

基于空间信息格网和BP神经网络的 洪灾损失快速评估

刘小生 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

国家自然科学基金项目

赣鄱英才555工程项目 联合资助

江西理工大学著作出版基金

基于空间信息格网和 BP 神经网络 的洪灾损失快速评估

刘小生 著



北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 简 介

全书共9章。第1章阐述当前空间信息技术在洪灾评估的应用现状,提出研究理论需求;第2章介绍鄱阳湖的相关地理、水文及防洪减灾现状,提出研究的现实需求;第3章利用空间信息格网技术,将洪灾区域划分为格网并进行致灾因子分析;第4章研究洪灾面积的多源遥感快速提取方法;第5章用遥感方法及相关模型提取致灾因子;第6章对现有神经网络模型进行改进及集成研究;第7章构建洪灾损失快速评估模型;第8章开发洪灾损失快速评估系统并在鄱阳湖区应用;第9章总结与展望。

本书可供测绘科学与技术、地理学等相关专业研究生、本科生及工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

基于空间信息格网和BP神经网络的洪灾损失快速评估/
刘小生著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5024-7118-7

I. ①基… II. ①刘… III. ①水灾—事故损失—评估
IV. ①P426.616

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第300506号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 杨盈园 贾怡雯 美术编辑 杨 帆 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7118-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2015年12月第1版,2015年12月第1次印刷

169mm×239mm;12.75印张;245千字;191页

58.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

我国是世界上洪水灾害发生最频繁的国家之一，每年因洪水灾害造成的直接经济损失达数百亿元。传统的洪灾损失评估方法主要是应用历史水文方法粗略圈定洪水可能淹没的范围，然后在淹没范围内用人力、物力进行现场调查，最后汇总确定淹没区社会经济财产损失值。然而由于洪涝灾害本身的时空复杂性，再加上用于灾害损失研究的基础资料缺乏，因此目前我国的洪灾损失评估存在效率低、准确性差等问题。

针对这种情况，本书利用集成空间信息格网技术和 BP 神经网络模型快速地评估洪水淹没区域的洪灾损失值，从而为洪灾损失评估提供一种新方法。首先利用空间信息格网技术将洪灾多发区域依据自然社会经济情况划分为格网，结合 GIS 技术和 DEM 数据，从洪灾的属性特征出发，分析影响洪灾损失的主要因素，并分别研究它们对洪灾损失的影响规律；其次研究遥感洪灾面积提取技术，从而快速提取洪灾面积和致灾因子；再次对 BP 神经网络进行改进研究，并构建空间信息格网与改进的 BP 神经网络的洪灾损失快速评估模型；最后开发基于空间信息格网和 BP 神经网络的洪灾损失快速评估系统，并以鄱阳湖区某县为例，对洪灾损失评估模型进行实际应用，达到快速评估洪灾损失的目的。

本书是国家自然科学基金课题（41061041）的部分研究成果，它与国内外同类书比较有以下两个特点：（1）从洪水致灾、地形条件、淹没程度、社会经济等方面进行综合考虑，构建洪灾损失评估的多因子空间；（2）集成空间信息格网和 BP 神经网络技术，从而充分发挥

GIS 强大的空间分析功能与 BP 神经网络特有的自学习和联想记忆功能。

本书由江西理工大学教授刘小生博士所著，在国家自然科学基金项目研究中，李恒凯老师及研究生胡飞辉、胡啸、旷雄、王艳、张杰云、赵小思等参加了研究工作，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬请专家和读者批评指正。

