



滑坡风险评估 理论与技术

吴树仁 石菊松 王 涛 等著
张春山 石 玲



科学出版社

滑坡风险评估理论与技术

吴树仁 石菊松 王 涛 张春山 石 玲 等著

“十一五”国家科技支撑计划重点项目课题 (编号: 2006BAC04B05)

国家自然科学基金项目 (编号: 40802085)



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以滑坡风险评估的基础理论、基本理念、原则、技术方法与流程为主线,系统介绍了国内外滑坡风险评估与管理研究的进展和存在的问题,阐述了滑坡风险评估理论基础,提出了适合我国目前情况的4条滑坡风险管理理念和5条基本原则;阐述了滑坡风险评估与管理主要内容和指标体系,明确了滑坡调查编录、易发性评估、危险性评估、风险评估和风险管理5个层次滑坡风险评估主要内容,提出了风险评估不同层次的指标体系;系统提炼了滑坡风险评估技术方法与流程,介绍了RS与GIS在滑坡风险评估中的应用;探讨了区域滑坡强度评估、易损性定量评价和滑坡风险评估成果的质量控制3个方面的难点问题;并以宝鸡市区滑坡风险评估研究为例,完成了宝鸡市区不同层次的滑坡风险评估与区划。本书最后以附录方式浓缩了一份简单适用的地质灾害风险评估技术指南,其适用于区域地质灾害风险评估区划。

本书可供广大从事地质灾害调查、评价、防治与管理的工程技术人员、科研人员以及相关高等院校教师和学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

滑坡风险评估理论与技术 / 吴树仁等著. —北京: 科学出版社, 2012
ISBN 978-7-03-034329-1

I. ①滑… II. ①吴… III. ①滑坡-风险评价 IV. ①P642.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 094962 号

责任编辑: 韦 沁 张井飞 朱海燕 / 责任校对: 宋玲玲

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年5月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012年5月第一次印刷 印张: 21 3/4

字数: 501 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

滑坡是世界上发生最为频繁的危害之一。近年来,随着全球气候极端异常的常态化,死亡 100 人以上的重特大滑坡灾害事件时有发生。例如,2006 年 2 月 17 日,菲律宾发生特大滑坡灾害,导致 1800 多人死亡和失踪;2008 年 5 月 12 日,我国汶川地震引发北川老县城滑坡,导致 1600 多人死亡和失踪;2009 年 8 月 8 日,我国台湾小林村发生滑坡泥石流,导致 457 人死亡和失踪。我国是世界上滑坡灾害最为严重的国家之一,尤其是进入 21 世纪以来,重大滑坡灾害的频繁发生给国家重大工程建设、城镇化发展和社会安全造成了严重的威胁,特别是在 2010 年汛期(5~9 月),重大滑坡泥石流灾害事件发生频率创新高,造成伤亡和失踪 10 人以上的重大滑坡泥石流灾害多达 14 次,平均每个月 2~3 次,7 月多达 6 次,累计导致 2000 多人伤亡和失踪,给国家社会安全和经济发展造成了严重影响,也给国家应急救援和减灾防灾战略提出了新的挑战。

这些频繁发生的重大灾难性滑坡事件引起国际社会的广泛关注和高度重视,如何主动减灾防灾,如何把滑坡灾害损失降到最低程度一直是国际上探索研究的热点、难点问题。滑坡风险评估与管理一直是国际上倡导和推广的减灾防灾有效途径之一,特别是近年来,滑坡风险评估与管理技术方法的研究成为滑坡灾害研究的热点之一,在基本原理、技术方法、应用实践方面都取得了突出的成绩和进展,尤其是一系列国际和国家标准或指南的出台,促进了风险评估与管理的实施。目前,国际上一些发达国家实施了三大防灾减灾战略,即监测预警、工程防治和风险管理。近年来,风险管理作为主动防灾减灾战略越来越受到重视,每年均召开相关国际会议进行培训交流,强调各国进行推广应用,强调通过滑坡风险管理来实施监测预警与工程防治。目前,我国国家层面上的滑坡灾害防灾减灾战略主要是监测预警和工程防治,并实行建设用地地质灾害危险性评估制度,与国际上有一定差距,需要从防灾减灾战略理念上予以倡导和改进,逐步树立滑坡风险管理的主动防灾减灾理念,使滑坡风险评估技术先行,逐步建立与完善风险管理相关的法律法规与体制。我国还没有统一的滑坡风险评估与管理的技术指南,缺少国家层面上的技术规范或标准的指导,加上各地地质条件的不同,导致技术方法差异很大,滑坡危险性、风险评价与区划的最终成果都是概略性、定性的,与社会经济发展对滑坡风险管理和防灾减灾的期待相比还相差甚远。提供高质量、实用的滑坡风险评估与区划信息产品,并将其转化为经济发展、土地利用规划、城乡建设规划和地质灾害防治规划的编制依据,是当前和今后社会经济发展的必然需求。因此,编制适用于我国的滑坡风险评估技术指南是亟待完成的重要课题。

