

基于 GIS 的流域洪涝数字模拟和 灾情损失评估的研究*

陈丙咸 杨 戊 黄杏元
张 力 赵 荣 裴志远

(南京大学 南京 210093)

摘 要 非工程防洪措施是减缓洪涝灾害损失的有效方法之一。地理信息系统和遥感技术使多学科综合性的非工程防洪措施成为现实。本文从流域数据库设计、洪水预警数字模拟、河道洪水演进数字模拟、洪泛区洪水演进数字模拟、灾民疏散模型和洪水灾情损失评估等6个方面,系统阐述了地理信息系统在流域洪涝数字模拟和灾情损失评估上的应用,为今后开展同类工作提供了参考。

关键词 地理信息系统,流域洪涝灾害,数字模型,灾情损失评估,曹娥江流域

洪水灾害是当今世界上主要的自然灾害,防治洪水灾害是世界各国普遍关注的问题。在过去相当长的时间内,世界各国的防洪战略主要是依靠水利工程控制洪水,降低洪灾损失,但随着社会经济的发展,人类不断扩大对自然资源的开发利用范围,洪水出现频数及其所造成的损失也不断地增加,人们逐渐认识到,仅仅采用水利工程措施不能完全抵御洪水,尤其是发生特大洪水时,借助水利工程来保障灾区的安全并不那么容易。70年代,美国首先提出采用非工程措施(Non-structural measures)的概念^[1],即通过洪水预报、防洪调度、分洪、滞洪、立法、洪水保险、洪泛区管理以及造林、水土保持等非工程措施来减缓洪涝灾害,改变损失分摊方法,加强防洪管理,顺应洪水的天然特性,因势利导,以达到防洪减灾的目的。

越来越多的研究表明,单一学科、传统的设备和手段,已难于适应和胜任防洪研究和防洪本身的需要。近年来,随着计算机技术的发展,人们已大量地应用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)等现代科学技术,从而使多学科综合研究非工程防洪措施成为现实。

我国自80年代以来,开展了洪水预报调度、洪水损失评估一系列研究,建立了防洪信息系统,相继在永定河、黄河下游、长江荆江—洞庭湖地区、江淮流域得到应用。本文选择在我国东南沿海具有一定代表性的浙江省曹娥江流域为研究区,把GIS技术与水文学相结合,进行流域的洪水灾害的动态监测模拟和淹没损失评估的非工程防洪研究。

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1995年6月27日;收到修改稿日期:1995年11月1日

1 研究区背景

曹娥江流域位于浙江省钱塘江南岸,东以四明山与甬江相隔,东南以天台山与始丰溪相连,西和西南以会稽山与富春江、浦阳江、东阳江相分开,地理坐标为 $120^{\circ} 7' 00'' E - 121^{\circ} 13' 38'' E$ $29^{\circ} 07' 07'' N - 30^{\circ} 16' 17'' N$,东西宽约 75.4km,南北长 127 km。干流澄潭江发源于磐安县尖公岭,由此向南流经新昌、嵊县、上虞等县于绍兴县三江口入杭州湾,全长 193km。曹娥镇以下为肖绍平原及海塘,曹娥镇以上的流域面积为 4623 km^2 ,除沿江两岸和嵊县盆地外,均为山地丘陵区,其中山地丘陵区占 83%,平原占 17%。上游支流有长乐江、新昌江和黄泽江,它们从西、南、东三面呈扇形汇集于嵊县盆地,在嵊县城关附近汇入干流澄潭江,使流域面积由 847 km^2 骤增至 2939 km^2 。各支流源短流急,每逢台风、暴雨,山区易产生山洪,河水暴涨,洪水迅速汇入嵊县盆地,而盆地出口受清风峡谷约束,使盆地中洪水下泄缓慢,导致嵊县城关常遭洪涝灾害,峡谷以下至章镇河而转为开阔,但下游入海口受潮水顶托,于章镇附近形成洪水停滞区,易发生洪涝灾害。由此可见,遇有暴雨往往酿成全流域的洪灾。

