

基于 GIS 的洪水淹没评估系统的研究与实现*

陈 凯

(1. 浙江交通职业技术学院, 浙江 杭州 311112; 2. 中南大学 信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 在 GIS 技术支持下, 对洪水淹没评估系统从洪水淹没计算与洪水淹没评估两方面进行研究, 结合湖南冷水滩区洪水淹没评估系统实例, 选择了正方形 DEM 模型, 利用正方形网格分析方法进行了洪水淹没中连通性的分析。构建了洪水淹没评估模型, 并对洪水淹没评估中的叠置分析提出具体解决思路。最后介绍了系统的设计与实现。

关键词: GIS; 洪水淹没计算; 损失评估; 系统设计; 湖南冷水滩区

中图分类号: P208; P333.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)04-0035-05

基于 GIS 洪灾损失分析技术是一种将 GIS 技术、数据库技术、洪水数值模拟、遥感分析、资产评价与预测分析相结合的基于空间分析技术的洪灾损失评价模式。它的重要特点是将 GIS 空间分析技术引入了以往的损失评估系统, 以各类空间数据为主要数据源, 输出结果中包含大量的空间数据信息, 不仅可以估计总体影响和损失情况, 而且还可以给出其空间分布状况^[1-3]。GIS 洪水淹没评估中的技术方案如图 1。

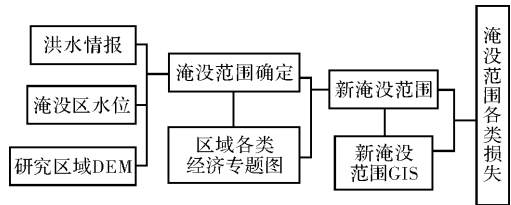


图1 GIS洪水淹没评估技术方案

现在关于洪水淹评估系统的研究, 一般集中在两个方面, 一是对于洪水淹没范围与面积的计算, 一是对于洪水淹没后损失的评估。以湖南冷水滩区洪水淹没评估系统为例, 从以上两方面进行了研究。

1 洪水淹没计算

1.1 淹没计算内容

洪水淹没计算的内容主要包括洪水淹没的面

积、容积与洪水淹没水深分布。

洪水淹没的面积指的是洪水淹没洼地被水填满后的水面的面积, 并不是指的我们平时所说的地形表面的面积。

洪水淹没的容积指的是洪水淹没达到平衡状态后淹没区洪水的体积。

洪水淹没水深的计算如图 2 所示, 水深由淹没区水面高程与地面高程共同决定。

$$D = E_w - E_g (E_w > E_g), \tag{1}$$

式中: D 为水深; E_w 为水面高程; E_g 为地面高程。

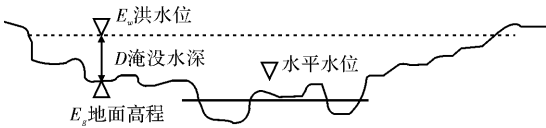
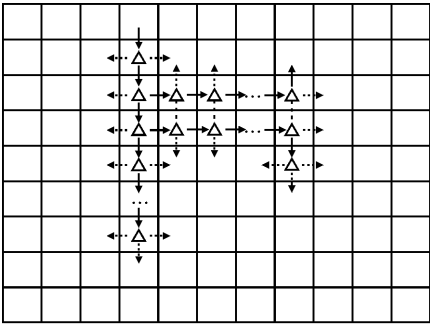


图2 洪水淹没水深的计算

1.2 基于正方形网格模型的洪水淹没计算

洪水淹没计算中连通性分析是洪水淹没计算的关键, 洪水淹没的连通性判断出来了, 洪水淹没的范围也就划定, 洪水淹没的计算就容易实现^[4]。在湖南冷水滩区洪水淹没计算与评估系统中我们选择正方形网格模型 DEM 数据进行分析, 当选定一溢口所在网格一边进入网格后, 按照低于 h 标准寻找其水流方向(分析中, 从一边进入后与周围网格高程比较判断后有可能 3 个方向的流向)。其连通性分析示意图如图 3。

* 收稿日期: 2009-05-04
基金项目: 武汉大学国内访问学者资助计划项目(2008ZJ909)
作者简介: 陈凯(1975-), 男, 山西孝义人, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为 GIS 技术及应用. E-mail: chenkaigis@126.com