为了贯彻落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》的精神,加强地质灾害主动减灾和应急响应关键技术研究,2005~2006 年,国土资源部组织有关单位联合申报了“十一五”国家科技支撑计划重点项目“重大地质灾害监测预警及应急救援关键技术研究”。“地质灾害风险评估技术研究”属于该重点项目的 5 个研究课题之一

(编号: 2006BAC04B05), 起止时间为 2006 年 1 月至 2009 年 12 月。5 年来, 通过中国地质科学院地质力学研究所地质灾害研究团队的共同努力, 在滑坡灾害风险评估技术研究等方面取得了明显进展, 主要包括: 研究攻克了滑坡风险评估若干技术难题, 提出了滑坡灾害风险评估的理论、基本理念、原则与技术方法; 研究明确了滑坡灾害风险评估主要内容、层次结构和评估指标体系, 初步提出我国第一版地质灾害风险评估技术指南和技术流程; 初步在陕西省宝鸡市建立了滑坡灾害风险评估示范基地, 初步实施了滑坡风险管理; 初步提出了区域地质灾害活动强度指数的基本原理、计算方法和分级标准, 并以汶川地震诱发地质灾害强度测量计算评价为例, 初步建立了区域地质灾害活动强度 8 级标准; 研究形成了基于 RS 和 GIS 系统的地质灾害风险评估制图技术方法, 为汶川地震灾区地质灾害灾情快速评估和重建规划过程中的地质环境适宜性快速评估作出了重要贡献。本书是在“地质灾害风险评估技术研究”课题主要成果的基础上, 对滑坡风险评估理论、技术方法和流程进行的有针对性系统总结与提炼, 也是对滑坡风险评估难点问题, 如滑坡强度评估计算、高速远程滑坡危险性评估及快速评估技术等探索研究。

本书以滑坡风险评估的基础理论、基本理念、原则、技术方法与流程为主线展开, 各章节具体内容如下: 第 1 章, 介绍了滑坡风险评估与管理国内外研究进展和存在的问题, 重点是国际上主要国家和地区滑坡风险管理在技术标准、法律法规、学术研究等方面的新进展, 国际上滑坡风险管理新趋势和推广应用情况, 国内滑坡风险评估发展状况、存在的问题与挑战; 第 2 章, 论述了滑坡风险评估理论基础、基本理念和原则, 提出了以“成因论”、“统计论”和“信息论”为基础的滑坡灾害风险预测评价理论, 提出适合我国大陆目前情况的 4 条滑坡风险管理理念和 5 条基本原则; 第 3 章, 阐述了滑坡风险评估与管理的主要内容和指标体系, 明确了滑坡调查编录、易发性评估、危险性评估、风险评估和风险管理 5 个层次的滑坡风险评估主要内容, 提出风险评估不同层次的指标体系; 第 4 章, 系统总结了滑坡风险评估技术流程与方法, 分析了不同层次、不同阶段滑坡风险评估技术方法及其流程; 第 5 章, 系统介绍了遥感与地理信息系统技术在滑坡风险评估中的应用; 第 6 章, 探索了国内外滑坡风险评估的难点问题, 重点是区域滑坡强度评估、易损性定量评价和滑坡风险评估成果质量控制 3 个方面, 其中, 研究提出了滑坡强度评估原理、方法和分级标准, 为区域滑坡强度快速评估提供了新途径; 第 7 章, 介绍了单体滑坡风险评估的流程和技术方法, 重点是单体滑坡风险评估流程、时间概率和空间概率计算、危险性定量评价和风险大小估算技术方法, 提供了适用于单体滑坡风险定量评估的技术路线和途径; 第 8 章, 以宝鸡市区滑坡风险评估研究为例, 从数据采集、数据库建设、数据质量定性分析, 到不同阶段(易发性、危险性和易损性)、不同尺度定量评价, 完成了宝鸡市区不同层次的滑坡风险评估与区划, 并结合当地城市土地利用规划特点, 提出风险控制和管理建议。各章节撰写分工如下: 第 1 章由王涛、石菊松、石玲撰写; 第 2 章由吴树仁、石菊松撰写; 第 3 章由石菊松、吴树仁、张春山撰写; 第 4 章由石菊松、吴树仁、王涛撰写; 第 5 章由石菊松、王涛撰写; 第 6 章由吴树仁、王涛、石菊松撰写; 第 7 章由王涛、石菊松、吴树仁撰写; 第 8 章由石菊松、吴树仁、张春山、石玲、王涛、李滨撰写; 吴树仁和石菊松负责全书统稿。全书图件主要由石玲、时晓伟负责清绘。

