

王卫东 著

基于WebGIS的区域公路地质灾害 管理与空间决策支持系统



科学出版社

基于 WebGIS 的区域 公路地质灾害管理与空间 决策支持系统

王卫东 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书总结了作者多年对地质灾害区划、监测、预警和预报理论与技术的研究与实践。理论上,创建基于梯形模糊数和熵值理论的主客观权重区划模型;运用雨量模型进行雨量危险性预测,建立研究区地质灾害气象预警判据,生成区域地质-气象联合预警图。建立基于准确性矩阵的滑坡位移联合预测模型和基于可拓学的综合评判模型进行滑坡变形阶段识别。实践上,设计区域公路地质灾害中心数据库,在 Geoprocessor 框架下构建滑坡敏感性分析模型库(包括 Logistic 回归分析、可拓学、主客观综合权重等模型),并将模型库发布为地理处理服务(GP 服务),建立了基于 WebGIS 的贵州省公路地质灾害监测、分析、评价、预报和预警系统,以电子地图为载体,以区域-公路-灾害点为主线,从面、线、点全方位实现地质灾害基本属性信息、监测信息、气象信息、预警预报信息一体化的网络远程发布。

本书可供从事地质灾害区划、监测、预警和灾害信息管理研究的学者和从事地质灾害相关工作的技术与管理人员阅读参考,也可以作为地质灾害专业高校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基于 WebGIS 的区域公路地质灾害管理与空间决策支持系统/王卫东著. —北京:科学出版社,2014. 10

ISBN 978-7-03-042002-2

I. ①基… II. ①王… III. ①地理信息系统-应用-道路工程-地质灾害-灾害管理 IV. ①U418. 5-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 223804 号

责任编辑:周 炜 张 宇 / 责任校对:张怡君

责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 10 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 10 月第一次印刷 印张:13 1/2

字数:272 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国西部山区地质灾害类型繁多,分布广泛,特别是滑坡、崩塌与泥石流的影响最为直接、危害最大,给公路建设和运营以及人民的生命和财产安全产生极大的威胁。研究区域及公路沿线地质灾害的危险性评价,实现地质灾害时间与空间预测预报,对地质灾害的减灾与防灾工作具有十分重要的意义。

本书深入研究区域公路地质灾害危险性区划,地质灾害时空预测预报理论,设计并实现了区域公路地质灾害管理与空间决策支持系统。主要研究内容和成果如下:①在深入研究区域公路地质灾害空间危险性区划评价指标体系、评价模型和方法的基础上,创建基于梯形模糊数的主观权重模型和基于熵值的客观权重模型,丰富了地质灾害空间危险性评价方法体系。②研究地质灾害发生与降水过程关系,运用雨量模型进行雨量危险性预测。将区域地质灾害危险性区划与降雨参数等因素叠加,建立研究区域地质灾害气象预警判据,生成区域地质-气象联合预警图。③对已有的滑坡预测理论、判据和方法进行归纳分析,引入准确性矩阵,建立滑坡位移联合预测模型,解决多模型预测结果取舍和模型可靠性评判问题。对滑坡变形阶段识别,提出基于可拓学的综合评判模型。④构建了区域公路地质灾害数据模型:区划数据模型和地质灾害项目数据模型。按概念模型、逻辑模型和物理模型逐步创建了基于 Geodatabase 区域公路地质灾害中心数据库。⑤在 Geoprocessor 框架下实现了滑坡敏感性分析模型库(包括 Logistic 回归分析、可拓学、主客观综合权重等 3 个模型和模型结果可靠性分析工具),并将模型库发布为地理处理服务(GP 服务)。⑥研发了基于 WebGIS 的贵州省公路地质灾害监测、分析、评价、预报和预警系统,以电子地图为载体,以区域-公路-灾害点为主线,从面、线、点全方位实现地质灾害基本信息、监测信息、气象信息、预警预报信息的一体化网络远程发布。

