

# 滑坡灾害评价及其 治理优化决策新方法

HUAPOZAIHAIPINGJIA JIQI ZHILI  
YOUHUA JUECE XINFANGFA

谢全敏 夏元友 著



武汉理工大学出版社  
Wuhan University of Technology Press

武汉理工大学研究生教材建设基金资助出版

# 滑坡灾害评价及其 治理优化决策新方法

谢全敏 夏元友 著

资助基金

国家自然科学基金(49902022)

中国博士后科学基金(2005038219)

霍英东教育基金(71018)

武汉市晨光计划基金(20005004036)

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

滑坡灾害评价及其治理优化决策新方法/谢全敏,夏元友著.  
—武汉:武汉理工大学出版社,2008.8  
ISBN 978-7-5629-2811-9

- I. 滑…
- II. ① 谢… ② 夏…
- III. 滑坡-地质灾害-研究
- IV. P642.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 128980 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路122号 邮编 430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:荆州市鸿盛印务有限公司

开 本:880×1230 1/32

印 张:12.875

字 数:335千字

版 次:2008年8月第1版

印 次:2008年8月第1次印刷

印 数:1—1000册

定 价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

## 作者简介

**谢全敏** 男,博士,教授,1968年8月出生于四川省泸州市,1993年在武汉理工大学岩土工程专业获硕士学位,2004年在武汉理工大学土木工程与建筑学院结构工程专业岩土工程方向获工学博士学位。1993年以来一直在武汉理工大学土木工程与建筑学院从事岩土工程方面的教学与科研工作。近十年来已先后主持和参加各类边坡工程课题研究十余项,在边坡稳定性评价、治理设计和治理决策等研究方面取得了一些研究成果。在国内外重要杂志及国际学术会议上发表论文40余篇,被SCI、EI和ISTP收录12篇,获湖北省科技进步一等奖一项和湖北省自然科学三等奖一项。

**夏元友** 男,博士,研究员,博士生导师,1965年12月生于安徽省庐江县,1986年、1989年分别获武汉理工大学采矿工程学士和硕士学位,1998年获北京科技大学采矿工程博士学位。1989年开始一直在武汉理工大学土木工程与建筑学院从事岩土工程科研与教学工作。先后主持和参加国家自然科学基金、霍英东教育基金会基金、教育部青年骨干教师资助计划、武汉青年科技晨光计划、国家科技攻关、国家重点工程等各类科研项目20余项,工程涉及清江隔河岩水电工程、新滩滑坡、黄石市板岩山地质灾害防治、三峡库区边坡防治、云南祥临公路不良地质处理等,取得重大经济与社会效益,并获得湖北省科学技术进步一等奖一项、三等奖一项和湖北省自然科学三等奖一项。在岩土工程智能评价、监测预报与加固决策方法研究方面作出了创造性的研究成果。在国内外重要杂志及国际学术会议上发表论文70余篇。

## 内 容 简 介

本书重点阐述了滑坡灾害稳定性智能评价、滑坡灾害风险评价和滑坡灾害治理方案选择以及滑坡灾害信息管理系统等方面的新理论与方法及其应用。全书共分6章:第1章绪论,介绍了滑坡灾害评价及其治理研究现状与发展;第2章滑坡灾害与滑坡灾害经济学,介绍了滑坡灾害内涵与属性特征、滑坡灾害的形成机制与危害和滑坡灾害经济学基本理论;第3章滑坡灾害稳定性智能评价方法及其应用,阐述了基于神经网络的滑坡稳定性的灰色聚类空间预测法、基于遗传算法的边坡稳定性评价的动态聚类方法、边坡稳定性评价的自适应模拟退火聚类分析法、边坡稳定性的可拓聚类预测方法、基于范例推理的边坡稳定性评价方法、基于专家系统和神经网络集成的滑坡稳定性评价方法和基于网络并行计算的滑坡稳定性评价方法;第4章滑坡灾害风险评价方法及其应用,主要阐述了滑坡灾害风险评价的系统理论分析、滑坡灾害危险性评价的可靠性分析方法、滑坡灾害间接损失评价的投入产出法、滑坡次生灾害损失评价预测方法和滑坡灾害破坏损失综合评价模型及应用;第5章滑坡灾害治理优化决策方法及其应用,主要阐述了滑坡灾害治理方案选择的层次分析方法、滑坡灾害治理方案选择的改进的层次分析决策方法、基于熵权的滑坡治理方案选择的模糊层次分析决策方法、滑坡灾害治理方案选择的多属性决策理论方法、滑坡灾害治理方案决策的综合评价方法和滑坡灾害治理方案选择的智能辅助决策系统;第6章滑坡灾害信息与管理系统,阐述了滑坡灾害信息系统设计与开发以及滑坡灾害管理系统。

