + (\bar{q}_{i,j}^t)^2}}{c_{i,j}^2 (h_{i,j}^t)^2} + \frac{\sqrt{(\bar{p}_{i,j-1}^t)^2 + (\bar{q}_{i,j-1}^t)^2}}{c_{i,j-1}^2 (h_{i,j-1}^t)^2} \right] = 0 \end{aligned}$$

y 方向的动量方程:

$$\begin{aligned} & \frac{q_{i,j}^{t+1} - q_{i,j}^t}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta y} \left[\frac{(q_{i,j}^t)^2}{h_{i,j}^t} - \frac{(q_{i,j-1}^t)^2}{h_{i,j-1}^t} \right] + \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{(p_{i,j}^t)(q_{i,j}^t)}{h_{i,j}^t} - \frac{(p_{i-1,j}^t)(q_{i-1,j}^t)}{h_{i-1,j}^t} \right] \\ & + g \frac{1}{\Delta y} \frac{(h_{i,j}^t - h_{i,j-1}^t)^2}{2} + \frac{1}{2} g q_{i,j}^t \left[\frac{\sqrt{(\bar{p}_{i,j}^t)^2 + (\bar{q}_{i,j}^t)^2}}{c_{i,j}^2 (h_{i,j}^t)^2} + \frac{\sqrt{(\bar{p}_{i,j-1}^t)^2 + (\bar{q}_{i,j-1}^t)^2}}{c_{i,j-1}^2 (h_{i,j-1}^t)^2} \right] = 0 \end{aligned}$$

式中, $\bar{p}_{i,j}^t, \bar{q}_{i,j}^t$ 以及 Chezy 系数 $C_{i,j}$ 可以通过下列等式分别求得。等式中的 n 为曼宁系数。

$$\bar{p}_{i,j}^t = \frac{1}{4} (3p_{i,j}^t + p_{i,j+1}^t)$$

$$\bar{q}_{i,j}^t = \frac{1}{2}(3q_{i,j}^t + q_{i+1,j}^t)$$

$$(C_{i,j})^2 = \frac{1}{\rho n^2 h^{\frac{4}{3}}}$$

显式模式的一个主要问题在于求解上述方程组需要花费大量的 CPU 时间。为了保证获得稳定的求解, 需要设定较小的时间步长。相应地, 空间步长也就需要设定较小的值。一般来说, 为了获得稳定的求解, 时间步长和空间步长应该满足下述关系:

$$dt \leq dd/c$$

这里, dt 和 dd 分别为时间和空间步长, c 为洪水波的流速。然而, 正如前文所指出的, 稳定的求解并未保证求解的正确性。求解的精度依赖于足够的时间和空间分辨率, 以保证模型能够反映水力特征在时空分布上的细微变化^[4]。由于某些特征对变化的响应较其他更为敏感, 因此, 选取较小的空间步长来反映预期的变化是比较合理的。然而, 较小的空间步长意味着较短的时间步长。因此, 求解也就需要花费更多的 CPU 时间。

值得注意的是, 在未确定边界条件和初始条件之前, 模型是不可能得到求解的。为了使问题简化, 二维模型中未考虑某些内部的边界条件, 仅考虑了外部边界条件 (包括上游和下游的边界条件) 及建筑物的阻碍, 并且忽略了回水的影响。

对于上游边界, 既可以用量测的流量也可以用水深时间序列作为模型的初始上游边界条件。

$$q_{i,j}^t = Q(t)$$

或

$$h_{i,j}^t = H(t)$$

下游的边界条件可以用下述等式:

$$q_{i,j}^t = k_c \cdot \sqrt{(h_{i,j-1}^t - h_{i,j}^t)/dd}$$

其中, $q_{i,j}^t$ 为边界象元 (i,j) 在 t 时刻的流量, $h_{i,j-1}^t, h_{i,j}^t$ 为象元 $(i,j-1)$ 和 (i,j) 在 t 时刻的水面高程值, k_c 为河道排泻系数, dd 为空间步长。 k_c 的值与曼宁系数及河道长 x 半径有关, 用下述等式可以求出。

$$k_c = 1.49AR^{\frac{2}{3}}/n$$

河道行洪计算对曼宁系数或 k_c 的取值是很敏感的。在缺乏必要的数据时 (水位和流量的观测性), 曼宁系数可以用估算值。更经常的方法是利用历史数据来调整模型, 率定曼宁系数, 从而可以获得与实际更加吻合的结果。