本书研究内容获得以下基金支持:①国家重点基础研究发展计划:重大工程灾变滑坡区地质过程及孕灾模式(973 项目,2011CB710601);②国家自然科学基金项目:铁路选线地质灾害时空危险性评估理论与方法研究(项目批准号:51478483);③交通运输部:西部地区公路地质灾害监测预报技术研究(200331880201);④交通运输部:滇黔玄武岩地区公路地质灾害综合处治技术研

究(2009318802074);⑤交通运输部:贵州山区高速公路边坡地理信息系统研究(2003353352480)。

杜香刚、谢翠明、曾科和陈燕平等同志参与本书部分章节撰写。

感谢贵州省交通系统罗强、许湘华、龙万学、谭捍华和赵杰华等高级工程师,中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所孔纪名与王成华研究员,中南大学方理刚、周栩、傅鹤林等教授,美国弗吉尼亚理工大学 Hesham Rakha 教授在课题研究过程中给予的大力支持。

限于作者水平,本书难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 区域公路地质灾害管理与决策的研究背景和研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	3
1.2 国内外研究现状	4
1.2.1 地质灾害危险性区划研究现状	4
1.2.2 单体灾害的监测预报技术研究现状	7
1.2.3 区域地质灾害气象预警预报研究现状	9
1.2.4 GIS 技术在地质灾害评价预测中的应用现状	11
1.2.5 地理处理服务应用研究现状	13
1.3 本书主要内容以及解决的主要问题	14
1.3.1 主要内容	14
1.3.2 解决的主要问题	15
第 2 章 空间决策支持系统基础理论及系统框架	16
2.1 决策支持系统基础理论	16
2.2 空间决策支持系统基础理论	17
2.3 系统总体框架	18
2.4 系统功能组织流程	20
第 3 章 区域公路地质灾害空间危险性评价	22
3.1 基本概念	22
3.2 区域公路地质灾害空间危险性评价原理	24
3.2.1 区域公路地质灾害空间危险性评价步骤	24
3.2.2 区域公路地质灾害空间危险性评价基础假设	25
3.3 区域公路地质灾害空间危险性评价方法综述	25
3.3.1 直接作图法	25
3.3.2 非直接作图法	27
3.4 区域公路地质灾害空间危险性评价指标体系	31
3.4.1 概述	31

3.4.2	评价指标体系建立的原则	32
3.4.3	空间危险性区划主要影响因素	33
3.4.4	评价指标的量化与分级	35
3.5	研究应用的区域公路地质灾害空间危险性评价方法	37
3.5.1	权重线性组合方法	38
3.5.2	Logistic 回归分析法	39
3.5.3	主观权重模型	42
3.5.4	主、客观综合权重模型	45
3.6	区域公路地质灾害雨量危险性预报	46
3.6.1	气象因素诱发地质灾害的特点	46
3.6.2	基于雨量的地质灾害危险性预报模型	47
3.7	区域地质-气象耦合预警预报	48
3.8	本章小结	49
第4章	区域公路地质灾害监测预报及模型库设计	50
4.1	公路地质灾害监测目的与内容	50
4.1.1	监测目的	50
4.1.2	监测内容	50
4.2	监测数据分析处理模型	51
4.2.1	非等间隔序列等间隔化	51
4.2.2	突变现象的分析与处理	51
4.3	监测数据预测预报模型	53
4.3.1	滑坡预测预报模型分类	53
4.3.2	中短期预测预报模型	55
4.3.3	短临期预测预报模型	58
4.4	滑坡位移多模型联合预测	61
4.5	变形阶段评判	62
4.5.1	滑坡变形阶段	62
4.5.2	滑坡预警级别	64
4.6	预测预报的模型库设计	65
4.6.1	模型库设计基础	65
4.6.2	基本思路	66
4.6.3	模型库的表结构设计	67
4.6.4	模型库系统的类设计	67
4.6.5	基于包的模型库管理	68