→表示可能流经的方向
...表示遇到已提取网格无需判断流向
→表示与*h*比较后流经的实际方向
△表示淹没网格的标记

图3 洪水淹没连通性分析示意图

连通性分析算法用通俗方式表达为，一人沿指定一边进入网格（当然是低于*h*值的网格），然后与周围格网高程值比较，按照低于*h*的标准判断其可能的方向，并且对于可能方向数量进行累加，并将其判断过的网格进行标注，然后取其中一个方向继续前行（方向数量减一），循环判断。但是在后来的判断过程中，可能遇到方向指示已经标注过的格网，这样为了不重复标注，对于此方向不进行计数。每次累加方向后判断方向数量是否为零，不为零继续判断，直到方向数量为零的时候，连通范围也就判断出。

此算法不仅可以用于正方形格网模型的分析，将其扩展到多边形情形的时候也是成立的，这样根据不同的区域、不同的地形取各种不同的格网模型，可以很好的判断洪水淹没的连通性^[4]。

在提取连通性网格的时候，同时对于网格数量记数为*p*，对于提取网格表示为*h*(*i*, *j*)，这样洪水淹没的面积、容积、水深按如下公式进行计算：

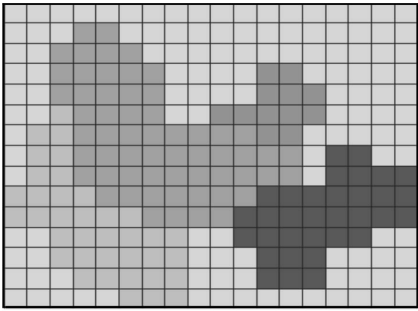
$$s_y = p \times dx^2, \tag{2}$$

$$H(i, j) = h - h(i, j), \tag{3}$$

$$V_y = dx^2 \times \sum H(i, j), \tag{4}$$

式中：*S_y*为洪水淹没面积；*dx*为正方形格网边长；*V_y*表示洪水淹没容积；*h*(*i*, *j*)表示格网高程数值；*H*(*i*, *j*)为格网淹没高度。

这样，对于每个格网的不同水深取一定水深判断标准，如0~0.5，0.5~1，1~1.5等，分别取不同颜色进行填充，可以得到淹没范围水深分布图（图4）。



表示水深0~0.5 m 表示水深0.5~1 m
表示水深1~1.5 m 表示水深1.5~2 m

图4 洪水淹没水深分布图

2 洪水淹没损失评估

2.1 洪水淹没评估步骤

（1）通过现场实地调查、DEM数据提取或遥感分析确定洪水淹没范围、淹没水深、淹没历时等致灾特性。

（2）搜集社会经济调查资料、社会经济统计资料以及空间地理信息资料，运用面积权重法、回归分析法等对社会经济数据进行空间求解，生成具有空间属性的社会经济数据库，反映社会经济指标的分布差异。

（3）水情特征分布与社会经济特征分布通过空间地理关系进行拓扑叠加，获取洪水影响范围内不同淹没水深下社会经济不同财产类型的数量及分布。

（4）选取具有代表性的典型地区、典型单元、典型部门等分别作洪灾损失调查统计，根据调查资料估算不同淹没水深（历时）条件下，各承灾体洪灾损失率。建立淹没水深（历时）与各类承灾体洪灾损失率关系表、关系曲线或回归方程^[5,6]。

（5）根据影响区内各类承灾体分布和洪灾损失率关系，按如下公式计算灾害经济损失：

$$B_{loss} = \sum_i \sum_j B_{ij} V(i, j), \tag{5}$$

式中：*B_{ij}*为评估单元在第*j*级水深的第*i*类承灾体的价值；*V*(*i*, *j*)为第*i*类承灾体在第*j*级水深条件下的损失率。

2.2 洪水淹没评估模型研究

现在国内较为成熟的洪灾损失评估模型一般有基于水力-动力演进技术的评估模型与基于空间数据展布式的灾害评估模型，两者的基础都是首先按地形、地貌将研究区域离散为一个个二维的洪水淹没特性网格^[6]（有规则的网格，也有不规则网格）。

水力—动力演进模型中，在洪水特性网格中，赋予网格平均地面高程、糙率、重力加速度等信息，通过求解描述水流动力规律的圣维南方程组，从而获取洪水淹没的动态过程，模型每个数十秒计算一次，得到各个网格的水深、流速、淹没历时累加等，具有较高的精度。