初始条件的确定可以通过两种方法: ①通过对观测数据的插值获得每个象元的水面高程值; ②以上一次计算的结果作为下一次计算的初始条件。第二种方法广泛应用于按日的洪水预报方面, 以连续模拟洪水的动态行洪过程。

当考虑到暴雨的影响时, 二维模型还必须和前面所述的暴雨—径流过程的计算结合起来。由于二者的数据结构是一致的, 因此, 这种融合是非常方便的, 只是需要在每个时间步长内计算暴雨径流过程, 管网流及行洪过程。虽然现阶段 PC 技术已经取得了很大进展, 但是, 该模型对于 PC 平台来说, 仍然是一个沉重的负担。特别是 PC 内存管理技术的限制, 使模型必须对数据进行虚拟分段处理, 从而以时间换取空间耗费大量的 CPU 时间。

2 城市洪水分析与模拟信息系统

城市洪水分析与模拟信息系统 (HAMIS) 可以建筑在任何开放式的 GIS 之上, 例如 ARC/INFO 或 ARCVIEW, 通过 AML 或 AVENUE 编程建立模型与 GIS 之间的联系。

2.1 HAMIS 数据集及规范

城市排水系统是一个包含人工水力设施和天然排水网络的双重排水系统, 人类活动极大地改变了城市的原始地貌, 城市水文响应过程受到极大影响, 表现出与自然流域不同的特征。因此, HAMIS 的数据库和项目定义应当反映城市流域的这些特征, 降雨径流模型和洪水传播模型也要求 HAMIS 具有自己的数据规范。

在 HAMIS 中, 与水文响应过程相关的数据集包括: 城市流域、进水口、地下排水管网、天然排水网络、城建用地分布 (土地利用)、土壤、街道网络、地形、水位流量站、雨量站、水工设施等。

对于不同的数据集, 数据的精度和分辨率可以是不同的。例如, 对于城市地形数据, 既包括等高线数据又包括控制点高程数据, 前者的精度依赖于地形图比例尺的大小, 但是, 由于经过插值计算, 数据精度和质量已很难确定。对于城市洪水分析与模拟而言, 等高线越密, 控制点越多就越有利于模型结果的准确性。街道网络对于街面流的模拟和水流路径的确定是很重要的, 一般认为街道宽度在 50 米以上就必须考虑用多流路算法^[5]。

由于水文模型需要降雨、蒸发、水位、流量等时序数据的支持, 因此, 这些数据必须保证在 HAMIS 中存在, 而且, 诸如土地利用这些数据必须是现时的数据, 能够较好地反映当前的城市土地利用变化, 或者可能用较新的数据代替。大多数 GIS 的空间数据模型采用的是矢量拓扑数据模型, 而 HAMIS 的模型要求的都是离散化的格网数据模型, 格网的单元大小必须小于或等于 50 米, 因此, 需要定义数据转换的功能, 把数据库中的数据转换为模型所要求的格网格式。

2.2 模型方法

HAMIS 包括上述的降雨—径流计算模型, 二维洪水演进模型和一个基本水文分析工具库。在模型解算中采用的是格网结构, 而 HAMIS 数据库中存放的是矢量空间数据, 因此, HAMIS 的数据存贮形式不能为模型所接受, 需要利用 GIS 转换原始数据 (矢量—栅格转换)。

模型解算中需要增加导航功能, 使用户可以调整模型的控制参数。模型直接调用基本水文分析工具库进行必要的计算, 如水流路径计算、下渗计算等。

2.3 GIS 功能的增强

通过扩充 GIS 的核心层和模块层可以增强 HAMIS 在数据转换、视觉化技术、时序数据分析、插值/抽样以及统计等方面的功能。面向对象的宏语言集在构模中是很重要的工具。导航及在线帮助 (On-Line help) 是友好的应用系统必不可少的, 体现 GIS 功能的模块层充分利用了 WIMP 特征。