4.7 本章小结	69
第5章 区域公路地质灾害数据模型规划与设计	70
5.1 区域公路地质灾害数据特点及规划	70
5.1.1 区域公路地质灾害数据特点	70
5.1.2 公路地质灾害数据规划	72
5.2 公路地质灾害数据标准设计	75
5.2.1 灾害数据层次结构	75
5.2.2 灾害信息编码规则	76
5.2.3 数据的标准化规则	78
5.3 区域公路地质灾害区划数据模型	78
5.3.1 区域公路地质灾害区划数据概念模型	78
5.3.2 区域公路地质灾害区划数据逻辑模型	81
5.4 公路地质灾害项目数据模型	91
5.4.1 公路地质灾害项目数据概念模型	91
5.4.2 公路地质灾害项目数据逻辑模型	94
5.5 区域公路地质灾害数据物理模型及实现	101
5.5.1 数据管理方案选择	101
5.5.2 实体与 Geodatabase 对象映射	103
5.5.3 Geodatabase 模型的物理实现	105
5.6 本章小结	107
第6章 地理处理服务	110
6.1 地理处理服务的理论基础	110
6.1.1 地理处理	110
6.1.2 ArcGIS Server 地理处理服务	111
6.2 地理处理建模	113
6.2.1 地理处理的数据源	113
6.2.2 地理处理工具及其环境设置	115
6.2.3 ModelBuilder 下的地理处理建模	119
6.2.4 基于脚本语言的地理处理建模	121
6.3 地理处理服务的实现	122
6.3.1 地理处理服务的发布	122
6.3.2 地理处理服务的调用	124
6.4 Python 与科学计算	125
6.4.1 Python 语言	125

6.4.2	Python 科学计算库	125
6.4.3	Geoprocessor 编程模型	126
6.5	本章小结	128
第 7 章	滑坡敏感性分析模型库设计与实现	129
7.1	功能分析和结构设计	129
7.2	模型库应用流程分析	131
7.3	模型库工作空间	133
7.4	通用模块	133
7.5	敏感性分析模块	134
7.5.1	模型输入数据	135
7.5.2	数据预处理模型	136
7.5.3	因子权重计算模型	137
7.6	系统类库设计	139
7.6.1	系统类库设计原则	140
7.6.2	系统类库设计	142
7.7	本章小结	145
第 8 章	贵州省公路地质灾害监测预报决策支持系统	146
8.1	系统总体设计	146
8.1.1	总体设计原则	146
8.1.2	功能结构设计	147
8.2	贵州省公路地质灾害危险性区划图编制	153
8.2.1	基于主观权重的贵州省公路地质灾害危险性评价与预测	155
8.2.2	基于主、客观综合权重的贵州省公路地质灾害危险性评价预测	164
8.2.3	基于 Logistic 回归模型的贵州省公路地质灾害危险性评价与预测	166
8.2.4	基于雨量模型的贵州省公路地质灾害危险性评价与预测	169
8.2.5	区域地质-气象耦合预警实例验证	172
8.3	贵州省公路地质灾害敏感性区划应用	174
8.3.1	一般信息统计与查询	174
8.3.2	敏感性区划预警模块应用	175
8.4	灾害监测数据的分析处理	175
8.5	滑坡灾点的预测预报	176
8.6	公路地质灾害信息网络发布	181
第 9 章	结论与发展前景	183
9.1	结论	183

9.2 发展前景	184
参考文献	185
附录 A 灾害监测信息分析与处理	195
附录 B 贵州省公路地质灾害监测预报系统	199

第 1 章 概 述

1.1 区域公路地质灾害管理与决策的研究背景和研究意义

1.1.1 研究背景

2013 年 6 月,国务院审议通过了《国家公路网规划(2013~2030 年)》。普通国道总规模约 26.5 万公里,国家高速公路约 11.8 万公里。到 2013 年年底,国家级干线公路通车里程 17.68 万公里,其中,普通国道 10.60 万公里,国家高速公路 7.08 万公里。西部地区大量公路(云南、贵州、四川和重庆的高速公路通车里程约 1.2 万公里)处于崇山峻岭的山区,复杂的地质、地形和气候条件导致大量公路地质灾害的发生,给公路建设、运输和养护管理工作造成很大损失。