基于空间数据展布式的灾害评估模型实际上也是使用了洪水数值模拟技术，只不过它在取网格的时候使用不同的方法，最终目的是为了能够更好地利用其设计的网格实现对于社会经济数据的定位^[7]。

这样得到的洪水淹没特性格网，就可以与社会经济特征的空间分布进行叠置分析，从而获得淹没区各类经济数据，然后与经过调查统计得出的洪水淹没损失率结合进行计算，从而获得各类经济的损失与总的淹没经济损失。

对于灾前淹没损失的模拟预计中，由于无法预知淹没的历时、水流，淹没致灾因子只考虑洪水淹没深度，这样我们的评估模型可以直接采用洪水淹没计算的二维格网模型，由它计算出洪水淹没水深分布图与经济空间分布图叠置分析，得到各类经济分布数值，与相应的损失率结合得出具体的各类预计损失。

对于此处的损失率确定，使用各类在不同水深状况下已有的历史数据。其评估模型如图 5。

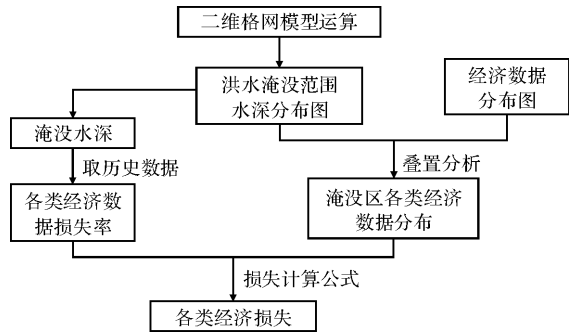


图 5 灾前预计损失评估模型

对于灾中或者灾后的损失评估，淹没致灾因子都要予以考虑，因为淹没损失率的确定，不仅与洪水淹没深度有关，还与洪水淹没历时、水流速度等有关，我们要获得洪水淹没历时、水流速度等情况，就要借助于上面提到的洪水淹没数值模拟技术。

在具体实施中可直接利用洪水淹没计算的正方形格网作为洪水淹没的洪水特性格网，取其高程作为洪水特性网格高程，并通过历史数据获得糙率与重力加速度等值。通过洪水模拟得到水深

分布、淹没历时、水流速度。与经济数据空间分布叠加，得到洪水淹没范围内经济数据，与其损失率进行计算可以得到淹没损失数据。

此处损失率的确定由参数数理统计建立回归方程获得。其评估模型如图 6。

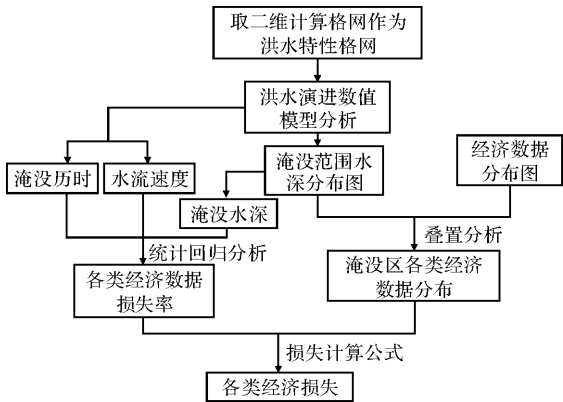


图 6 灾中、灾后损失评估模型

2.3 洪水淹没评估

实现洪水淹没评估损失的计算，关键是洪水淹没范围与洪水淹没区经济分布数据的叠置分析^[7,8]，一般的洪水淹没评估系统都以行政单元作为经济数据载体最小单元，它对于范围广、面积大的地域进行评估有一定的优势，其经济数据的调查获取相对容易，但是对于范围、面积不是很大的地域这种研究方式就显得比较粗糙，因为洪水淹没范围与经济数据分布图叠加的时候，洪水淹没边界不一定与行政区域边界正好重合。叠置分析中，经济数据载体的实体类型与大小，对于分析至关重要^[9,10]。

冷水滩区洪水淹没计算与评估系统中，由于农村与城镇的评价目标不一致，农村评价主要看其土地利用类型损失，所以采用面积较大的不规则的面状实体，对于城镇行业，则主要是建筑物损失，所以采用规则的相对较小的多边形实体，（如矩形表示房屋）。采用 Mapinfo 数据组织方式，其行业数据分层叠放，对于与洪水淹没范围叠加的图层其经济载体的实体类型与大小如表 1。