刘小生

2015 年 8 月

目 录

1 概述	1
1.1 空间信息技术在洪灾损失评估方面的研究进展	1
1.1.1 国外研究进展	1
1.1.2 国内研究进展	2
1.2 空间信息技术在洪灾损失评估应用中存在的问题	2
1.3 本书主要研究内容及章节安排	4
1.3.1 主要研究内容及技术路线	4
1.3.2 章节安排	4
参考文献	5
2 鄱阳湖区洪水灾害与防洪减灾	8
2.1 鄱阳湖区概况	8
2.1.1 湖区自然地理状况	8
2.1.2 湖区社会经济简况	10
2.2 鄱阳湖区洪水灾害	10
2.2.1 洪灾的成因、影响与特征	10
2.2.2 湖区洪涝与洪灾损失类型	12
2.3 鄱阳湖区防洪减灾进展	14
2.3.1 湖区防洪减灾工程措施	14
2.3.2 湖区防洪减灾非工程措施	16
2.3.3 湖区防洪减灾机遇与挑战	17
参考文献	18
3 格网划分及致灾因子分析	20
3.1 概述	20
3.1.1 格网概念	20
3.1.2 国内外研究现状	20
3.1.3 洪灾损失评估中引入格网的意义	21
3.2 气候因素对鄱阳湖区洪灾的影响	22

3.3	人为因素对鄱阳湖区洪灾的影响	23
3.4	地形地貌对鄱阳湖区洪灾的影响	24
3.5	鄱阳湖区洪灾防洪能力	25
3.6	鄱阳湖区洪灾承灾体易损性	26
3.6.1	鄱阳湖区承灾体的分类	27
3.6.2	鄱阳湖区洪灾易损性分析	28
3.7	影响洪灾的主要因子分析	30
	参考文献	31
4	洪灾面积的多源遥感快速提取	33
4.1	洪灾面积调查与遥感提取概述	33
4.1.1	传统洪灾面积调查方法	33
4.1.2	遥感提取方法概述	34
4.1.3	目前遥感提取存在的主要问题	36
4.2	洪灾面积遥感提取有关技术方法	37
4.2.1	洪灾水体时空特征与遥感数据源选择	37
4.2.2	遥感影像去云方法	40
4.2.3	多源数据融合技术	51
4.3	洪灾面积提取方法比较与快速提取	53
4.3.1	鄱阳湖水域特点与遥感数据选择	53
4.3.2	提取方法比较	55
4.3.3	多源数据协同的洪灾面积快速提取	64
	参考文献	88
5	影响洪灾的主要因子快速提取	91
5.1	致灾因子的提取	91
5.1.1	水深计算	91
5.1.2	洪水水位及降雨量获取与处理	93
5.2	地形条件因子的提取	93
5.3	地物分类及提取	95
5.3.1	地物光谱特征	95
5.3.2	地物提取	96
5.3.3	地物提取精度评定及试验结果分析	99
5.4	社会经济因子的获取	101
5.5	防洪能力因子的提取	101

5.5.1 水库防洪能力计算	102
5.5.2 圩堤防洪能力计算	103
参考文献	104
6 BP 神经网络的改进及神经网络模型集成	106
6.1 BP 神经网络简介	107
6.1.1 BP 神经网络的由来	107
6.1.2 BP 神经网络的基本概念	107
6.2 BP 神经网络模型的构建	108
6.2.1 样本数据	108
6.2.2 BP 神经网络拓扑结构的确定	109
6.2.3 BP 神经网络的训练	110
6.2.4 BP 神经网络的初始连接权值	110
6.2.5 BP 神经网络模型的性能和泛化能力	111
6.2.6 BP 神经网络的合理性确定	111
6.3 BP 神经网络算法	112
6.3.1 BP 神经网络算法公式	112
6.3.2 基本 BP 算法的缺陷	115
6.4 BP 神经网络算法的改进	116
6.4.1 基于自适应学习率调整的改进	116
6.4.2 基于附加冲量项的改进	116
6.4.3 基于模拟退火算法的改进	117
6.4.4 BP 神经网络算法的综合改进	118
6.4.5 BP 神经网络算法综合改进的实现	118
6.4.6 实现 BP 神经网络算法综合改进的关键代码	120
6.5 神经网络集成简介	126
6.5.1 神经网络集成的由来	126
6.5.2 神经网络集成的基本概念与结构	126
6.6 神经网络集成模型的构建	127
6.6.1 个体网络的生成方法	128
6.6.2 集成结论的生成方法	132
6.7 神经网络集成的泛化能力分析	132
6.8 神经网络集成程序的开发	133
6.8.1 AForge.NET 开源框架简介	133
6.8.2 程序构建的具体步骤	134