为了方便广大科技人员阅读和引用, 本书最后以附录方式提供一份简单适用的突发地

质灾害（相当于国际上广义的滑坡定义）风险评估技术指南，该指南适用于区域地质灾害风险评估区划，是目前通用风险评估技术方法的推广应用，重点介绍了风险评估基本原则、从定性到定量的多种适用型技术方法和风险评估技术流程。指南主要由吴树仁、石菊松、张春山、韩金良、王涛撰写。

本书所依托的课题能够顺利完成是各方面支持和帮助的结果。课题在实施过程中，自始至终得到科学技术部和国土资源部国际合作与科技司有关领导的支持和帮助，特别是科学技术部社会发展科技司田宝国副司长、麻名更处长，国土资源部国际合作与科技司马岩处长，国土资源部地质灾害应急技术指导中心殷跃平总工程师对本课题研究给予了大力支持；中国地质科学院地质力学研究所龙长兴所长和赵越副所长及科技处对课题研究给予了支持和帮助，在此表示衷心的感谢。共同参与“地质灾害风险评估技术研究”课题的中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所乔建平研究员，中国地质调查局西安地质调查中心张茂省研究员、唐亚明博士，华中科技大学汪华斌教授等给予了技术指导。在本书的成书过程中，中国科学院王思敬院士、中国地震局陈章立研究员、国土资源部地质环境司柳源研究员、国务院三峡委员会罗元华研究员和中国地质大学（北京）孙进忠教授等提出了指导性的修改意见，在此特向各位专家表示衷心感谢。本书主要依托“十一五”国家科技支撑计划重点项目课题“地质灾害风险评估技术研究”（编号：2006BAC04B05）和国家自然科学基金项目“宝鸡渭河塬边斜坡演化与大型滑坡形成机理研究”（编号：40802085），向全体参加项目的同志们表示衷心的感谢。

由于作者才疏学浅，书中难免有错漏和不足之处，请同行专家和读者给予批评指正。

作者

2012年3月

目 录

前言

第 1 章 滑坡风险评估研究进展与国内现状分析	1
1.1 滑坡风险评估技术标准、法规与政策	3
1.2 滑坡风险评估研究进展	8
1.3 国内现状分析	20
1.4 存在的问题	29
第 2 章 滑坡风险评估理论基础、基本理念和原则	31
2.1 滑坡风险评估基本理论	31
2.2 滑坡风险评估理念	32
2.3 滑坡风险评估基本假设与原则	34
第 3 章 滑坡风险评估主要内容及指标体系	39
3.1 滑坡风险评估的主要内容	39
3.2 滑坡风险评估指标体系	47
第 4 章 滑坡风险评估技术流程与方法	63
4.1 评估需求分析与规划	67
4.2 资料数据的获取与更新	70
4.3 滑坡编录与制图	78
4.4 滑坡易发性评价方法与流程	79
4.5 滑坡危险性评价方法与流程	100
4.6 滑坡风险评估流程与方法	121
4.7 滑坡风险管理	128
第 5 章 滑坡风险评估遥感与地理信息系统技术应用	134
5.1 遥感技术在滑坡风险评估中的应用	135
5.2 GIS 技术在滑坡风险评估中的应用	144
5.3 滑坡风险评估与管理信息系统开发	153
第 6 章 滑坡灾害风险评估关键技术难点研究	159
6.1 滑坡强度评估的原理与技术方法	159
6.2 承灾体易损性分析与计算方法探讨	180
6.3 滑坡风险评估成果质量评价	185
第 7 章 单体滑坡风险评估的流程与技术方法	192
7.1 需求分析	193
7.2 滑坡危险性分析	193