本书可作为岩土工程、防灾减灾工程、能源工程、水利水电、交通土建、地质工程、环境工程等专业领域的科研人员、工程技术人员及高等院校师生的参考书。

## 前 言

人口、资源、环境、减灾是人类面临的四大问题。滑坡灾害是自然环境的一部分,是仅次于地震灾害和洪水灾害的一种严重的自然灾害。滑坡对人类社会发展和经济建设的危害是世界性的,滑坡灾害给世界各国造成的经济损失估计每年可达数十亿美元,防灾减灾费用惊人。此外,工程不能及时发挥效益或使用中断,其间接损失更大。在我国因70%地域为山区,故滑坡灾害发生密度大、频率高,我国成为世界上受滑坡危害最严重的国家之一。每年因滑坡灾害造成的损失数以亿计,给国家和人民生命财产带来巨大损失,产生严重的社会影响,甚至还影响到国家的技术经济政策。所以,研究滑坡灾害评价及其治理优化决策新方法,具有重要的社会和经济意义。

我们从20世纪90年代初,就开始涉及滑坡灾害评价及其治理决策的不确定性、模糊性和随机性研究,取得了一系列的研究成果,但都是分散的,缺乏系统性。20世纪90年代中期以后,我们在用系统工程理论对滑坡灾害的类型、发育规律、环境条件和影响因素进行系统研究的基础上,以灰色系统理论、模糊数学理论、可靠性理论、可拓学理论、专家系统、神经网络、案例推理和人工智能为理论基础,建立了边坡稳定性集成式智能评价理论体系。同时,我们以系统工程、知识工程、数据库技术、多目标决策理论和决策支持系统为基础,建立了滑坡治理方案选择的优化决策理论体系并开发滑坡灾害治理方案选择的智能辅助决策系统,从而使滑坡灾害治理方案选择系统化、智能化和定量化。直到20世纪90年代末至21世纪初,我们完成了滑坡灾害评价及其治理决策理论体

系,并将部分成果应用于湖北省三峡库区滑坡灾害、清江隔河岩水电站厂房进出口边坡灾害、云南山区公路路堑滑坡灾害、湖北省黄石市板岩山危岩滑坡灾害和十漫高速公路溪沟口滑坡灾害等,取得了很好的社会效益和经济效益。

本书的研究成果先后获得了国家自然科学基金(49902022)、中国博士后科学基金(2005038219)、霍英东教育基金(71018)、武汉市晨光计划基金(20005004036)和国土资源部三峡库区地质灾害专项基金等项目的资助。本书是课题组多年来的部分研究成果的总结和汇编。全书内容共分6章:第1章绪论,介绍了滑坡灾害评价及其治理研究现状与发展;第2章滑坡灾害与滑坡灾害经济学,介绍了滑坡灾害内涵与属性特征、滑坡灾害的形成机制与危害和滑坡灾害经济学基本理论;第3章滑坡灾害稳定性智能评价方法及其应用,阐述了基于神经网络的滑坡稳定性的灰色聚类空间预测法、基于遗传算法的边坡稳定性评价的动态聚类方法、边坡稳定性评价的自适应模拟退火聚类分析法、边坡稳定性的可拓聚类预测方法、基于范例推理的边坡稳定性评价方法、基于专家系统和神经网络集成的滑坡稳定性评价方法和基于网络并行计算的滑坡稳定性评价方法;第4章滑坡灾害风险评价方法及其应用,主要阐述了滑坡灾害风险评价的系统理论分析、滑坡灾害危险性评价的可靠性分析方法、滑坡灾害间接损失评价的投入产出法、滑坡次生灾害损失评价预测方法和滑坡灾害破坏损失综合评价模型及应用;第5章滑坡灾害治理优化决策方法及其应用,主要阐述了滑坡灾害治理方案选择的层次分析方法、滑坡灾害治理方案选择的改进的层次分析决策方法、基于熵权的滑坡治理方案选择的模糊层次分析决策方法、滑坡灾害治理方案选择的多属性决策理论方法、滑坡灾害治理方案决策的综合评价方法和滑坡灾害治理方案选择的智能辅助决策系统;第6章滑坡灾害信息与管理信息系统,阐述了滑坡灾害信息系统设计以及滑坡灾害管理系统。