地质环境是人类一切活动的载体,地质灾害在世界上普遍存在,我国的地质构造活动强烈,地质灾害种类繁多,分布面广,计 12 大类 48 种,是世界上地质灾害最严重的国家之一,遍布全国 30 个省(市、自治区)。据《中国统计年鉴(2013 年)》的地质灾害及防治情况统计,2000~2012 年全国共发生 338964 起地质灾害(其中滑坡 245076 处、崩塌 61101 处、泥石流 19951 处、地陷 5562 处,详见图 1-1),受伤 45381 人,死亡 9928 人,造成直接经济损失 549.7 亿元,地质灾害防治投资 531.9 亿元。西南地区(云南、贵州、四川、重庆和西藏)又是我国地质灾害高发区。仅 2012 年,除港、澳、台之外的全国其他省(市、自治区)共发生 14575 起地质灾害(图 1-2),西南地区共发生 4548 起地质灾害,直接经济损失 17.6 亿元,分别占全国总数的 31.0%和 28.1%。

我国西部地区地质环境复杂,地形以山地、高原为主,广泛存在高山、深谷地形,存在岩溶、滑坡、崩塌、岩堆、泥石流、积雪、雪崩、风沙、采空区、水库塌岸、强震区、地震液化、涎流水等不良地质现象,存在黄土、冻土、膨胀性岩土、盐渍土、软土等特殊岩土,存在各种地质作用形成的软弱结构面和各种岩土组合类型,新构造运动和地震活动十分活跃,为各种地质灾害的发生提供了基本条件。在各种地质营力作用或地质环境异常变化的情况下,西部地区成为我国地质灾害多发区,崩塌、滑坡、泥石流(即崩滑流)尤为严重。地质灾害发生频率是西部大于东部,南部大于北部,西部、尤其是西南地区几乎每年雨季都会发生大量的崩、滑、流。

