

公路地质灾害危险性评价 及防治决策支持系统研究

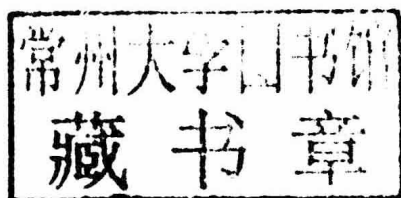
张俊峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

公路地质灾害危险性评价 及防治决策支持系统研究

张俊峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

目前,影响公路设计测设水平和效率的重要因素是没有突破传统的设计模式和方法,技术含量有限,在原始设计参数拟定、路线方案选择、设计成果评价与优化等方面,还缺乏对设计者人机交互式的适时决策支持。本书以公路选线中地质灾害危险性评价及防治决策支持为重点,紧密结合我国公路规划、设计、建设实际,引入GIS的有关理论、方法和技术分析手段,利用其空间分析功能,通过理论分析、模型建立与影响因素选定、数据库开发、应用程序设计等步骤,建立了基于微观和宏观层面的分析应用方法,可为公路可行性研究中的路线方案选定提供有效的决策支持。

本书可供从事岩土工程教学、设计和科研工作的人员阅读,亦可作为高校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公路地质灾害危险性评价及防治决策支持系统研究 /
张俊峰著. — 北京:中国水利水电出版社, 2017.5
ISBN 978-7-5170-5389-7

I. ①公… II. ①张… III. ①道路工程—地质灾害—
评价②道路工程—地质灾害—灾害防治 IV. ①U418.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第105363号

书 名	公路地质灾害危险性评价及防治决策支持系统研究 GONGLU DIZHI ZAIHAI WEIXIANXING PINGJIA JI FANGZHI JUECE ZHICHI XITONG YANJIU
作 者	张俊峰 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市密东印刷有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 9.75印张 166千字
版 次	2017年5月第1版 2017年5月第1次印刷
定 价	38.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

Preface

天山公路独山子—库车段（以下简称独库段）是国道 217 线的重要组成部分，全长 532km，1983 年 9 月建成通车。几十年来由于受其特殊的地理与气候条件影响，积雪、雪崩、水毁、崩塌、泥石流、冻土等公路地质病害时有发生，对天山公路的交通构成了严重的威胁。要解决公路可行性研究、公路路线方案选定问题时，涉及工程、环境、经济等因素，而空间多目标决策又对公路投资综合效益有很大影响，必须从理论依据、决策方法、数据采集、空间模型分析、支撑平台及“3S”技术集成上进行深入探索。

本书是基于西部交通建设科技项目“天山公路工程地质病害研究”之“国道 217 线独山子—库车段（天山公路）沿线遥感信息提取与公路建设地理信息系统研制”项目成果，旨在服务于西部交通建设规划，为天山公路建设提供评价决策支持并对沿线地质灾害进行调查和对策研究，主要实现 GIS 的基本功能、地质灾害宏观评价和微观评价及灾害的防治决策。在详细分析天山公路地质灾害原理的基础上，收集独库段已有的基础地理、地学等资料，对照实地工作和遥感成果，结合 GIS、空间数据库及遥感图像处理，按数据库规则进行相应的综合、整理、筛选、归纳及转换，建立完善以 ArcGIS 为数据平台的基础地理数据库和地质灾害数据库，并基于 ArcEngine 平台，开发一套集基础数据的采集、存储、管理、检索、图形编辑、空间模型分析、灾害危险度评价及防治决策支持为一体的“公路地质灾害危险性评价与决策 GIS 系统”，实现对空间数据库的管理、查询、分析等功能，同时集成地质灾

害预测及防治专家数据库，为天山公路地质灾害预测及防治提供了操作分析平台。

本书由华北水利水电大学张俊峰负责全书的总体设计、组织、审核及定稿工作，华北水利水电大学的李虎、高长征、沈燕负责部分章节的编写和整理工作。

本书由河南省基础与前沿技术研究项目（162300410195）资助，同时，在编写过程中广泛参阅了国内外该领域的有关论文、论著、研究报告和网络资源，在此一并表示感谢。