本书的编写得到了课题组成员李新平教授、刘沐宇教授、张季如教授、李梅博士和张莉蔓硕士的大力支持和帮助,在此向他们表示衷心的感谢!

滑坡灾害风险评价及其治理优化决策方法是一项既涉及自然科学理论,又涉及社会经济理论的全新的跨学科领域。本书所阐述的研究成果只是此研究领域初步的探索,书中肯定存在错误和不足之处,恳请读者,尤其是这方面的专家与学者们不吝赐教和批评指正。

编 者

2008年5月



# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	(1)
1.1 研究目的与意义 .....	(1)
1.2 滑坡灾害研究的发展 .....	(4)
1.3 滑坡灾害风险评价及其治理研究现状 .....	(6)
1.3.1 滑坡灾害风险评价 .....	(6)
1.3.2 滑坡治理措施 .....	(11)
1.3.3 发展趋势 .....	(15)
参考文献 .....	(16)
<b>2 滑坡灾害与滑坡灾害经济学</b> .....	(18)
2.1 滑坡灾害内涵与属性 .....	(18)
2.1.1 滑坡灾害的内涵 .....	(18)
2.1.2 滑坡灾害的属性特征 .....	(23)
2.2 滑坡灾害的形成机制与危害 .....	(28)
2.2.1 滑坡的特点 .....	(28)
2.2.2 滑坡的形成条件 .....	(28)
2.2.3 滑坡的成因机制 .....	(30)
2.2.4 滑坡的分类 .....	(33)
2.2.5 滑坡灾害的危害 .....	(35)
2.3 滑坡灾害经济学 .....	(41)
2.3.1 地质环境经济理论 .....	(41)
2.3.2 滑坡灾害经济理论 .....	(48)
参考文献 .....	(53)
<b>3 滑坡灾害稳定性智能评价方法及其应用</b> .....	(55)

- 3.1 基于神经网络的滑坡稳定性的灰色聚类空间预测法····· (55)
  - 3.1.1 基于神经网络的滑坡稳定性的灰色聚类预测模型的建立····· (55)
  - 3.1.2 实例研究····· (60)
- 3.2 基于遗传算法的边坡稳定性评价的动态聚类方法·· (65)
  - 3.2.1 基于遗传算法的动态聚类方法····· (66)
  - 3.2.2 实例研究····· (69)
- 3.3 边坡稳定性评价的自适应模拟退火聚类分析法·· (71)
  - 3.3.1 模拟退火自适应聚类算法····· (72)
  - 3.3.2 实例研究····· (74)
- 3.4 边坡稳定性的可拓聚类预测方法研究····· (77)
  - 3.4.1 可拓聚类预测建模····· (78)
  - 3.4.2 实例研究····· (80)
- 3.5 基于范例推理的边坡稳定性评价方法····· (84)
  - 3.5.1 CBR 的历史与特点····· (87)
  - 3.5.2 CBR 基本原理····· (88)
  - 3.5.3 CBR 案例的表示方法····· (90)
  - 3.5.4 案例的检索····· (94)
  - 3.5.5 基于案例推理的边坡稳定评估系统检索方法····· (101)
  - 3.5.6 基于案例推理的边坡稳定性评估系统····· (134)
- 3.6 基于专家系统和神经网络集成的滑坡稳定性评价方法····· (144)
  - 3.6.1 专家系统理论····· (144)
  - 3.6.2 专家系统和神经网络的特点····· (147)
  - 3.6.3 神经网络与专家系统结合的可行性····· (149)
  - 3.6.4 神经网络与专家系统集成的实现····· (150)
  - 3.6.5 集成系统的边坡实例研究····· (154)