40 多年来,曹娥江流域建成大、中型水库 8 座,控制面积为 685.2 km^2 ,小型水库 39 座,集水面积 46.7 km^2 ,其它小型水库和山塘 10000 多处。上述水利工程总控制集水面积占流域总面积的 48%,对防止全流域的洪涝灾害发挥了重要作用。近年来,由于社会经济迅速发展,工农业生产规模不断扩大,而人们的防洪意识薄弱,在河流的漫滩地上建设乡镇企业。此外,近几年水利投资锐减,使有些工程无法上马,导致洪涝灾害损失不断增加,如 1988—1990 年 3 次洪水给嵊县就造成人民币 5.62 亿元的直接经济损失。上述情况表明,在水利工程措施的基础上,进行非工程措施的研究是十分必要的,两种措施的结合,可以加强防洪管理,提高洪水预报的预见期,因势利导以达到防洪减灾的目的。

2 非工程防洪研究的主要内容

把 GIS 技术应用于流域的非工程防洪研究,其目的是:(1)提供与洪灾及其灾害评估有关的历史、自然环境和社会经济现状的背景数据;(2)对区域洪灾的可能性、空间分布、危险程度等进行综合的分析、评价、模拟分析和趋势预测研究;(3)辅助防灾减灾决策分析,提供灾害快速评估与计算机辅助决策的一种技术方法。

2.1 流域数据库设计

设计流域数据库时考虑到几个因素:(1)数据的来源、表达形式和精度;(2)专题要素的类型、性质和应用目标;(3)合适的编码方案和一定的空间逻辑结构。共组织了 11 个专题的数据库(图 1)。

地理问题总是具有区域性,扇形水系汇流和平原地形是曹娥江流域的两大重要特征。在设计数据库时,我们充分考虑了这一点,采取两个措施:一是建立结构化河网数

据, 用有向图邻接表存储河网数据, 可以很方便地提取任一实测断面的所有直接上下游实测断面信息; 二是用分层分段叠置的方法建立流域DEM, 充分反映平坦地区的微地形特性及堤坝水工建筑等。

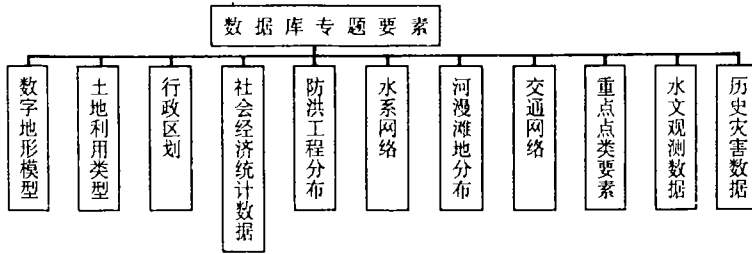


图1 流域数据库的专题要素

Fig.1 Thematic components of river basin database

2.2 洪水预警数字模拟

我们选择嵊县盆地为研究区。根据该区域降雨特征和径流特征, 选用新安江三水源模型^[2], 进行产流汇流分析计算, 该模型是一确定性概念模型, 模型可以是集合模型同时也可以分布模型。模拟的结果是令人满意的。嵊县站的分析成果是采用分块合成模拟而得到的, 它比不分块集中模拟成果精度提高较多, 故在嵊县洪水水位预报后, 即根据嵊县的预报水位推算灾区淹没水位, 如嵊县三角地工业区的地面高程较嵊县水文站基面高出1.2m, 东桥地面较嵊县水文站基面高0.7m, 在嵊县预报的洪峰水位上加上相应高程即为洪水淹没高程, 进而可决定防灾对策和采取各种非工程措施。

2.3 河道洪水演进数字模拟

河道洪水演进数字模拟包括河道断面流量模拟和河道断面水位模拟。首先运用降水径流预报方法求出河道上游水文站的洪水水位和流量, 再采用马斯京根不等分河段连续演算法计算出河道上各断面流量。依据各实测断面的过水面积与水位的关系函数以及流量与过水面积关系式, 可动态演示洪水在河道中的演进情形, 并参照两岸堤坝的实际高程与洪水水位的差值, 判断漫溢和可能破堤的地点。

利用1989、1990年1991年3年的洪水资料进行模拟, 其结果与实际调查情况相符。

2.4 洪泛区洪水演进数字模拟

洪泛区洪水模拟属于二维水力学问题, 我们采用刘树坤等人提出的数字模型^[3], 选择一个四周封闭的堤坑作为模拟研究的试验对象。历史上本试验区有多次堤坝决口记录。模拟中选择两个入口, 1号入口位于黄泽江新明堤前化桥附近, 该口曾经在1988年被冲毁和1990年为分洪而人工炸毁, 2号入口是模拟新昌江中爱堤的入口, 对两个入口洪水组合, 共进行4种方案模拟。