7.3	单体滑坡危害分析	206
7.4	单体滑坡风险评估实例	207
第8章	宝鸡市区滑坡灾害风险评估示范	216
8.1	研究区概述	216
8.2	滑坡灾害调查编录与空间数据库建设	217
8.3	地质灾害的基本类型与发育分布特征	223
8.4	滑坡灾害形成条件与诱发因素分析	232
8.5	宝鸡市区滑坡灾害风险评估	252
8.6	金台区滑坡灾害风险评价与区划	260
8.7	宝鸡市区北坡 1:10000 滑坡风险评价	280
8.8	宝鸡市区滑坡灾害风险管理建议	287
参考文献		295
附录1	术语与定义	306
附录2	突发地质灾害风险评估技术指南	314

第 1 章 滑坡风险评估研究进展 与国内现状分析

滑坡风险评估与管理一直是国际上倡导和推广的减灾防灾有效途径和研究热点之一，特别是近年来，在基本原理、技术方法、应用实践方面都取得了突出的成绩和进展。在滑坡风险评估研究方面，滑坡风险评估与管理的应用进展综述和难点问题论述是对不同时期风险评估应用实践和学术动态的客观反映；新技术、新方法，尤其在应用 RS、GIS、数理统计、人工智能、计算机数值模拟方法等方面，取得了长足进步，增加了风险评估技术手段的多样性，并向量化方向发展，为全面开展滑坡风险评估与管理奠定了技术基础（图 1. 1）。

滑坡风险评估与管理研究进展综述性文章 (Guzzetti <i>et al.</i> , 1999; Guzzetti, 2002a; Dai <i>et al.</i> , 2002; Van Westen <i>et al.</i> , 2005)		
技术标准与指南 JTC1 2008 (Fell <i>et al.</i> , 2008a, 2008b) 澳大利亚 (AGS, 2000, 2002, 2007a, 2007b) 美国 2005 (Highland and Bobrowsky, 2008) 香港 (ERM-Hong Kong, 1998; Ng <i>et al.</i> , 2003) 意大利 (ISPRA, 2008) 加拿大 (Saunders, 2007) 新西兰 (Saunders, 2007) 瑞士 (Raetzo <i>et al.</i> , 2002; Olivier <i>et al.</i> , 2005)	原理与方法 (Varnes, 1984; Fell, 1994; IUGS, 1997; Fell <i>et al.</i> , 2005, 2008a, 2008b; Cascini, 2008) 滑坡编录 (Van Den Eeckhaut <i>et al.</i> , 2005; Galli <i>et al.</i> , 2008; Guzzetti <i>et al.</i> , 2009) 易发程度评估 (Ermini <i>et al.</i> , 2005; Fall <i>et al.</i> , 2006; Neuhauser and Terhorst, 2007; Thierry <i>et al.</i> , 2007; Castellanos Abella and Van Westen, 2008) 危险性评估 (Cascini and Bonnard, 2005; Picareli <i>et al.</i> , 2005; Noferini <i>et al.</i> , 2007; Corominas and Moya, 2008; Hungr <i>et al.</i> , 2008) 易损性评估 (Roberds, 2005; Kaynia <i>et al.</i> , 2008; Uzielli <i>et al.</i> , 2008) 风险评估 (Cascini and Bonnard, 2005; Wong, 2005; Carrara and Pike, 2008; Chung and Fabbri, 2008; Remondo <i>et al.</i> , 2008; Zezere <i>et al.</i> , 2008)	新技术方法应用 遥感 (Metternicht <i>et al.</i> , 2005; Farina <i>et al.</i> , 2006) 地理信息系统 (Carrara <i>et al.</i> , 1995; Chacón <i>et al.</i> , 2006; Carrara and Pike, 2008; Van Westen <i>et al.</i> , 2008) Runout 模拟 (Legros, 2002; Hungr and Eherhardt, 2005; Hurlimann <i>et al.</i> , 2008) 评估模型方法 (Davis <i>et al.</i> , 2006; Chung, 2006; Chang <i>et al.</i> , 2007; Chung and Fabbri, 2008; Thierry <i>et al.</i> , 2009)