3.6.6	边坡设计的改进	(157)
3.7	基于网络并行计算的滑坡稳定性评价方法	(158)
3.7.1	网络并行计算及网络并行程序设计	(158)
3.7.2	PVM 并行程序设计	(162)
3.7.3	基于神经网络并行计算的边坡稳定性评价	(164)
	参考文献	(173)
4	滑坡灾害风险评价方法及其应用	(177)
4.1	滑坡灾害风险评价的类型与内容	(177)
4.1.1	滑坡灾害风险评价的目的	(177)
4.1.2	滑坡灾害风险评价的类型	(177)
4.1.3	滑坡灾害风险评价的内容	(179)
4.2	滑坡灾害风险评价的系统理论分析	(180)
4.2.1	滑坡灾害系统	(180)
4.2.2	滑坡灾害风险评价系统	(183)
4.3	滑坡灾害风险评价方法	(187)
4.3.1	滑坡灾害风险评价基本方法	(187)
4.3.2	滑坡灾害危险性评价的可靠性分析方法	(191)
4.3.3	滑坡灾害易损性构成及灾害承灾体价值评价分析	(197)
4.3.4	滑坡灾害破坏损失构成与评价分析	(204)
4.3.5	滑坡灾害损失评价类型	(207)
4.3.6	滑坡灾害间接损失评价的投入产出法	(209)
4.3.7	滑坡灾害的可接受风险水平	(217)
4.3.8	滑坡次生灾害损失评价预测方法	(219)
4.3.9	滑坡灾害破坏损失综合评价模型及应用	(226)
4.3.10	滑坡灾害防治工程评价	(236)
	参考文献	(239)
5	滑坡灾害治理优化决策方法及其应用	(241)
5.1	滑坡灾害治理方法分析	(243)

- 5.2 滑坡灾害治理方案评价指标体系 ..... (245)
  - 5.2.1 影响滑坡灾害治理方案的因素 ..... (245)
  - 5.2.2 滑坡灾害治理方案评价指标体系建立原则 ..... (245)
  - 5.2.3 滑坡灾害治理方案评价指标体系 ..... (247)
- 5.3 滑坡灾害治理的可行方案集 ..... (247)
  - 5.3.1 滑坡灾害治理方案选择的系统分析 ..... (247)
  - 5.3.2 滑坡灾害治理的可行方案集的形成 ..... (248)
- 5.4 滑坡灾害治理方案选择的层次分析方法 ..... (250)
  - 5.4.1 层次分析原理 ..... (250)
  - 5.4.2 实例研究 ..... (253)
- 5.5 滑坡灾害治理方案选择的改进层次分析决策方法  
..... (259)
  - 5.5.1 改进的层次分析原理与模型 ..... (260)
  - 5.5.2 滑坡灾害治理决策的改进层次分析方法 ..... (261)
  - 5.5.3 实例研究 ..... (264)
- 5.6 基于熵权的滑坡灾害治理方案选择的模糊  
层次分析决策方法 ..... (269)
  - 5.6.1 基于熵权的模糊层次决策方法 ..... (269)
  - 5.6.2 实例研究 ..... (273)
- 5.7 滑坡灾害治理方案选择的多属性决策理论方法 ... (279)
  - 5.7.1 多属性决策方法 ..... (280)
  - 5.7.2 实例研究 ..... (283)
- 5.8 滑坡灾害治理方案决策的综合评价方法 ..... (291)
  - 5.8.1 滑坡灾害治理方案决策的多方法集成综合评价系统 ... (291)
  - 5.8.2 滑坡灾害治理方案决策的多方法集成综合评价模型 ... (292)
  - 5.8.3 实例研究 ..... (293)
- 5.9 滑坡灾害治理方案选择的智能辅助决策系统 ... (300)
  - 5.9.1 滑坡灾害治理方案选择的智能辅助决策系统 ..... (301)