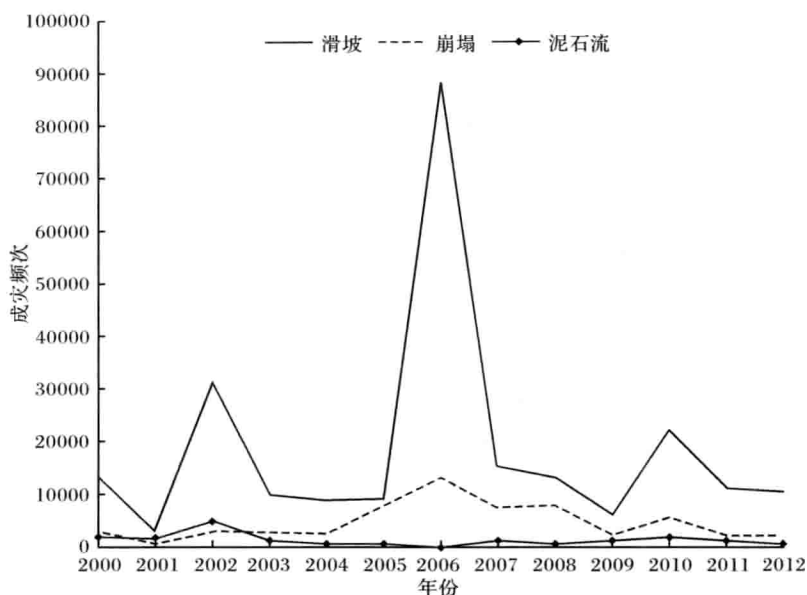


图 1-1 2000~2012 年全国滑坡、崩塌和泥石流成灾频次

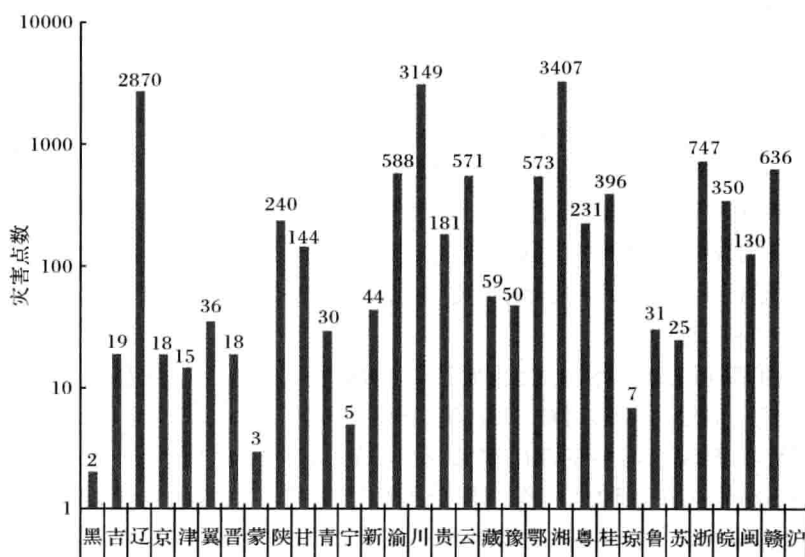


图 1-2 2012 年各省(市、自治区)地质灾害频次分布图

长期以来,工程地质界和岩土工程界对地质灾害的发育规律、成因、机理进行了大量的研究工作,涉及国土资源、铁路、水利水电、矿山、公路、城建等部门,但至

今仍难以找到准确评价的理论和方法。以边坡工程为例,目前边坡问题的处理基本采用的是“开挖试验法”,对于高速公路,几乎所有边坡都是在被破坏后才处理,这大大增加了投资,耽误了工期。目前,比较有效的处理这类问题的方法就是理论分析、专家群体经验知识和监测控制系统相结合的综合集成理论和方法。可见,边坡监测与预报是解决边坡问题的一个重要环节。

随着国家建设战略重点向西部地区转移,在西部地区将新建大量的公路,对环境的改造更加强烈,更加需要对公路地质灾害的地质环境规律、公路构造物与地质环境互馈效应、公路地质灾害评级与预报、公路数字地质灾害预报系统等进行研究。

区域公路沿线崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的管理防治涉及多种不同类型、不同来源的数据。人工管理方式在数据处理、分析、更新、维护、查询和管理效率不高。而地理信息系统(geographic information system, GIS)具有采集、分析、管理、决策及输出多种空间信息的能力,能够进行空间分析、多要素综合分析和动态预测,可产生高层次、高质量的地理空间信息,提供模拟分析方法和分析模型,是一个有效的灾害监测预报平台。引入 GIS 技术,建立基于 GIS 平台的区域公路地质灾害决策支持系统,可以对区域公路地质灾害数据进行科学高效的管理、深入的数据分析处理及可视化的空间表达,可以辅助相关部门对公路地质灾害进行监测预报和灾害治理决策。

本书将对区域公路地质灾害预测评价基础理论和管理技术进行深入研究,开发基于 GIS 的区域公路地质灾害管理与空间决策支持系统。研究目标是系统地建立一套区域公路地质灾害评价、预测以及信息管理体系。该体系以区域公路地质灾害评价预测理论为基础,以 GIS 技术构建灾害信息集成和发布平台,将复杂的区域公路地质灾害信息资源在统一的时空里进行集成,实现多源、多层次、多专业信息的综合应用,为区域公路地质灾害的科学管理和评价、典型公路地质灾害点的监测预报提供信息和辅助决策平台。体系的研究范围涉及管理学、地质学、地理学、地图学、信息科学等多学科领域,属于综合应用型研究。

1.1.2 研究意义

系统研究区域公路地质灾害评价、预测以及信息管理体系,进而研发“基于 GIS 的区域公路地质灾害管理与空间决策支持系统”,在区域公路网建设和运营管理的各个阶段有重要的现实意义。

(1) 在公路工程可行性研究阶段,利用公路滑坡、崩塌与泥石流的危险性区划信息,有助于合理确定线位,避免线位通过地质灾害集中地段或重特大地质灾害易发地段,有效地减少地质灾害治理工程投资,保护生态环境。