6.8.3 实验验证及分析	137
参考文献	142
7 灾损样本采集与快速评估	144
7.1 地类受灾损失指标	144
7.1.1 田地损失指标	144
7.1.2 林地损失指标	145
7.1.3 建筑用地损失指标	145
7.1.4 其他损失指标	146
7.2 灾损样本采集与数据处理	146
7.2.1 样本测试数据采集	146
7.2.2 淹没区域格网图元处理	148
7.2.3 统计数据采集与处理	151
7.3 数据处理流程	154
7.4 灾损快速评估模型构建	155
7.5 评估模型应用并验证	157
7.5.1 灾损样本数据准备	157
7.5.2 灾损样本数据模型训练	158
7.5.3 测试并验证精度	160
8 洪灾损失快速评估系统	162
8.1 系统需求分析	162
8.1.1 系统安全性	162
8.1.2 空间数据精度要求	163
8.1.3 系统易维护性、灵活性	163
8.1.4 系统美观性	163
8.2 系统功能及业务流程设计	164
8.2.1 系统的主要功能	164
8.2.2 系统的业务流程设计	165
8.3 系统总体设计	166
8.3.1 总体框架设计	166
8.3.2 系统采用的关键技术	167
8.4 系统数据库设计	169
8.4.1 研究区洪灾损失评估样本数据来源	169
8.4.2 数据预处理	170

8.4.3	SQL Server 数据库详细设计	171
8.5	洪灾损失快速评估系统的开发实现及应用	173
8.5.1	系统开发环境	173
8.5.2	系统主界面	173
8.5.3	灾情数据处理	173
8.5.4	受灾区域格网分析	175
8.5.5	图元处理及受灾数据入库	181
8.5.6	洪灾损失评估分析	182
9	总结与展望	188
9.1	总结	188
9.2	展望	191

1 概 述

近年来,气候变化引发全球洪涝灾害事件频发,洪涝灾害已成为世界上主要的自然灾害之一^[1]。我国是世界上洪水灾害发生最频繁的国家之一,有 10% 国土面积、5 亿人口、5 亿亩(15 亩=1 公顷)耕地、100 多座大中城市和全国 70% 的工农业总产值受到洪水灾害的威胁。每年因洪水灾害造成的直接经济损失达数百亿元,洪水灾害已成为我国实现可持续发展的严重障碍^[2]。传统的洪灾损失评估方法主要是应用历史水文方法粗略圈定洪水可能淹没的范围,然后在淹没范围内用人力、物力进行现场调查、汇总确定淹没区各个行政区的社会经济损失统计数据,再综合历史上每次洪灾的损失比例,最后确定淹没区社会经济财产受灾及其损失值。

由于洪灾带有很大的随机性,每次洪灾涉及的范围和受灾的程度都各不相同,且灾害损失还与工程建设质量和抢险措施密切相关,特别是灾害损失的评估需在灾后一段时间才能得出结果,这样可能延误救灾及灾后重建良机。因此,对洪灾损失进行快速诊断和评估,即建立洪灾损失快速评估模型不仅可为防洪、减灾、救灾提供重要的决策依据,为实现洪水灾害管理的科学化、系统化、定量化奠定基础,而且将促进和提高人类对洪水灾害的认识和管理水平,从而为寻找一条人口、经济、社会、环境和资源相互协调、和谐发展的可持续发展道路提供有效的保障。

1.1 空间信息技术在洪灾损失评估方面的研究进展

1.1.1 国外研究进展

国外对洪水灾害损失评估的研究工作开展得比较早,如美国开始于 20 世纪 60 年代初期,日本开始于 70 年代末期,在这些国家,洪水保险比较普及,评估洪水灾害损失所需要的基础资料、社会经济资料和各种行业财产损失率资料建设相对比较完整,所以在洪水灾害发生时能够比较快速地评估出洪水灾害的损失。美国 20 世纪 60 年代以来对洪泛区管理做了广泛而深入的研究,并对洪水灾害的损失评价方法做了很多有意义的探讨工作^[3]。Sujit 等人提出非传统的水深—损失曲线方法,用以计算特大洪水的经济损失,并在研究分析了以前各种水深—损失曲线的优缺点基础上,拟合出 6 种不同财产类别的新曲线,即平均曲线,这样的曲线具有广泛的适用性^[4]。1988 年美国对俄亥俄州富兰