---

5.9.2 工程应用 .....	(302)
参考文献 .....	(312)
<b>6 滑坡灾害信息与管理系统 .....</b>	<b>(314)</b>
6.1 概述 .....	(314)
6.1.1 研究现状、发展趋势 .....	(315)
6.1.2 存在的问题 .....	(317)
6.2 滑坡灾害信息系统 .....	(319)
6.2.1 滑坡灾害信息系统的需求分析 .....	(320)
6.2.2 滑坡灾害信息系统的结构设计 .....	(324)
6.2.3 滑坡灾害信息系统的详细设计 .....	(341)
6.2.4 滑坡灾害信息系统中的集成和开发 .....	(366)
6.3 滑坡灾害防灾减灾管理 .....	(376)
6.3.1 滑坡灾害减灾措施与减灾系统工程 .....	(376)
6.3.2 滑坡灾害监测预报与防治 .....	(387)
6.3.3 滑坡灾害管理 .....	(393)
参考文献 .....	(397)

# 1 绪 论

## 1.1 研究目的与意义

人口、资源、环境、减灾是人类面临的四大问题。滑坡灾害是自然环境的一部分,是仅次于地震灾害和洪水灾害的一种严重的自然灾害。滑坡对人类社会发展和经济建设的危害是世界性的,滑坡灾害给世界各国造成的经济损失估计每年可达数十亿美元,如美国在20世纪70年代,滑坡损失每年达10亿美元,防灾减灾费用惊人。此外,工程不能及时发挥效益或使用中断,其间接损失更大。在我国因70%地域为山区,故滑坡发生密度大、频率高,我国成为世界上受滑坡危害最严重的国家之一。如四川省仅1981年全省因暴雨引发大小崩塌、滑坡达6万多处,泥石流1000多条,造成400多人死亡,直接经济损失3.5亿元。1982年重庆市云阳县城下游长江北岸的鸡扒子滑坡,滑坡体积达 $1.9 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,其中 $2.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 推入长江,河床堆积高30~40 m,水面宽度由120 m减小到只有40 m,鸡扒子滑坡的整治费用高达8000多万元。1994年4月,四川省武隆县兴顺乡核桃坪村境内乌江左岸鸡冠岭一龙冠嘴发生了特大型滑坡,方量为 $5.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,其中 $3.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 泻入乌江,堵断江流时间达30 min,水位落差10 m,致使乌江断航。这次灾害致死4人,失踪12人,伤5人,击毁船只5艘,摧毁年产5万t和6万t的煤矿2座,在江边正在施工的双白公路也受到了极大的危害,造成直接经济损失千余万元。川东南和黔北20多个市县因乌江断航蒙受巨大的间接经济损失。2000年,西藏

林芝地区波密县易贡藏布河扎木弄沟发生大规模山体滑坡,历时约10 min,滑程约8 km,高差约3330 m,截断了易贡藏布河,形成长约2500 m、宽约2500 m的滑坡堆积体,面积约5 km<sup>2</sup>,最厚达100 m,平均厚60 m,体积为2.8~3.0亿 m<sup>3</sup>,这一滑坡是目前世界上规模最大的滑坡之一。造成交通中断,4千多人被困,1万多人面临洪水的威胁,直接经济损失1.3亿元以上(还不包括8 km<sup>2</sup>的森林)。2001年5月,重庆市武隆县发生了一起严重的滑坡灾难,滑坡体积虽仅1.2万 m<sup>3</sup>,却摧毁了一幢9层商住楼,造成79人死亡,中断319国道4昼夜,损失巨大。随着经济的迅速发展,人类必然会更大范围地开发利用土地,由于一些不合理的开发利用方式,造成危及人类安全的滑坡灾害问题日益严重。迄今我国已有滑坡灾害报道的大中城市包括香港、重庆、兰州、宝鸡、西安、延安、渡口、宜宾、十堰、南京等,受滑坡灾害困扰的城镇数目将会更多。总之,在我国已受到滑坡灾害威胁和可能受到滑坡灾害威胁的地区约占全国陆地面积的(1/5)~(1/4),每年因滑坡灾害造成的损失数以亿计,给国家和人民生命财产带来巨大损失,产生严重的社会影响,甚至还影响到国家的技术经济政策。面对严重的滑坡灾害,为合理确定并评价滑坡灾害对生命财产的影响尺度,需应用风险评价理论与方法;为采用经济有效的减灾工程措施方案,需应用优化决策理论方法。目前,在滑坡灾害风险评价及其工程防灾减灾决策理论方法研究方面的学者不多,其理论方法还远未建立起来,国内在这一领域的研究尤其薄弱,有的研究方面几乎还是空白。所以,通过开展滑坡灾害风险评价及其工程防灾减灾决策理论方法研究,对滑坡灾害进行风险评价和减灾方案优化决策,从而对各类滑坡灾害进行有效的风险管理和合理治理,以减少滑坡灾害造成的生命财产损失和节约防灾减灾工程费用。这是一项极具理论价值和现实意义的重要研究课题。