公路地质灾害危险性评价及决策支持研究隶属于多学科交叉融合领域，鉴于作者的知识水平有限，书中难免有不当之处，敬请读者不吝指正。

作者

2017年3月

目 录

Contents

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 研究内容与技术路线	6
1.3.1 研究内容	6
1.3.2 技术路线	7
第 2 章 系统关键技术研究	8
2.1 组件式 GIS 二次开发理论	8
2.1.1 GIS 二次开发的三种实现方式	8
2.1.2 三种实现方式的分析与对比	10
2.1.3 ArcEngine 组件式 GIS 开发平台	10
2.2 空间数据库技术	12
2.2.1 空间数据库技术简介	12
2.2.2 ArcSDE 空间数据库引擎	13
2.3 系统涉及的专业技术问题	14
2.3.1 公路地质灾害危险性宏观评价	14
2.3.2 公路地质灾害危险性微观评价及决策支持	14
2.3.3 评价模型	15
第 3 章 多源数据处理与信息提取	17
3.1 资料获取	17

3.2	资料预处理	21
3.3	遥感专题信息提取	22
3.3.1	土地利用类型遥感信息提取	22
3.3.2	生态环境变迁遥感解译	23
3.3.3	线性构造遥感解译	24
3.3.4	泥石流遥感解译	26
第4章	公路地质灾害危险性宏观评价研究	28
4.1	地质灾害危险性宏观评价概述	29
4.2	评价指标体系	31
4.2.1	概述	31
4.2.2	建立评价指标体系的意义	32
4.2.3	选取评价指标的原则	33
4.2.4	影响地质灾害稳定性的主要因素	36
4.2.5	评价指标体系的筛选	39
4.3	危险性评价因子的取值和分级	42
4.4	地质灾害危险性综合评估原则	43
4.5	地质灾害危险性宏观评价模型	44
4.5.1	模糊综合评判	45
4.5.2	信息量法	46
4.5.3	多元回归	48
4.5.4	各种评价模型的比较和讨论	50
第5章	公路地质灾害危险性微观评价研究	53
5.1	泥石流灾害评价	53
5.2	水毁灾害评价	57
5.3	斜坡灾害评价	60
第6章	公路地质灾害防治决策支持研究	68
6.1	四库一体 SDSS 的设计	68
6.2	灾害决策过程	71
6.3	泥石流灾害决策支持	72

6.3.1	泥石流防治原则	72
6.3.2	泥石流防治措施	72
6.4	水毁灾害决策支持	76
6.4.1	水毁防治原则	76
6.4.2	水毁防治措施	77
6.5	斜坡灾害决策支持	80
6.5.1	斜坡防治原则	80
6.5.2	斜坡防治措施	81
第7章	空间数据库	86
7.1	GIS 空间数据库设计	86
7.1.1	空间数据库技术基础	86
7.1.2	空间数据组织管理	87
7.1.3	ArcSde 数据库版本化管理	101
7.1.4	空间数据库设计	105
7.2	空间数据库建设	110
7.2.1	数据属性录入	110
7.2.2	地形图数据的精度控制	110
7.2.3	空间数据转换	111
7.2.4	空间数据入库	113
7.2.5	空间数据库更新机制	115
第8章	公路地质灾害危险性评价及防治决策系统	117
8.1	系统分析	117
8.1.1	需求分析	117
8.1.2	设计原则	118
8.2	系统设计	119
8.2.1	系统运行环境	119
8.2.2	系统总体架构	119
8.2.3	系统内部模块结构	119
8.3	系统主要功能模块	121

8.3.1	地质灾害危险性宏观评价	122
8.3.2	单体灾害评价	126
8.3.3	单体灾害决策支持	137
第9章	结论	140
参考文献		142

第 1 章 绪 论

1.1 研究意义

天山公路独山子—库车段（以下简称独库段）是国道 217 线的重要组成部分，全长 532km。公路于 1973 年由工程兵部队建设，1983 年 9 月建成通车。天山公路计划全线改造为二级公路，成为新疆“二纵三横”公路主骨架的重要组成部分和一条非常重要的国防公路。天山公路以最短距离连接南北疆、连接准噶尔盆地和塔里木盆地，公路的建成对新疆的经济和社会发展具有重要的作用。