2.4.1 入流条件

(1) 只有1号口入流。为5年一遇的洪水, 入口流量为 $1030\text{m}^3/\text{s}$, 入口水深为

3.5m, 该处在 1988 年洪水时曾决口 60m, 所以口门宽设 60m, 入流过程为 30min, 分洪水量为 $185.4 \times 10^4 m^3$ 。

(2) 只有 1 号口入流。入口流量为 $2030 m^3/s$, 相当于 1988 年 7 月 30 日的洪峰流量, 入口水深 4m, 口门宽 60m, 入流过程为 30min, 分洪水量为 $365.4 \times 10^4 m^3$ 。

(3) 只有 2 号口入流。入口流量为 $483 m^3/s$ 。相当于新昌江 5 年一遇的洪水, 入口水深为 3.5m, 口门宽 40m, 入流过程为 30min, 分洪水量为 $86.94 \times 10^4 m^3$ 。

(4) 方案 1 和方案 3 组合同时入流。

2.4.2 洪泛区洪水演进特性

试验区由于面积较小, 一旦决口, 洪水在泛区内推进速度很快, 使地面高程 18 m 以下的区域在 1h 内几乎全被淹没, 所以各方案的模拟时间都定为 1h。

(1) 方案 1 的洪水演进特性

从零时起, 1 号入口开始入流, 水流由北向南, 并向东西方向流动, 洪水到达黄塘村, 555s 时到达下中西村, 900s 时西北角已全部被淹, 此时洪水由于受地形阻挡, 洪水推进速度减慢, 造成地势低洼处的洪水壅积, 1800s 入口停止入流, 洪水继续向前推进, 1830s 到达莲塘村, 2030s 到达全化村, 2290s 到达沿宅村, 之后洪水逐渐趋于稳定, 地势较高的地方开始陆续退水, 向低洼处汇集。在整个洪水演进过程中, 洪水淹没水深在 1—3m 之间, 水深的分布为北高南低。模拟结束时受淹面积约有 $4.15 km^2$, 其中水深在 1m 以上的有 $1.28 km^2$, 共有 6 个村进水。

(2) 洪水演进路线基本和方案 1 相同, 但由于分洪水量多了 $160 \times 10^4 m^3$, 使得洪水演进过程中洪水传播的速度加快, 淹没水深增大, 模拟结束时受淹面积约有 $6.13 km^2$, 共有 8 个村进水。

(3) 方案 3 的洪水演进特性

从零时起, 2 号入口开始入流, 水流由南向北, 并向东西方向流动。洪水演进的路线与方案 1 相逆。由于试验区地势呈北高南低, 且入口口门宽度减小, 使得洪水推进速度加快, 从而造成了分洪流量比方案 1 小而洪水淹没的范围反而增大的现象, 这也说明中爱堤决口所造成的危害要比新明堤大。模拟结束时受淹面积约有 $5.20 km^2$, 其中水深在

1m 以上的有 $1.31 km^2$, 共有 7 个村进水。

(4) 方案 4 的洪水演进特性

由于分洪流量大大增加, 受淹面积扩大。模拟结束时受淹面积约有 $6.44 km^2$, 其中水深在 1m 以上的有 $2.02 km^2$, 共有 9 个村进水。

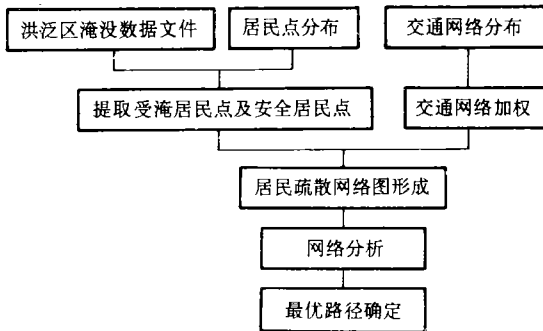


图 2 灾民疏散最优路线确定流程图

Fig.2 Work flow for determining the optimum lines of flooding victims dispersion

2.5 灾民疏散模型

有组织的灾民疏散往往是一个通过一定交通方式沿着交通网络流的过程, 其核心是待疏散居民点与目标居

民疏散点之间最佳行进路线的选择，这实际上是一个网络分析过程。其流程如图2。

2.6 洪水灾情损失评估

洪水灾情评估涉及众多的影响因子，这些因子包括区域环境背景因子(如地形、坡度、土地利用)、洪水特征(如流量、水位、洪水重现期)和社会经济因子(如人口、农业、工业)等，其中土地利用类型的分布，洪水淹没水深、历时与范围，以及洪水预报与防御措施等，应作为估算灾害损失的重要因子。