滑坡灾害风险评价及其治理决策理论方法研究是一项既涉及

自然科学理论,又涉及社会经济理论的全新的跨学科领域研究,目前,滑坡灾害风险评价及其治理决策理论方法研究还未全面开展,还有许多工作要做。滑坡灾害风险评价及其治理决策理论方法研究成果具有广泛的应用价值,主要体现在以下几个方面:

(1) 为区域发展及中长远规划提供基础背景资料。根据滑坡灾害风险评价分析结果,特别是区域性评价结果,可划分受滑坡灾害威胁的高风险区、中风险区以及低风险区,在项目规划、环境保护等方面,可充分考虑受滑坡灾害的威胁程度。

(2) 为评价建设工程的适宜性以及基础设施布设提供依据。在有滑坡灾害威胁存在的地区,滑坡灾害风险评价分析结果可为重点工程建设选址和方案优化提供经济效益分析依据。

(3) 为受滑坡灾害威胁的地区制定应急措施,为保障生命及财产安全提供参考基础。根据滑坡灾害风险评价和对灾害风险的认识,可指导制定受灾区的灾害防避、治理等措施,建立科学有效的治理工程及预警系统,从而最大限度地减轻灾害,保证生命安全,减少经济损失。

(4) 直接为科学而经济地组织、实施防灾减灾工程服务。滑坡灾害评价分析的直接结果是预测不同条件下可能产生的灾害损失,根据评价结果,可充分论证防灾减灾工程的合理性和有效性。

(5) 为灾害保险及发生次生灾害的可能性及其损失提供参考依据。通过风险评价,了解滑坡灾害的危险程度及危害性,可为灾害的风险分析及投保比的确定等提供直接依据。

(6) 为工程防灾减灾决策者提供经济合理的治理方案,节约滑坡灾害治理工程投资,减少浪费,充分发挥有限的防灾减灾资金的作用。



## 1.2 滑坡灾害研究的发展

滑坡灾害研究是一个涉及多学科的研究课题,其研究目标是对滑坡灾害作出合理的评价和科学的预测,提出科学、经济、合理的防灾减灾措施,为人类减轻所面临的灾害风险。滑坡灾害研究大致经历以下几个阶段:

(1) 20世纪50年代到60年代中期:这一时期,人类活动和工程建设的规模比较小,并且有足够多的优良场地供工程选址,场地条件比较简单。因此,工程建设对环境的影响比较小,灾害与环境问题并不突出。这一时期,对滑坡灾害的分析更多地借助前苏联体系的地质历史分析方法和土力学的基本理论,地质体被视为均质的连续体,采用土力学的刚体极限平衡理论对滑坡灾害进行评价。

(2) 20世纪60年代中期到70年代:20世纪60年代初期的意大利瓦依昂滑坡事件,使人们意识到了滑坡灾害的发生不是一个单纯只用极限平衡理论就可以描述的过程。在我国,“三线”建设的兴起和大型水电工程的开发涉及复杂场地,同时也揭示了一系列大型滑坡,难以用常规的静力学观点去认识,尤其是如何解释滑动面的形成过程。这个时期,岩石力学的发展为这个问题的解决提供了理论基础,它帮助工程地质学家认识了岩体的可变形性、变形的时效性和岩体结构对这种变形乃至最终破坏可能起到的控制作用,从而开始了对滑坡灾害的形成演变进行地质过程机制分析的时代,一些具有代表性滑坡变形破坏的地质-力学模式被相继提出。应该说:机制分析论的提出是人们对滑坡灾害认识上的一次质的飞跃,但受这一时期理论和研究手段的限制,人们还无从对这一复杂过程进行力学量化的描述,更多的还是建立在概念模型基础上的定性分析。