(2) 在公路工程设计与施工阶段,通过对拟建或在建公路项目滑坡、崩塌与泥

石流的监测预报,准确地掌握它们的变形和运动规律,大大提高勘察设计的精度和深度,优化设计和施工方案,实现动态设计和信息化施工。

(3) 在公路运营阶段,通过对运营公路滑坡、崩塌与泥石流的监测预报,保证公路管理养护人员和专业技术人员实时监控这些致灾点或潜在致灾点的活动状态,方便政府职能部门迅速做出决策,有效避免因地质灾害造成车毁人亡的重大事故。

1.2 国内外研究现状

基于 GIS 的区域公路地质灾害管理与空间决策支持系统研制有两个理论基础:地质灾害预测与预报理论和空间决策支持系统理论。地质灾害预测与预报都属于灾害评估的范畴。灾害预测是指评估区域内灾害发生的可能性,据此,将待评估区域划分为灾害危险性程度不同的区域,便于土地规划利用和公用设施的建设。滑坡灾害预测的结果可以用滑坡灾害危险性分区图来表示,主要是对灾害进行长期的空间预测。灾害预报是估计灾害发生的位置、时间、规模和特征等,主要依赖于灾害监测和预报模型。灾害预报可以是结合气象条件(如降水、融雪等)的区域地质灾害气象预警预报,也可以是根据监测数据,对单体灾害发生的时间、规模等进行预报。所以,灾害预报是对灾害进行中期、短期的时空预报。

对于地质灾害预测与预报理论(包括地质灾害危险性区划、单体灾害监测预报模型以及区域地质灾害气象预警预报)和空间决策支持系统理论(包括地理信息技术理论)的国内外研究现状如下。

1.2.1 地质灾害危险性区划研究现状

地质灾害危险性区划图是根据不同的危险等级(如很高危险、高危险、中等危险、低危险等)将研究区域用不同灰度表示出来,便于土地利用和规划中识别土地潜在的灾害危险。

研究人员在评估滑坡灾害危险等级时,应用不同的滑坡灾害评估模型。Carrara等(1998)把这些模型分为三种。

(1) 直接作图法。根据历史滑坡事件的分布确定滑坡风险,属于经验方法。主要的直接作图法有历史滑坡编目、地貌分析法、定性图层叠加法。

(2) 非直接作图法。对影响滑坡的多个因子进行统计分析,推导出地形条件和历史滑坡之间的关系。非直接作图法包括:二元统计分析、多元统计分析、人工神经网络模型等。

(3) 确定型法。考虑沿滑面的局部平衡,以有限元计算滑坡稳定条件,如安全系数模型。

具有代表性的研究如下。

van Dijke 和 van Western(1990)基于 GIS 对山区地质灾害进行分析,在数据采集和整理方面开展了大量工作,建立了一套完整的数据库,并开发了地质灾害分析评价模型。

Mejia-Navarro 和 Wohl(1994)在哥伦比亚的麦德林地区,用 GIS 进行地质灾害和风险评估。他们重点考虑了基岩和地表地质条件、气候、地形、地貌单元及其形成作用、土地利用和水温条件等因素;根据各因素的组成成分和灾害之间的对应关系,把每一种因素细分为不同范畴等级;借助于 GIS 软件(GRASS)的空间信息存储、缓冲区分析、数字高程模型(DEM)及叠加分析等功能,对有关滑坡、洪水和河岸侵蚀等灾害倾向地区进行了灾害分区,并对某一具体事件各构成因素的脆弱性进行评价。

印度 Rookree 大学(Gupta and Anbalagan,1997)基于多源数据集,引入滑坡危险性系数(LNRF),对喜马拉雅山 Ramnaga Catmehent 地区进行了滑坡灾害危险性分带,得到了滑坡灾害危险性分区图。