克林县境内进行水灾损失评估时,也是通过调查,建立财产—水深—损失的函数关系,然后进行损失评估。加拿大的 Edward A Mcbean 和 Jack Georrie 等在考虑成灾因素时,不仅考虑水深这个因素,同时考虑淹没历时和水流速度,以及预报时间对损失的影响,它们利用访问调查资料对水深—损失曲线进行了调整,对洪水预报、长历时洪水、高流速洪水对损失曲线的影响进行了分析和探讨^[5]。泰国 1992 年对曼谷的住宅区、工业、农业和商业区进行了 3000 多个单元的调查,得出了洪灾损失与淹没水深的历时函数关系,利用这一函数关系对 1983 年的洪灾损失进行了估算^[6]。Jonge 等人 1996 年应用 GIS 建立了洪水灾害损失评估模型^[7]。荷兰水力学实验室同河流、航运和结构实验室的研究人员,利用 GIS 进行了洪水模拟和损失评估,提出了一个洪灾损失评估原理^[8]。日本京都大学的 Skikantha Herath 等人利用分布式模型、GIS 和 RS 进行了洪水模拟和损失评估^[9]。与此同时,以色列等一些国家的专家也相继开展了这方面的工作^[10]。

1.1.2 国内研究进展

我国对洪水灾害损失评估的研究起步较晚,开始于 80 年代末期,在 30 多年的时间里取得了很大的研究成果,如 90 年代初由马宗晋等人提出的以人口死亡数和财产损失数作为制定分级的标准,并把它们经过规范化后直接相加,构成灾情指数来划分灾情等级的灾害评定方法,对我国自然灾害灾情评估工作起了重要的指导作用^[11]。李纪人等人的基于空间展布式社会经济数据库的洪涝灾害损失评估,主要从洪水遥感监测角度出发,在基础背景数据支持下,实现了洪水灾害的灾中评估^[12];王艳艳等人进行了基于洪水模拟演进的洪水灾害评估^[13];程涛等人提出了区域洪水灾害直接经济损失评估模型,主要从历史洪灾灾情资料的角度出发,给出了不同频率洪水灾害损失随财产变化的关系曲线,建立以县为单位的洪灾损失统计评估模型^[14]。近几年,随着 GIS 的发展,GIS 在洪灾损失评估中也有一些应用,如李观义的基于 GIS 的洪灾经济损失评估及其应用^[15],曹丽娜的基于 GIS 的洪灾损失评估方法^[16],陈伟等人的基于 GIS 的洪水淹没损失研究^[17],何永健等人的基于 GIS 的潍坊市洪涝灾害评估系统^[18],黄娟的基于 GIS 的洪灾预警与淹没评估系统研究^[19],杨洪林等人的基于 GIS 的太湖流域洪水风险图信息管理系统设计^[20]等。另外,作者及其团队成员近 10 年来利用 GIS 技术也对洪灾损失评估进行了一些研究^[21~34]。

1.2 空间信息技术在洪灾损失评估应用中存在的问题

综观国内外文献可知,现有的基于空间信息技术的洪灾损失评估模型可以用来预测洪灾损失,但通过研究发现存在以下问题。

(1) 基础资料缺乏。

首先,在我国对洪水灾害评估工作的开展比较晚,没有形成一个成熟的系统,洪水保险没有普及,评估洪水灾害损失所需要的基础资料、社会经济资料和各种行业财产损失率资料建设不够齐全。

(2) 格网划分不尽合理。

对于洪水淹没而言,淹没的边界一般是不规则的,与行政界线也不重合,洪水可能只淹没村或乡镇的一部分;而社会经济数据是按行政单元统计的,在行政单元内社会经济信息分布是不均匀的,如果直接利用行政单元进行损失统计计算,就可能会有受淹区社会经济指标计算不合理和洪水分布特性不合理等问题。为了解决这些问题,可将受淹区划分成一个个格网,但目前格网大小及形式划分不尽合理。