天山公路沿线示意图如图 1.1 所示。

然而，几十年来由于受其特殊的地理与气候条件影响，积雪、雪崩、水毁、崩塌、泥石流、冻土等公路地质病害常常在这里发生，被全国公路界称为“公路病害博物馆”，对天山公路的交通构成了严重的威胁。因此借助于先进的地理信息系统（Geographic Information System, GIS）手段，构建基于 GIS 的地质病害综合数据库，建立一套适合于天山公路地质灾害独特的危险性评价指标体系和防治决策方案，并基于 GIS 平台开发一套适用于天山公路的“地质灾害危险性评价和防治决策支持系统”就显得尤其重要。

基于以上情况，本书中的研究利用强大的 ArcEngine 平台，构建了一套集基础数据采集、存储、管理、检索、图形编辑、空间模型分析、灾害危险性评价及成果输出为一体“天山公路地质灾害危险性评价与防治决策系统”。系统收集独库公路沿线已有基础



图 1.1 天山公路沿线示意图

地理、地学等资料，对照实地工作成果和遥感成果，按数据库规则进行相应的综合、整理、筛选、归纳及转换，建立起以 ArcGIS 为平台的基础地理数据库和地质灾害数据库，为天山公路沿线危险性评价、地质灾害防治决策提供数据支持。

本书中研究的信息化成果不但集成了天山公路已有的所有地质灾害信息数据和相关研究算法，而且根据天山公路实际情况将多种数据模型与灾害的评价决策进行结合，为天山公路地质灾害评价与决策支持提供了信息操作平台。同时，本书对天山公路地质病害的进一步研究和公路修建后的维护具有十分重要的理论及现实意义，且对于今后类似工作的开展，具有一定的指导和借鉴意义。

1.2 国内外研究现状

20 世纪 60 年代以前，灾害研究主要局限于灾害机理及预测研



究,重点调查分析灾害形成条件与活动过程。20世纪70年代以后,随着自然灾害破坏损失的急剧增加,促使人类把减灾工作提高到前所未有的程度。一些发达国家首先拓宽了灾害研究领域,在继续深入研究灾害机理的同时,开始进行灾害评估工作。1971年,Hewitt和Burton提出了“一地多灾”的研究计划(all-hazards-at-a-place),并把它应用于英国的伦敦和加拿大的安大略。这一技术路线要求对这一地区的破坏性事件的所有类型(spectrum of types of damaging events)及其相互关系进行描述,要求分析每个灾种的特征项有强度(magnitude)、轮回周期(return period)和过去的损失记录(past damage record),然而未能最终做出多种的综合危险图。

瑞士在1979年就颁布了《联邦政府土地管理法》,法律第22条规定:“各州需要调查并确定处于自然动力严重威胁的土地范围”,各州以联邦政府法律为依据制定了相应的州政府法律;如沃州制定的《土地管理法》第89条规定:“受自然灾害,如雪崩、滑坡、崩塌、洪水威胁的土地,在未得到专家评估,充分论证或危险性排除之前,禁止在灾害危险区进行任何建筑活动。”

20世纪80年代,众多学者从灾害成因机理、分异规律、致灾过程方面进行了深入的讨论,特别是就灾害的三要素(孕育环境、致灾因子和承灾体)关系的分歧讨论和研究,发展和完善了灾害学理论。

1965年,Garrison W I首先提出了“地理信息系统”,20世纪80年代后期到90年代,GIS大量应用于地质灾害,国外尤其发达国家将GIS应用于地质灾害研究方面做了很多工作。如1997年,加拿大的Davis T J和Keller C P开展了基于GIS模糊分类方法和可视化技术虚拟真实再现滑坡形态。

从20世纪90年代起,围绕国际减灾10年计划行动,北美洲欧洲许多国家在原地质灾害危险性分区研究的基础上,开展地质灾害危险性与土地使用立法的风险评估研究,把原来单纯的地质灾害危险性研究拓宽到了综合减灾效益方面的系统研究。1991年,



联合国国际减灾十年科技委员会提出了《国际减轻自然灾害十年的灾害预防、减少、减轻和环境保护纲要方案与目标》。在灾害评估规划中提出：“各个国家对自然灾害进行评估，即评估危险性和脆弱性。主要包括：①具有危害性的灾害类型；②对每一种灾害威胁的地理分布和发生间隔及影响程度进行评估；③评估最重要的人口和资源集中点的易灾性。”把灾害危险性评估纳入实现减灾目标的重要措施。1996年6月，在德国召开的第八次国际防灾会设有专题“灾害的危险性和不确定性评估”。地质灾害危险性评估目前成为国内外灾害科学研究的热点之一，也是灾害预测预报和减灾防灾工作的主要内容。