表 1 经济载体实体类型状况表		
实体类型	行业	面积、范围
不规则面状	农作物、林业、水产业、畜牧业、工程设施	较大
	商业、交通、邮电、建筑、机关事业、文教卫生、粮油存储、货运仓储、农机部门、工矿企业、居民财产	较小

叠置分析中各类损失数据的获取，也就是属

性数据的获取与统计,与面状的范围较小的规则实体进行叠置分析时,若其重心落入淹没范围,我们将其判定处于被淹没。当与面积较大的不规则面状实体进行叠加时,我们将实体中的经济数据视为均匀分布,按真正淹没面积与其面积的比值按比例地获取其经济数据,最后对数据进行属性运算与统计获取以行政区域为单位的各类损失,本系统中农村的最小行政单元为自然村,城镇的最小行政单元为街区,在 Mapinfo 平台下的叠置分析逻辑流程如图 7。

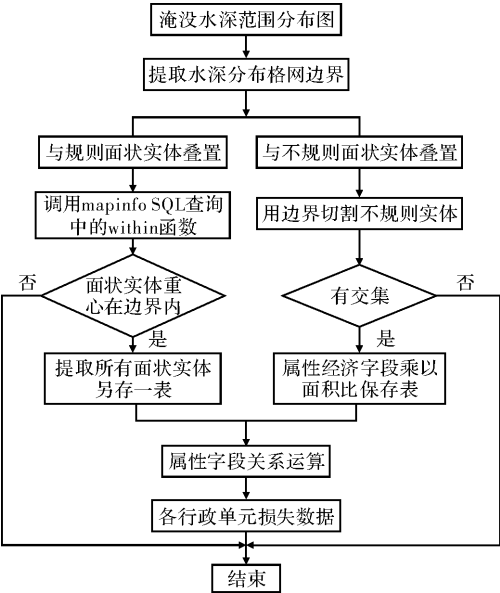


图7 mapinfo 平台下叠置分析逻辑流程图

3 系统设计与实现

本系统的空间数据采集方案为:纸质地图→地图扫描→图象预处理→建立地图投影和坐标系→栅格图象配准→屏幕矢量化→空间数据检查。属性数据采集使用键盘输入的方法。在实际开发时采用了 Mapinfo 格式的空间数据,选择了 SQL Server 2000 来管理属性数据。使用可视化编程软件 VC++ 对美国 Mapinfo 公司的 Mapinfo Professional 7.0 进行二次开发,这样既可以实现我们所需要的洪水淹没计算与评估的各项功能,又可以与已经存在的其它管理系统很好地集成。

根据系统总体设计目标与设计原则,以及系统所要具备的项目技术内容,结合 VC++ 二次开发 Mapinfo 的特点,将整个系统分为 5 大功能子系统:地图操作子系统、基本信息管理子系统、淹没范围计算子系统、淹没评估子系统、业务报表子系统(图 8)。

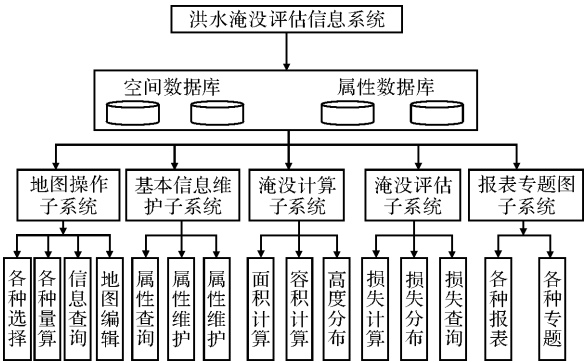


图8 洪水淹没计算与评估系统的组成

将洪水淹没的区域与洪水淹没区的行政区矢量图叠加可以得到行政区(本例为乡村一级)淹没范围图(图 9)。

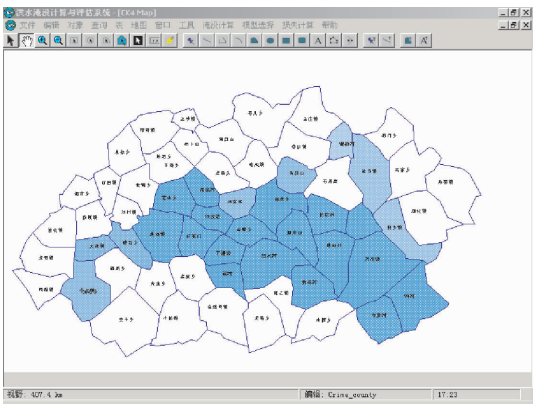


图9 乡村级行政区洪水淹没范围专题图

利用 Mapinfo 的强大的专题图制作功能可以实现对各种洪水淹没损失的更为形象直观的表达,图 10 为淹没损失的工、农、商企业的分布,为洪水淹没后转移、赔偿等提供参考。