(3) 致灾因子选取有困难。

洪灾经济损失评估是一项十分复杂的工作,它涉及的因素很多,如淹没深度、社会经济状况及分布、淹没地形、淹没时间、洪水流速、防洪工程质量等,因此要想获取准确有效的洪灾损失评估结果,就必须选取足够多的致灾因子。但由于各个致灾因子间存在一定的联系,因此选取恰当的致灾因子有一定困难。

(4) 洪灾区的基础数据快速提取方法待改进。

一方面洪灾区的遥感影像基础数据不够完善;另一方面对现有遥感影像数据提取方法有待改进。在此基础上如何快速提取致灾因子也值得进一步研究。

(5) 评估模型难以准确与快速。

洪灾经济损失评估是一项十分复杂的工作,它涉及的因素很多,如自然、经济、技术、社会和政治等,因此要想获取洪灾损失准确与快速的评估结果,就必须选择最适宜的评估模型。但洪灾损失评估模型一般被认为具有高度非线性、时变性、空间分布差异等特性,并且不容易使用简单的模式有效地加以描述。目前比较有代表性的洪灾损失评估方法大体上分为两类:一类是利用空间信息技术进行洪灾损失评估,它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,该方法需要建立各类承灾体洪灾损失率关系曲线,模拟出洪水淹没的具体状况,往往与实测数据差距较大;另一类是利用人工智能技术进行洪灾损失评估,其主要思路是针对历史灾情数据,发现隐藏在历史数据中的灾情发生规律。目前运用最多的是神经网络算法,研究结果显示,神经网络对于洪灾损失评估的正确性和有效性有着良好的表现,但是没有充分地利用GIS的空间分析功能,未能充分考虑地形参数的抽象表达,而仅仅以特定地点的降雨量等非地形相关条件作为模型参数输入进行训练,从而影响了洪灾损失评估结果的可理解性和利用价值。也就是说现有的洪灾损失评估模型难以做到实时和精准评估。

1.3 本书主要研究内容及章节安排

1.3.1 主要研究内容及技术路线

针对现有空间信息技术在洪灾损失评估应用中存在的问题,考虑到洪水灾害损失具有时空分布特征,洪水淹没的边界具有不规则性,淹没区社会经济数据也不均匀等特点,本书将利用空间信息格网技术,首先将洪灾多发区域依据自然社会经济情况划分为格网,并结合 GIS 技术和 DEM 数据,从洪灾的属性特征出发,分析影响洪灾损失的主要因素,并分别研究它们对洪灾损失的影响规律;其次研究遥感洪灾面积提取的关键技术,从而快速地提取洪灾面积和致灾因子;再次对 BP 神经网络进行改进研究,构建由单个神经网络模型组成的神经网络模型集成;最后开发基于空间信息格网和 BP 神经网络的洪灾损失快速评估系统,并以鄱阳湖区为例,对洪灾损失评估模型进行实际应用并完善。