3 实例分析——福建三明市 1994 年 5 月 3 日洪水过程模拟

福建三明市地处福建省西北部，位于沙溪流域中游狭长的山间河谷盆地——梅列盆地内，下辖九县一市两区：明溪、清流、宁化、大田、尤溪、沙县、将乐、泰宁和建宁九县，永安市及梅列、三元两区。三明市市区即指梅列、三元两区，面积约 1185km²。本次研究针对 1994 年 5 月 2 日至 3 日三明市区洪水情况，利用 GIS 的分析和表现方法及水文水力学模型，分析并模拟了这次洪水过程，并计算出三明市区洪水淹没的空间分布和淹没水深分布，为灾害损失评估创造条件。

3.2 基本数据集

利用 GIS 进行城市洪水模拟需要发挥 GIS 的数据管理、空间分析及模型集成等多方面能力，为此，必须具有地形、土壤、城市建设用地、街道、地下排水网、降雨、流量及水位的空间分布细节。在前述的城市洪水分析与模拟信息系统的支撑下，把模型、数据及 GIS 的视觉化表现集成起来。

为了反演 1994 年 5 月 3 日这场洪水，作者在三明市民政局的协助下，收集了关于降雨、河道流量、水位、地形、用地、土壤等数据，在 ARC/INFO 系统的支持下，把这些信息输入 ARC/INFO 数据库，然后利用 ARC/INFO 的 Export 功能及 HAMIS 的 Import 功能，把经过编辑、配准的数据从 ARC/INFO 转移到 HAMIS 中（图 1）。原始数据集包括：

- (1) 1:10,000 市区地形图
- (2) 1:10,000 市区城建用地图
- (3) 1:250,000 三明市辖区土地利用图
- (4) 1:250,000 三明市辖区土壤图
- (5) 宁化、清流、永安、沙县、尤溪及三明逐时降雨量记录(从 5 月 1 日 13:00 至 5 月 3 日 8:00)
- (6) 宁化、清流、永安、沙县及三明河道水位及流量记录(5 月 2 日—5 月 3 日逐时水位及流量)
- (7) 三明市区不同地点洪痕数据
- (8) 河道断面数据

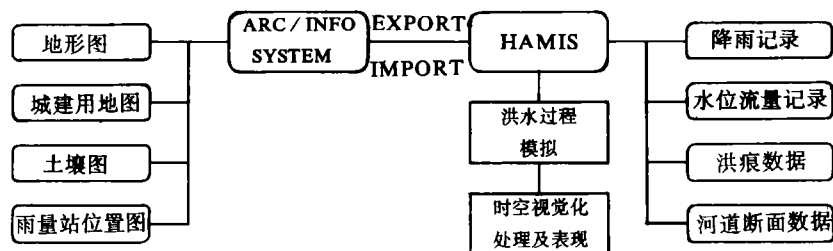


图 1 数据处理流程

Fig. 1 Data Flow Chart Using ARC/INFO & HAMIS

其中，地形、土壤、土地利用、城建用地等空间数据以矢量形式存入 HAMIS 数据库，同时，河流、街道等要素也从相应的原始数据集中提取出来，作为独立要素存入数据库。为

了与洪水模型的数据结构相一致,利用地形数据生成了格网大小约为 25m 的 DEM (400×361),并把城建用地、河流及街道等要素以相同的尺寸离散化,形成新的模型可用的数据集。

降雨、水位和流量等时序数据以表的形式存入 HAMIS 数据库,加上双重时间标记并且空间定位,并通过 Kriging 插值可以获得诸水文气象要素的空间分布。实测洪痕数据也以属性表形式进入数据库,其时间标记为洪峰时刻。曼宁系数是洪水演进模型的调整参数,针对不同的土地利用类型和土壤类型由《Storm Water Management Model User's Guide》^[3]上查获。

由于 1:10,000 地形图并未提供河道断面数据,为此,参照《福建省三明市市区防洪规划报告》^①的有关河道断面资料,对河道底部高程进行双线性内插,完善 DEM 的细节。