图 1. 1 滑坡风险评估研究进展相关文献资料索引图

在技术标准或政策法规方面,国际上近期出版了一系列国际和国家标准或指南(图1.1),其中滑坡和工程边坡联合技术委员会(Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, JTC1)在澳大利亚国家滑坡风险管理指南《土地利用规划的滑坡易发性、危险性和风险分区指南》的基础上形成了国际版本的滑坡风险管理指南《Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land-use Planning》,是目前最为全面的滑坡风险评估与管理的技术指南。目前,我国还没有统一的滑坡风险评估与管理技术指南,缺少国家层面的技术规范或标准的指导,加上各地地质条件不同,导致技术方法差异很大,最终的“滑坡危险性或风险评价与区划的结果都是概略性、定性的成果,与社会经济发展对滑坡风险管理和防灾减灾的期待相比还相差甚远”(张丽君,2009)。特别是2008年汶川地震发生以来,我国重大滑坡灾害事件频发,造成了大量人员和财产损失。例如,2008年汶川地震诱发的大量滑坡灾害和震后泥石流灾害肆虐;2009年武隆鸡尾山滑坡;2009年台湾8.8级台风莫拉克导致的小林村滑坡;2010年贵州关岭滑坡与舟曲泥石流灾害都导致了重大人员伤亡和财产损失等。编制适用于我国的滑坡风险评估技术指南,提供高质量、实用的滑坡风险评估与区划信息产品,并将其转化为经济发展、土地利用规划、城乡建设规划和地质灾害防治规划的编制依据,是当前和今后社会经济发展的必然。尽管国际现行的标准和方法可供借鉴,但必须考虑到我国滑坡灾害防治面临以下实际问题:

1) 我国国土面积大、滑坡灾害类型复杂、成灾机理复杂多样。国际上的滑坡实际上是广义的滑坡概念,即我国的“崩塌、滑坡、泥石流”,因此建议我国采用广义的滑坡概念,并明确“滑坡”与“滑坡灾害”的涵义。“滑坡”仅指地质现象,而“滑坡灾害”指造成财产、人员或环境破坏的滑坡,是具有明确损失或潜在损失的滑坡,包含有风险的概念。我国是世界上滑坡灾害类型最为复杂的国家,控制滑坡、崩塌、泥石流发生的地质、地形地貌、气候等区域地质环境条件复杂;具有多样性、复杂性和隐蔽性,诱发灾害的降水、地震和工程活动等的诱发条件具有复杂性和随机性;气候变化导致的极端气候事件具有不确定性。

2) 我国不同地区滑坡灾害研究的精度、程度具有较大的差异。在重大工程区、城市周边、东部地区相对具有较高的研究程度;而西部地区无论是在基础地质和地形数据,还是在地质灾害调查填图方面的研究程度均较低。然而,西部地区却是我国滑坡灾害的高易发区,因此,编制滑坡风险评估指南必须兼顾不同研究程度地区的适用性,同时在借鉴国外滑坡风险评估的技术方法时,必须考虑到研究程度、所需的数据精度以及这些数据的可获取性。

3) 目前阶段我国与发达国家社会经济发展水平的差异以及我国不同地区间的差异。实际应用时,还要综合考虑国际风险评估与管理技术方法在我国的适用性问题,即技术方法与管理政策必须与社会经济发展水平协调,要综合考虑成本效益。

4) 国内滑坡灾害防灾主体和土地所有制的差异。目前,国内开展的地质灾害调查与区划工作为公益性工作,其防灾主体是各级政府主管部门;而国外的滑坡风险评估技术指南主要针对土地所有人或为政府提供土地利用规划决策的机构,政府主要通过法律、政策手段引导土地所有人进行滑坡灾害的防治与风险控制等。