针对主要研究内容,本书拟采用的技术路线如图 1-1 所示。

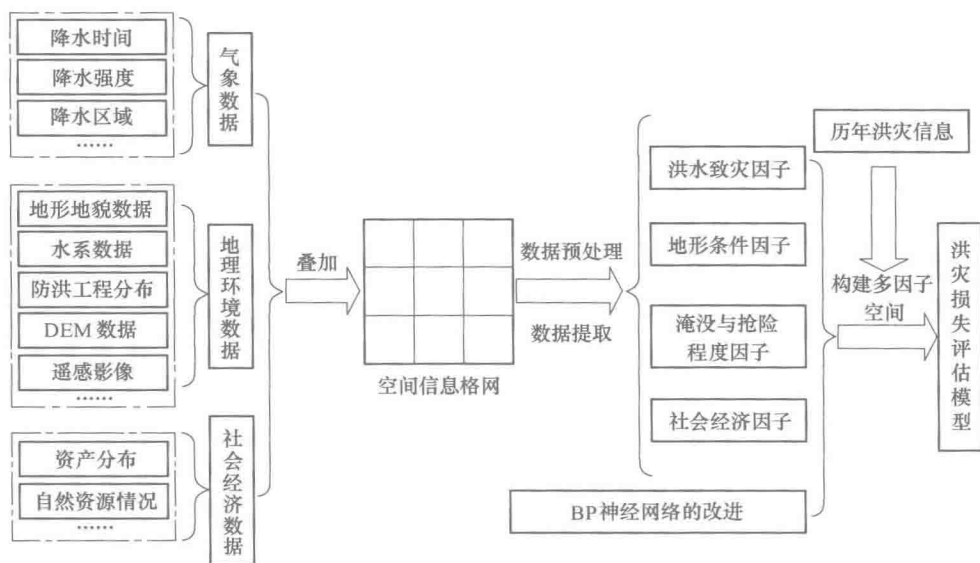


图 1-1 基于空间信息格网和 BP 神经网络的洪灾损失评估技术路线

1.3.2 章节安排

针对本书主要研究内容,本书章节安排如下:

第 1 章为概述,主要介绍空间信息技术在国内外洪灾损失评估方面的研究进展及存在的问题,提出本书主要研究内容及章节安排。

第2章为鄱阳湖区洪水灾害与防洪减灾, 主要介绍鄱阳湖区概况、湖区洪水灾害情况及湖区防洪减灾进展。

第3章为格网划分及致灾因子分析, 介绍格网划分, 论述格网划分与洪灾损失评估的关系, 分析致灾因子及其对洪灾损失的影响。

第4章为洪灾面积的多源遥感快速提取方法, 介绍洪灾面积调查与遥感提取方法, 研究遥感洪灾面积提取关键技术, 快速提取洪灾面积。

第5章为影响洪灾的主要因子快速提取, 研究洪灾区地物、地貌提取方法, 快速提取致灾因子。

第6章为BP神经网络的改进及神经网络模型集成, 介绍BP神经网络的构建, 研究BP神经网络算法的改进, 实现神经网络集成。

第7章为灾损样本采集与快速评估, 介绍地区受灾损失指标, 讨论灾损样本采集与处理方法, 快速构建灾损评估模型。

第8章为洪灾损失快速评估系统开发与实现, 分析系统需求及系统的设计、开发、实现与应用。

第9章为结论与展望, 对本书进行总结与展望。

参考文献

- [1] 付湘, 谈广鸣, 纪昌明. 洪灾直接损失评估的不确定性研究 [J]. 水电能源科学, 2008 (3): 35~38.
- [2] 丁志雄, 胡亚林, 李纪人. 基于空间信息格网的洪灾损失评估模型及其应用 [J]. 水利水电技术, 2005 (6): 93~94.
- [3] 陈秀万. 洪灾损失评估系统-遥感与GIS技术应用研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [4] Das S, Lee R. A nontraditional methodology for flood stage damage calculation [J]. Water Resources Bulletin, 1988, 24 (6): 1263~1272.
- [5] 冯民权, 周孝德, 张根广. 洪灾损失评估的研究进展 [J]. 西北水资源与水工程, 2002, 13 (1): 33~36.
- [6] 贾仰文, 王浩, 倪广恒, 等. 分布式流域水文模型原理和实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [7] Jonge T D, Mathijs K, Marten H. Modeling floods and damage assessment using GIS [C]. HydroGIS96: Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources Management, 1996: 299~306.
- [8] 刘冬青, 刘玉年, 李纪人, 等. GIS在水文水资源管理中的应用 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1999.
- [9] Yang D, Herath S, Musiak K. Spatial resolution sensitivity of catchment geomorphologic properties and the effect on hydrological logical simulation [J]. Hydrological Processes, 2001