目前，国外关于地质灾害研究多集中在模型的建立和计算机实现上，如“3S”在地质灾害的监控与可视化、数字减灾系统（Digital Disaster Reduction System, DDRS）等方面的应用。DDRS是利用遥感技术（Remote Sensing, RS）、全球定位系统（Global Position System, GPS）、地理信息系统（Geographic Information System, GIS）和计算机网络技术，用数学和物理模型来数字仿真，模拟灾害发生传播的全过程。

中国对灾害研究历史久远，但早期的灾害研究主要局限于灾害事件现象和破坏损失情况的统计描述。20世纪80年代以后，随着灾害对社会经济影响的日益严重和国际灾害研究的迅速发展，中国灾害评估研究得到蓬勃发展，但尚未形成独立的学科体系。20世纪80年代以前，地质灾害研究主要局限于对灾害分布规律、形成机理、趋势预测等方面的分析，基本依附于水文地质、工程地质和有关的研究工作。20世纪80年代以后，地质灾害研究开始突破传统的研究模式，研究水平不断提高，研究内容日益丰富，开始向新的独立学科发展，随之，灾害危险性评估开始起步。1992—1994年由国家计划委员会国土司和地质矿产部地质环境管理司共同组织的全国地质灾害现状调查，对全国地质灾害损失程度和分布情况进行了估算评估；张业成等在对我国近40年地质灾害灾情分析的基础上，运用层次分析法分析评估了中国地质灾害



的危害程度,进行了全国范围的危险性区划;刘希林等根据大量调查统计资料、提出了判断泥石流危险程度和评估泥石流泛滥堆积范围的方法;胡瑞林等将计算机技术应用于地质灾害评估,初步提出了地质灾害评估的计算机模型预测系统与应用方法。陈情来运用模糊综合评判方法对崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害进行了危险性评估,确定了不同因子活动强度和控制判别标准,划分建设项目地质灾害等级;张业成等建立地质灾害风险评估,涉及危险性评估和易损性评估,提出多层次地质灾害评估体系。虽然取得了很多的成就,但都是基于一般的平原地区或普通山区,对于新疆天山这种高寒、高海拔地区的地质灾害评估工作做得很少,对整个建设用地地质灾害的综合评估方面的论文、文献更是寥寥无几。

中国在地理信息系统方面的工作起步较晚,但很快应用于地质灾害方面的研究。如潘耀忠、史培军提出了应用 GIS 技术划分不同空间尺度下基本单元,解决了区域自然灾害研究中以自然单元为基础的数据与以行政单元数据相匹配的问题。目前,“3S”技术为地质灾害系统复杂性研究提供了一条新途径。“3S”技术在数据采集与更新、空间检索与查询、信息的时空分析与可视和信息共享与输出等方面表现了其强大的应用优势,能够充分解决地质灾害系统多层次与相互关联性、动态开放性、社会经济性和非线性叠加等地质灾害系统存在意义上的复杂性问题,同时也为系统演化复杂性问题的解决提供基础。此外“3S”技术在灾害发生速率的动态模拟计算、灾害的风险性评价、灾害的时空预测预警、灾害的辅助决策以及灾害的形态虚拟现实技术等方面应用研究的进展和突破,再加上相关学科理论及技术的发展,必将为地质灾害系统复杂性问题的解决提供良好的条件。可以看出地质灾害的研究已经趋向于定量化、可视化。但是与发达国家相比,无论是系统技术水平还是实际应用情况都有一定的差距。



1.3 研究内容与技术路线

1.3.1 研究内容

本书中的研究从宏观和微观角度对灾害体的危险度进行评价，并对单体灾害点的防治进行决策支持。宏观评价主要是通过对已知样本的处理来推出未知区域的危险性等级，可以看作是区域危险性评价；而微观评价则是针对单体灾害（如滑坡、泥石流、水毁），由用户直接输入相关参数得到危险性等级，不需要已知样本；对于危险度较高区域，通过决策支持模块得到应该采取的治理方案。