Cross(1998)采用矩阵评价方法,按滑坡敏感性指标(landslide susceptibility index,LSI)的大小进行了滑坡灾害危险性区划制图研究。滑坡敏感性指标被定义为滑坡面积指标(landslide area factor)与区域面积指标(region area factor)的比值。LSI 指标越高,滑坡越容易产生。Cross 以基岩地质单元、松散沉积物类型、斜坡坡度、斜坡方向、相对高差、海拔高程、沟谷高度、土质类型、基岩地层为评价指标,根据地质图和航空照片解释结果,采用正方形网格单元,开展 LSI 分区。以数字地形模型(digital terrain model,DTM)自动生成坡度、高差、海拔和沟谷高度等单元图层,其他因素图则要进行相应的数字化。通过研究区内 1 万多个单元网格 LSI 值的统计分析,得出结论:因素数量、组合状况对 LSI 影响较敏感,而其相应等级划分的详细程度对 LSI 影响的敏感性较小。GIS 技术的应用将使 LSI 分析变得更为高效。

Pachauri 等(1998)对喜马拉雅 Garhwal 地区进行滑坡分区制图时,尝试在地形分类的基础上进行滑坡敏感性区划,提供了一个基于地质学和地形学的滑坡敏感性区划实例。

Aloetti 和 Chowdhury(1999)撰文总结回顾了近年来滑坡地质灾害危险性评价和风险评价领域的研究进展,对主要的危险性评价方法进行了分类,并特别论述了可接受风险水平等有关问题。

Uromeihy 和 MahdaviFar(2001)在对伊朗 Khorshrostan 地区滑坡灾害进行危险性分区时,基于简单的格网单元,考虑影响滑坡的一系列因素,包括岩性、坡度、构造运动、土地利用以及地下水作用,每一个格网单元的滑坡发生概率及其对影响因素的评价结果以 SPI(surface percentage index)表示,然后用模糊综合评判计算潜在灾害指数(HPI),所得结果用来绘制滑坡灾害分区图。随后,Gokceoglu

(2001)就斜坡破坏模式、影响因素选取等问题展开过颇具启发性的讨论。

Aloetti 于 2000 年采用 GIS 技术对意大利北部阿尔卑斯山前缘的 Piedmont 地区的滑坡、洪水、雪崩、山谷口堆积等灾害的危险性及总的风险进行了区划制图研究,在滑坡灾害危险性评价方法上,通过滑坡调查的分布资料和有关地质因素,构造了滑坡敏感性指标来反映滑坡灾害的危险性。风险评估是基于受灾对象的易损性评价(0~1 范围),结合灾害危险性评价结果,在各种经济、社会成分调查的基础上作出半定量的全地区风险区划系列图。

Ragozin 于 2000 年从理论方面深入研究了当前地质灾害风险评价中的危险性、易损性和风险三个基本概念,提出了考虑危险性评估目标有效期限在内的单个地质灾害危险性指标,可用其主要控制因素的概率乘积来表示;建立定量模型对于区域地质灾害的危险性进行研究,研究了易损性指标的确定方法,提出了相应的评价途径和易损性指标评价表。

2000 年,Michael-Leiba 等在澳大利亚的一项城市发展规划项目的斜坡地质灾害研究中,把斜坡地质灾害的危险性、易损性、风险评价作为一体,以 GIS 软件为技术平台,分别采用平面和三维评价系统,对 Cairns 地区进行了斜坡地质灾害的危险性和风险区划研究。其成果代表了滑坡灾害及风险区划制图技术应用的国际最新水平和发展方向,并提出在不远的未来将其与网络技术相结合。

同一时期,国内也有不少学者在这一领域开展了深入全面的研究工作。

殷坤龙(2004)、晏同珍等就滑坡灾害和斜坡不稳定性空间预测与区划进行了深入的系统研究,先后提出了信息分析模型、多因素回归分析模型、聚类分析模型、判别分析模型等。他们通过秦巴山区、三峡库区区域滑坡灾害预测的实例研究,探索了信息分析模型的理论基础,认为特定地区的滑坡影响因素不是简单地与单个因素有关,更重要的是与多因素组合有关,从而提出了信息熵分析模型。该系统经过近 20 年的研究与发展,目前基本实现了基于 GIS 技术的滑坡灾害危险性预测与区划。