- (15): 2085~2099.
- [10] Melloul A J, Collnm. A proposed index for aquifer water quality assessment: the case of Israel's Sharon region [J]. *Journal of Environment Management*, 1998, 54 (2): 131~134.
- [11] 马宗晋. 灾害与社会 [M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- [12] 李纪人, 丁志雄, 黄诗峰, 等. 基于空间展布式社会数据库的洪涝灾害损失评估模型研究 [J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2003, 1 (2): 104~110.
- [13] 王艳艳, 陆吉康, 郑晓阳, 等. 上海市洪涝灾害损失评估系统的开发 [J]. *灾害学*, 2001, 16 (2): 7~13.
- [14] 程涛, 吕娟, 张立忠, 等. 区域洪灾直接经济损失即时评估模型实现 [J]. *水利发展研究*, 2002, 2 (12): 34~40.
- [15] 李观义. 基于 GIS 的洪灾经济损失评估及其应用 [J]. *地理与地理信息科学*, 2003 (8): 97~98.
- [16] 曹丽娜, 何俊仕. 基于 GIS 的洪灾损失评估方法 [J]. *中国农学通报*, 2005 (6): 407~410.
- [17] 陈伟, 王祎婷. 基于 GIS 的洪水淹没损失研究 [J]. *地理空间信息*, 2008, 6 (5): 94~96.
- [18] 何永健, 邱新法, 路明月, 等. 基于 GIS 的潍坊市洪涝灾害评估系统 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36 (31): 13685~13686.
- [19] 黄娟. 基于 GIS 的洪灾预警与淹没评估系统研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- [20] 杨洪林, 胡艳. 基于 GIS 的太湖流域洪水风险图信息管理系统设计 [J]. *中国防汛抗旱*, 2007 (3): 22~25.
- [21] 刘小生, 余豪峰. Research on assessment system of flood losses for Poyang lake area based on GIS [C]. 第 16 届国际地理信息科学与技术大会. Washington USA: SPIE, 2008: 714508 (1~10).
- [22] 刘小生, 余豪峰. Research on Assessment Model of Flood Losses Based on GIS and BP Neural Network [J]. *Journal of Information and Computational Science*, 2008, 5 (1): 411~418.
- [23] 刘小生. 基于 ARC/info 的防汛抗洪地理信息系统研究 [J]. *测绘通报*, 2006 (6): 41~43.
- [24] 刘小生, 吴为波. 基于 GIS 技术的洪水淹没区确定 [J]. *测绘科学*, 2007 (10): 21~22.
- [25] 刘小生, 黄玉生. “体积法”洪水淹没范围模拟计算 [J]. *测绘通报*, 2004 (12): 47~49.
- [26] 刘小生, 黄玉生. 基于 Arc/Info 的洪水淹没面积的计算方法 [J]. *测绘通报*, 2003 (6): 46~48.
- [27] 陈优良, 刘小生. Research on methods of quick monitoring and evaluating of flood disaster in Poyang lake area based on RS and GIS [C]. IEEE PRESS, 2008 (11): 1105~1108.
- [28] 陈优良, 刘小生. Implementation of a long-distance monitor and automatic alarm system of flood disaster in Poyang lake area [C]. IEEE Computer Society, 2008 (12): 120~123.
- [29] 刘小生, 余豪峰. 基于 GIS 和 BP 神经网络的洪灾损失评估模型的研究 [J]. *工程勘察*,

- 2009 (4): 72~74.
- [30] 刘小生, 吴征. 一种海量遥感影像实时切割与高效调度的新方法 [J]. 测绘科学技术学报, 2013, 30 (1): 51~53.
- [31] 刘小生, 赵小思. 基于空间信息格网的洪灾损失评估 [J]. 工程勘察, 2013, 41 (6): 66~69.
- [32] 刘小生, 张杰云. Flood Loss Evaluation Based on Spatial Information Grid of Socio-economic Data [J]. Journal of Applied Science, 2013, 13 (21): 4550-4554.
- [33] 刘小生, 赵相博. 鄱阳湖区洪水淹没损失评估系统的设计与实现 [J]. 江西理工大学学报, 2013, 34 (3): 16~22.
- [34] 刘小生, 胡啸. The Comprehensive Improvement on BP Neural Network Algorithm [C]. International Conference on Control Engineering and Information Technology. IEEE, 2013: 335~338.