3.3 洪水演进过程模拟

考虑到这次洪水主要由上游河道洪水及本地大暴雨过程共同作用引起,河道水位上涨迅速,漫溢出河堤。此时,为了防止河水沿下水管道倒灌市区,沿河下水管道均已关闭。因此,本次模拟没有考虑沿地下排水道的汇流过程,只考虑坡面的产流和汇流过程,并且,按照前述街面流的模拟方法计算了街面流,河道洪水的传播由前述的二维行洪模型计算。

由于缺乏详细的建筑物位置资料,不能按照第三节所提出的 DEM 的修正方法来模拟洪水在某些内部边界条件下的行为,因此,根据城建用地情况,确定各种用地类型的综合糙率,以此来修正洪水波的传播(当然,这只是一种近似的方法,其物理解释有待进一步探讨)。

模型共进行了从 5 月 2 日至 5 月 3 日共 24 小时的连续模拟,并记录逐时的淹没范围及水深变化,利用 SGI Explorer 及 GL 图形库进行时空数据视觉化处理,直观再现了当时的洪水场景。经与灾后实地调查的洪峰洪痕数据比较,淹没范围及水深数据在这些有实测洪痕数据的点上是比较准确的。由于实测洪痕数据未参与模型的运算,因此,这种比较是可信的,模型模拟的结果至少在洪峰时是比较符合实际的。因为缺乏实测的淹没范围和水深的时空数据,故不能断言模型模拟的结果完全符合当时的时空分布。

4 结论与建议

城市洪水问题的研究在西方工业化国家已有几十年的历史,然而在我国才刚刚起步。随着我国城市化进程的加速,城市洪涝灾害已经引起广泛的重视。据统计,全国 500 多座城市中,大约有 2/3 左右受到洪涝灾害的威胁,诸如深圳等新兴工业城市,暴雨洪涝已经成为城市发展建设的障碍,影响到城市的投资环境。因此,吸收西方工业化国家几十年城市洪涝灾害研究的经验,结合我国城市建设的特点,应用地理信息系统技术,开展有自己特色的中国城市洪涝灾害研究是我们必须面对的重要问题。

本文在总结国内外城市水文模拟技术研究的基础上,探索利用地理信息系统技术进行城市洪水过程的分析和模拟,提出了一些 GIS 求解策略,并应用于福建三明市 1994 年 5 月

① 华北勘测设计研究院,福建省三明市市区防洪规划报告,1993。

3 日城市洪水过程的反演,取得了较好的结果。尤其在以下几个方面,本文的研究具有一定的应用价值和理论意义。

(1) 在总结前人工作基础上,开发了一套应用于流域水文特征分析的基本方法,并以工具库的形式组织起来,作为对通用 GIS 软件水文分析功能的补充。

(2) 利用 GIS 的格网数据结构,把传统的应用于城市降雨—径流分析的概括性模型改进为能够反映城市地区水文特征空间分异规律的分布式模型,并阐述了分布式模型以及二维行洪模型的数值解法。虽然这不是第一次把分布式模型应用于城市地区的降雨—径流计算及洪水模拟,但是,这是首次把分布模型应用到较大的城市地区,并且,从数据采集、预处理、模型计算到可视化表现都完全是在 GIS 环境下完成的计算机化过程。实际操作的结果也证明了这套技术路线的可行性。由于模拟过程是以物理模型为基础的,因此,模型具有广泛的应用价值。

(3) 作者利用 SGI Explorer 和 GL 图形库扩充了现有 GIS 软件中时空数据可视化表现的不足,并应用到城市行洪过程的模拟,生动再现了洪水场景。

虽然作者应用 GIS 对城市洪水过程模拟的研究取得了一定的成果,但是,城市洪水研究是很复杂,它不仅仅包括城市洪水过程的模拟还应当包括城市洪水灾害评估方法的研究,并且,随着城市人口的增长和规模的扩大,城市洪水研究还应当与城市水资源研究结合起来,以综合地、全面地解决城市水问题。因此,今后的研究有必要在以下几方面展开:

(1) 更加有效的分布模型和二维行洪模型算法的研究。诸如有限元模型、隐式差分方法以及有限体积方法等都有人进行过尝试,但是仍然缺乏有效的数值解法。

(2) 城市的内部边界条件是非常复杂的,本文只提出了解决建筑物对水流的阻挡的方法,但是诸如排水泵、桥梁、多层次排水网络等复杂结构模型仍未考虑。对于沿海城市潮汐的顶托也缺乏有效的数字模拟方法。因此需要加强与水文和水力学家的合作,共同完善城市的水文水力学模型。

(3) 城市洪水灾害损失评估是非常复杂的系统工程,英国为此进行了二十多年的基础工作,收集不同水深、不同淹没历时情况下各类财产损失数据,获得了适合英国城市洪水灾害评估的统计方法。如果需要对我国城市洪水灾害评估有所研究,也应当从基础工作做起,这应当是一项长期的基础研究任务。

(4) 在进行城市洪水研究的同时,还应当进行城市水资源的研究。许多城市既有洪水的威胁,又处于长期水资源短缺的状态,因此,需要节约地、综合地利用宝贵的城市水资源。

(5) 在可视化表现方面,积极开展动画的研究,把静止的四维图像转换为随时间变化的三维空间分布活动图像,更加生动地表现科学计算的不同过程。

(6) 遥感数据的有效利用,诸如 GPS 数据、测雨雷达数据及航空影像数据等。

(7) 城市地形的更加有效的表示方法。

虽然英美等国家的城市洪水研究已有多年的历史,但是,利用 GIS 进行以物理模型为基础的城市洪水模拟仍然只是近几年的事情。而我国的城市洪水空间定量化研究才刚刚起步,但是,如果抓住了新技术带来的机遇,仍然是可以赶上甚至超过发达国家。本文的研究试图为今后城市洪水的深入研究打下一个基础,抛砖引玉,以促进我国城市洪水研究的进步与 GIS 技术的推广。

参 考 文 献

- 1 Moore ID, Grayson RB, Ladson AR. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrological Processes*, 1991 (5): 3—30.
- 2 Smith MB. A GIS—based Distributed Parameter Hydrologic Model for Urban Areas. *Hydrological Processes*, 1993 (7): 45—61.
- 3 Huber WC et al. Storm Water Management Model. in: Version 4; User's Manual. EPA/600/3—88/00a NTIS PB88—236641/AS. 1992.
- 4 Anderson MG, Burt TP. Hydrological Forecasting. John Wiley & Sons, 1985.
- 5 Quinn P et al. The Prediction of Hillslope Flow Paths for Distributed Hydrological Modelling Using Digital Terrain Models. *Hydrological Processes*, 1991 (5): 59—79.
- 6 Jenson SK, Domingue JO. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1988, 54 (11): 1593—1600.

作 者 简 介

张犁, 博士, 助理研究员。1988年毕业于南京大学地理系, 1991年在南京大学地理系获得硕士学位, 1994年在中国科学院地理研究所获得博士学位, 同年在资源与环境信息系统国家重点实验室工作至今。研究领域涉及地理信息系统、城市洪水、可视化技术及系统集成等方面。在国内外期刊上发表论文十余篇。

Urban Flooding Analysis and Modeling Using GIS

Zhang Li

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Key words Urban Flooding, GIS, Distributed Hydrologic Parameter Model

Abstract

The dual drainage system and urbanization makes the study on urban flooding more complicated than that of rural areas. This paper reviews literatures on urban flooding study, discusses the methodology for urban flooding analysis and modeling, and puts forward a series of GIS approaches to these problems. It covers several GIS and hydrologic areas, e. g., extraction of hydrologic parameters for urban areas, distributed rainfall—runoff model based on GIS grid model for urban areas, flood routing model, integration of hydrologic models and GIS, and visualization of urban flooding process using GL and Explorer modular. These methods have been applied to the modeling of urban flooding process of May 3, 1994 in Sanming city, Fujian province. This study has achieved a satisfactory result and will be of wide application value and theoretical significance to urban flooding simulation, GIS system integration, and visualization of environmental processes.