因此,本章将对滑坡风险评估的研究进展进行综述,供广大同行参考和借鉴;消化和吸收国际上主流的风险评估与管理理论体系的成功经验,分析具体技术指南和政策在我国

的适用性以及改进思路,避免低层次的重复工作,促进国际合作与交流;并在此基础上,结合近两年来的重大滑坡灾害事件,如汶川地震滑坡灾害、甘肃舟曲泥石流、贵州关岭滑坡和重庆武隆滑坡,深入分析当前我国滑坡灾害防治与管理面临的形势、挑战与需求,阐述为什么我国亟待全面推进和开展滑坡风险评估;提出我国滑坡风险评估与管理技术指南的基本框架与思路,探讨我国风险评估与管理的关键难点问题,提出相应的对策方案,以期抛砖引玉,推动和促进我国滑坡风险评估与管理指南的制定和实施工作。

1.1 滑坡风险评估技术标准、法规与政策

滑坡风险评估与管理研究经历了 30 多年的发展,目前已成为完善土地利用规划和限制滑坡灾害影响区发展的强有力工具,也是减少滑坡导致的潜在人员伤亡最为有效和经济的方式 (Cascini and Bonnard, 2005)。尽管如此,由于滑坡风险管理缺少标准化的技术路线和流程,限制了滑坡风险评估与管理的普适性,具体操作中运用何种技术方法,通常取决于服务对象的需求、评估目标、比例尺、输入数据的质量以及时间、经费的局限性等。在不同技术标准与指南中的术语和方法差异,经常使一些术语、名词在实际操作中出现不同,导致不同地区、不同地质环境背景的滑坡风险评估及管理难以进行比较与借鉴。为了解决这个问题,国际上部分国家或地区的学术机构相继出版了一系列与滑坡风险管理相关的研究计划、技术指南和法规条例(图 1.1)。目前,我国在系统的滑坡编录数据库创建、多用户之间的数据共享和协同操作、健全的滑坡风险预防和缓解法令条例颁布、降雨诱发滑坡的预测预报和风险控制措施建议与发布以及地质灾害风险研究和管理部门在滑坡风险管理中的良性协作等方面相对于发达国家还有待改进,其管理制度与经验是我国地质灾害风险研究领域的薄弱环节和欠缺之处,有待在借鉴和集成创新的基础上形成适合我国的滑坡风险评估与管理技术体系。以下分别对国际专业协会、澳大利亚、欧盟各国(法国、意大利、西班牙等)、美国、加拿大以及日本与印度在滑坡风险管理相关技术标准与指南方面的研究现状、进展和经验进行简要介绍。

1. 滑坡和工程边坡联合技术委员会

滑坡和工程边坡联合技术委员会(JTC1)隶属于国际土力学与岩土工程协会(International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE)、国际岩石力学学会(International Society for Rock Mechanics, ISRM)和国际工程地质与环境学会(International Association for Engineering Geology and Environment, IAEG),负责滑坡与工程边坡方面的国际标准与规范的制定、组织每 4 年 1 次的国际滑坡与工程边坡学术会议等,其中 2005 年在加拿大温哥华召开的学术会议的主题为“滑坡风险管理”,来自全球各地的 400 多位专家学者对风险管理方法与经验进行了总结与交流,会议出版了论文集《Landslide Risk Management》,对滑坡风险管理的基本理论、方法、经验和实例进行了研究,形成了目前国际上主流的滑坡风险评估与管理的技术方法体系。2008 年 JTC1 在 Engineering Geology 上发表了“Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard, and Risk Zoning for Land-use Planning”及其释义,系统地论述了滑坡风险评估的定义和术语;

描述了滑坡敏感性和危险性区划的方法,指出什么地方土地利用规划需要滑坡区划;研究了滑坡敏感性和危险性区划类型和层次选择,进行了滑坡区划的比例尺及易发性、危险性描述,并将其用于土地利用规划的滑坡区划、土地利用规划滑坡分区的可靠性和适用性分析(Fell *et al.*, 2008a, 2008b),形成了可供参考的国际版滑坡风险评估与管理方面的技术指南。