20 世纪 90 年代初,黄润秋、陈喜昌等针对长江三峡库区库岸稳定性问题展开了专用性调查和评价。研究者在细致的野外调查基础上,运用多种数学模型进行了库区岸坡稳定性分区制图。

张业成等(1993,1995)针对我国崩塌、滑坡、泥石流、岩溶、塌陷等灾害建立了地质灾害危险性指数评价模型和危险性评价分析模型,并研绘了地质灾害强度分布图和区划图。

刘汉超和陈明东(1993)针对金沙江向家坝水电站库区运用专家打分等多种方法进行了岸坡危险性分区制图。赵强和倪万魁(1996)在对铜川市区斜坡稳定性进行评价制图时,较好地运用了信息量法。柴贺军和黄润秋(1997)结合岷江实例,对滑坡堵江危险性评价与预测进行了系统研究。

自1997年,以成都理工大学为代表的科研院所(沈芳等,1999,2000;许强和黄润秋,2000;向喜琼和黄润秋,2000b;向喜琼等,2002;阮沈勇和黄润秋,2001;王文俊等,2003)积极倡导在区域地质环境评价与地质灾害预测领域引入GIS技术,结合国土资源部的“山区小流域地质环境评价与地质灾害预测的GIS系统”、“长江三峡地质灾害监测试验(示范)工程”等科研项目,构建了基于GIS的地质灾害综合数据库,建立了一套适合山区流域和水库区岸坡危险性评价的指标体系,采用多元统计、信息量法、模糊综合评判、神经网络等数学模型进行危险性评价和预测,并基于GIS开发了“地质灾害区域评价与预测的GIS系统(GHGIS)”。

程凌鹏(2001)在对重庆市渝北区进行地质灾害空间预警的研究中,提出了“地质灾害综合预警指标”的概念和模型,认为该指标比地质灾害危险性更为准确合理,初步形成了以地质灾害空间发育度 F 、危险度 W 、综合预警指标 D 为核心的区域地质灾害预警指标和模型体系。

宋光齐等(2004)在进行四川省地质灾害危险性评价研究时,运用测度理论,以地(市)为单位进行了地质灾害危险性宏观统计分析,并讨论了暴雨型滑坡预警等问题。

以上文献大部分是国土资源部门对区域地质灾害进行的区划研究。针对公路地质灾害危险性分区的研究直到近年来才有相关论文出现。

乔晓霞(2006)针对复杂山区高速公路沿线地质灾害危险性,依据公路沿线地质灾害的特点,选用三级模糊综合评判法对多灾种综合影响下的公路沿线地质灾害危险性进行了综合评价,得出危险性分区评价图。

赵立冬等(2007)在研制天山公路(G217)线路稳定性评价与选线优化分析系统时,通过选取指标体系和稳定性评价方法模型,对天山公路(独库段)进行线路地质灾害危险性评价,得出危险性评价图,该评价图可以为公路选线提供依据。

中南大学 Wang 等(2007,2009a,2009b)、张嘉峻(2006)在西部地区公路地质灾害监测预报综合技术研究中,建立了基于GIS的公路地质灾害监测预报系统。

1.2.2 单体灾害的监测预报技术研究现状

区域地质灾害预测预报研究可以为土地规划、决策减灾、灾害管理提供宏观上的依据,其不足之处是难以为特定的工点服务,难以为特定的工程对象提供灾害预报的依据。因此,单体灾害预测预报的研究可以弥补区域预测预报研究的不足,在公路地质灾害中,对滑坡和泥石流的研究方向主要集中在监测技术和预报理论两个方面。

在监测技术方面,崩塌、滑坡的监测主要集中在地表变形监测、地下变形监测、与滑坡崩塌变形有关的物理量监测,具体监测方法可参考《中华人民共和国地