具体来说，主要包括以下三方面的内容：

（1）地质灾害危险性宏观评价。

1) 根据天山公路沿线区域的实际地质地貌情况，利用主成分分析方法提炼评价因素指标。

2) 建立指标体系编辑器，对所需的定性描述性信息进行量化。

3) 稳定性评价模型的选定和算法优化。

4) 对评价因素图层进行处理并叠加，提取已知样本和未知样本，建立相应的数据库，供模型调用。

5) 运用模糊综合评判、多元回归、信息量法对公路沿线进行地质灾害危险性评价。

6) 评价结果的直观显示。

（2）单体微观评价及决策支持。

1) 对单体灾害地形地貌等因素进行采集和整理。

2) 建立专家知识库和模型库。

3) 分灾害类型（泥石流、水毁、斜坡）调用相应的评价模型对灾害点危险度进行计算并分级。

（3）决策支持系统。

1) 选择评价模型以及方法模型，建立模型库和方法库。



- 2) 收集决策方案以及相关数据，建立知识库和数据库。
- 3) 根据输入参数，计算危险度，根据危险度，调用专家知识库进行决策支持。

1.3.2 技术路线

研究技术路线如图 1.2 所示。

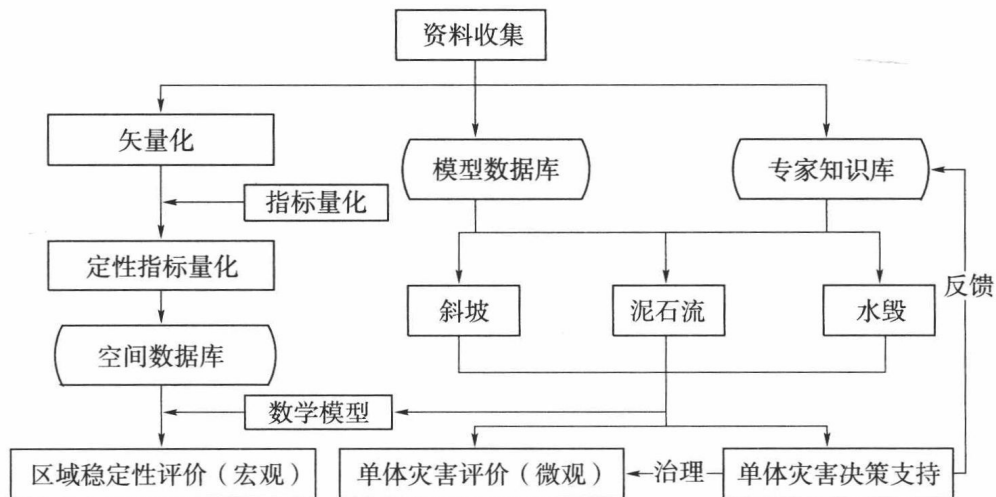


图 1.2 研究技术路线

第2章 系统关键技术研究

2.1 组件式 GIS 二次开发理论

2.1.1 GIS 二次开发的三种实现方式

应用型 GIS 系统多种多样、形式各异，但是从开发实现的角度考虑，基本上可以概括为三种形式：独立开发、宏语言开发和集成二次开发。

2.1.1.1 独立开发

独立开发是指不依赖于任何 GIS 工具软件，从空间数据的采集、编辑到数据的处理分析及结果的输出，所有的算法都由开发者独立设计，然后选用某种程序设计语言（如 Visual C++、Delphi 等），在一定的操作系统平台上编程实现。这种方式的好处在于：无须依赖任何商业 GIS 工具软件，可减少开发成本。但对于大多数开发者来说，能力、时间、财力方面的限制使其开发出来的产品很难在功能上与商业化的 GIS 工具软件相比。

2.1.1.2 宏语言开发

宏语言开发指完全借助于 GIS 工具软件提供的开发语言进行应用系统开发。当前大多数 GIS 平台软件都提供了可供用户进行二次开发的脚本语言，如美国环境系统研究所（ESRI）的 ArcInfo 提供了 AML 语言、ArcView 提供了 Avenue 语言、MapInfo 公司的 MapInfo Professional 提供了 MapBasic 语言等。用户可以利用这些脚本语言，以原 GIS 软件为开发平台，开发出自己的针对不