根据本项研究确定的技术路线，采用GIS方法，通过调查和生成上述各项影响因子，估算一定水位条件下的洪灾损失。

洪灾损失估算具体流程如图3。水稻受淹损失估算输出结果包括受灾面积、成灾面积、绝收面积和水稻损失率及其面积，形成报表，并显示和打印输出，工业损失评估输出数据包括企业名称、停产与半停产损失，以及资产损失等。居民地和设施损失估算结果可在屏幕上显示，或以统计报表、文本报告形式输出。

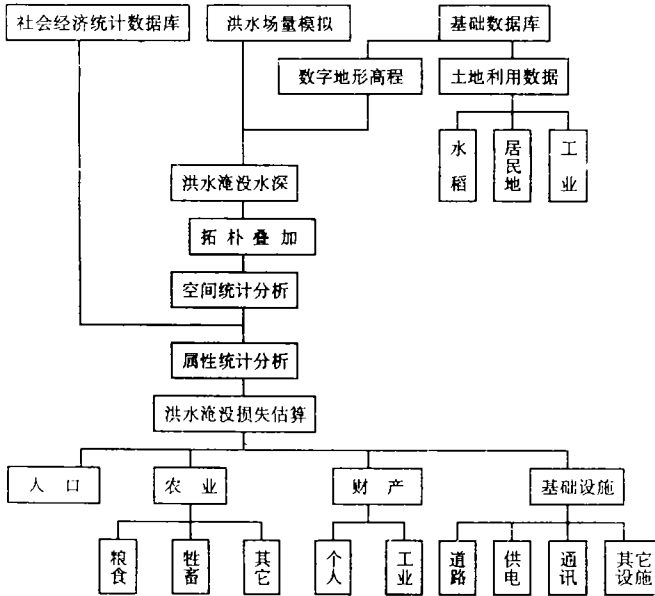


图3 洪灾损失估算流程图

Fig.3 Diagram of evaluating damage caused by flood disaster

3 结论

1. 本文讨论了运用GIS技术进行流域非工程防洪研究的方法和思想，为同类工作开展提供了基本框架；

2. 这里所建立的模拟系统属于实验型，虽然它可以推广应用，但要建立运行型系统，需要解决硬件配置，数据库更新支持问题。

参 考 文 献

- [1] 朱元珩. 防洪减灾的研究动态. 河海科技进展, 1992, 12(1).
- [2] 赵人俊. 流域水文模拟. 北京: 水力电力出版社, 1984.
- [3] 刘树坤等. 小清河分洪区洪水演进数字模拟. 水科学进展, 1991, 3(1).

作 者 简 介

陈丙咸, 男, 1933年6月生, 教授。南京大学地理系毕业。从事遥感应用与地理信息系统的教学与研究工作。发表著作3部, 论文50余篇。

Study on Digital Simulating Flood—Waterlog and Evaluating Damage Based on GIS

Chen Bingxian Yang Wu Huang Xingyuan
Zhang Li Zhao Rong Pei Zhiyuan
(*Nanjing University Nanjing 210093*)

Abstract Geographic Information System (GIS) and remote sensing make it practicable for nonstructural measures, multidisciplinary, which is one of the effective methods for reducing damage caused by flood and waterlog disaster. The authors make a systemtic exposition of application of GIS in digital simulating flood-waterlog harzard and evaluating the loss within river basin from disigning of basin database, numeral simulating flood harzard forecasting and flood routing in river course and floodplain, modeling victims dispersion, etc. It provides a basic framework for developing similar research in the future.

Key words GIS, Basin flood-waterlog harzard, Digital models, Evaluating damage caused by flood-waterlog, Cao—e river basin