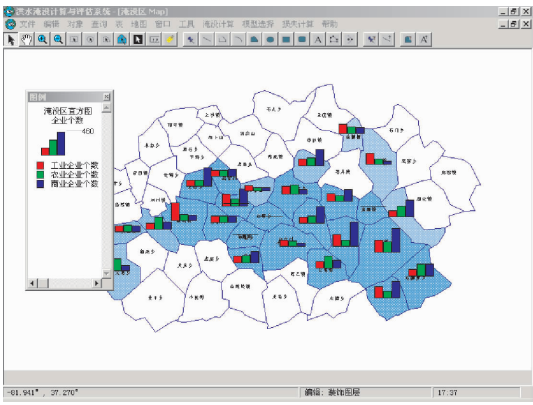


图10 淹没区工、农、商企业分布直方图

4 小结

结合冷水滩区洪水淹没评估系统,选择了正

方形 DEM 模型，利用正方形格网分析方法进行了洪水淹没连通性的分析。将洪水淹没正方形格网分析方法与当前比较成熟的评估方法—洪水数值模拟技术相结合，根据应用目的将模型分为洪水灾前预计模型与洪水灾中与灾后损失评估模型。对冷水滩区系统评估的尺度与方法进行了研究，按评估的重点将洪水淹没评估中的区域划分为农村与城镇两类，对它们中的行业分类进行了细化。对于评估中的关键技术—叠置分析，提出了在 Mapinfo 中针对两类实体的不同解决方法。

侧重研究了洪水淹没计算中的连通性分析和淹没系统评估模型构建等问题，对在洪水淹没损失评估灾情数据的获取中如何实现经济数据在载体中分布密度的判断及洪水灾害评估中使用回归统计模型进行损失率的确定等问题研究不够^[11]，这些问题有待在今后的研究中做进一步探讨。

参考文献：

[1] 刘权. GIS 在河流洪泛区灾害监测中应用研究[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 712-716.

[2] 陈志远, 赵思建, 陈剑文. 基于 GIS 的汕头市水灾信息系统[J]. 灾害学, 2003, 18(1): 77-81.

[3] 刘永志, 张行南, 张文婷, 等. 基于 GIS 和 OREMS 的洪灾避难系统[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 17-21.

[4] 郭利华, 龙毅. 基于 DEM 的洪水淹没分析[J]. 测绘通报, 2002, 8(11): 25-28.

[5] 刘仁义, 刘南. 基于 GIS 技术的淹没区确定方法及虚拟现实表达[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2002, 29(5): 573-578.

[6] 陈德清, 杨存建, 黄诗峰. 应该 GIS 方法反演洪水最大淹没水深的空间分布研究[J]. 灾害学, 2002, 17(2): 1-6.

[7] LIU Xue, WANG Xingkui, WANG Guangqian. Study on GIS—based modeling of sPatialProcesses simulation [J]. Journal of Image and Graphics, 1999, 4(6): 476-480.

[8] 王中根, 刘昌明, 吴险峰. 基于 DEM 的分布式水文模型研究综述[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 168-173.

[9] 万洪涛, 周成虎, 万庆, 等. 地理信息系统与水文模型集成研究述评[J]. 水科学进展, 2001, 12(4): 560-568.

[10] 向素玉, 陈军, 魏文秋. 基于 GIS 城市洪水淹没模拟分析[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1995, 20(5): 575-580.

[11] Zhou Chenghu. Flood Hazard Assessment Information System [M]. Beijin: China Science and Technology Press. 1993: 58-85.

Research and Implementation of GIS-based Flood Assessment System

Chen Kai^{1,2}

(1. Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China; 2. Institute of Information Physics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Flood assessment system based on GIS is discussed in the aspects of flood calculation and flood assessment. Combining with an example of flood assessment system of Lengshuitan district of Hunan, the connectivity of submerging is analyzed by using the square DEM model and square grid analysis method. A model to assess the flood is worked out and concrete solutions for overlay analysis in flood assessment. Finally, the design and implementation of the system is described.

Key words: GIS; flood calculation; loss assessment; system design; Lengshuitan district of Hunan