2. 欧盟各国

欧盟各国的国际滑坡风险评估与管理研究的最新进展主要表现在技术指南文件的编制及其在土地利用规划中的应用。目前,欧盟启动了针对全部欧盟成员国的地质灾害风险评估与管理技术方法的综合科技规划项目“SafeLand”,是欧盟第七届科研技术发展框架项目支持的大型综合科研合作项目,有欧盟 25 个科研机构参与,由挪威岩土工程研究所(Norwegian Geotechnical Institute, NGI)组织实施。SafeLand 旨在开发适用于地方、区域、欧洲和社会尺度的定量风险评估与管理的工具和战略,以便在欧洲建立滑坡风险评估的基准,提高滑坡灾害预测和确定危险或风险区的能力。SafeLand 主要开展以下 5 个方面的研究(NGI, 2011): ① 重点加强气候变化、人类活动等诱发因素对滑坡触发机制、过程和阈值的研究,提高滑坡危险性评估中的 Runout 的建模水平;② 统一不同空间尺度的定量风险评估方法,重点研究不确定性、滑坡易损性、滑坡易发性、滑坡的频率和识别欧洲具有滑坡危险性和风险的热点地区;③ 以选定的具有相对较高危险性和风险的地区为例,重点研究在未来气候、人口和基础设施变化的条件下,欧洲滑坡危险性和风险的演化;④ 综述滑坡监测与预警实践中的问题,开发滑坡监测与预警的关键技术,尤其是遥感技术与应用,确定适用于风险评估和早期预警系统设计的最佳方法;⑤ 提供风险缓解策略工具箱和选取最适当的风险管理战略指南。同时,针对新加入的成员国,欧盟在“RAMSOIL”项目中通过问卷调查的方式,全面了解和综述了欧盟 27 个成员国中滑坡风险评估技术方法的应用及其相关的法律和法规的现状。欧盟 18 个成员国有与滑坡风险评估与管理相关的技术标准,其中 5 个国家(法国、意大利、瑞典、瑞士和奥地利)拥有国家层面的技术标准与方法,9 个国家目前正在编制自己的国家标准与技术指南,其他国家有科研机构应用的风险评估技术方法。

在欧盟各国中,意大利的滑坡风险评估与管理较为成熟,其滑坡风险评估与管理经验集中体现在建立了全国范围内详细的滑坡编录数据库,并实现了数据库资源的多用户网络共享和协同操作,而且针对滑坡风险评估与管理颁布了强有力的法令。1997 年,意大利政府出资 410 万欧元启动了 IFFI (Inventariodei Fenomeni Franosi in Italia) 工程,即意大利滑坡编录(Italian Landslide Inventory)项目,由环境保护研究所(Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA)和地区以及自治省负责实施,利用标准化的技术方法进行滑坡识别和制图,建立了意大利境内详细的滑坡编录数据库(ISPRA, 2008)。1998 年,在 Sarno 泥石流灾害事件之后,意大利颁布了 180 号法令(即 Sarno 法令),在世界上首次确定了滑坡灾害风险评估在土地区划中的法律地位,明确了意大利实施严格的滑坡灾害风险管理,即通过土地利用规划限制滑坡风险地区的开发,从而降低滑坡灾害风险损失。继 180 号法令之后,又颁布了 267 号法令,以规范和指导具有滑坡风险的区域进行滑

坡灾害调查和风险区划工作,确定了滑坡等地质灾害风险评估的技术指南 (Noferini *et al.*, 2007; Kaynia *et al.*, 2008)。2004年, APAT (Italian Agency for Environmental Protection and Technical Services) 对意大利滑坡编录数据库进行了更新和整合处理,使之成为了滑坡灾害风险评估和土地利用规划的重要依据。2005年,该滑坡编录数据库实现了网络共享,使人们能够便利的获取滑坡信息。2006年,在滑坡编录数据库共享的基础上,又新增了网络地图服务 (Web Map Service, WMS), 在欧洲空间信息基础设施 (Infrastructure for Spatial Information in Europe, INSPIRE) 框架下,实现了多用户间滑坡空间数据库的共享与交互操作,显著改善了公共管理部门、研究机构、地质学家及工程师之间的协同性和数据共享功能,取得了滑坡风险评估与管理的长足进展 (ISPRA, 2008)。

3. 美国及加拿大

美国滑坡风险减缓的突出经验在于,通过美国地质调查局 (United States Geological Survey, USGS) 的总体协调,使原本分散在各联邦机构、州和地方政府的滑坡风险评估与管理职能得以整合,并将滑坡风险研究成果有效的应用于实践。USGS 受美国国会委托,通过滑坡灾害计划 (Landslide Hazards Program, LHP), 开展了减轻地质灾害 (包括滑坡) 风险的相关科学研究,具体包括滑坡作用过程、滑坡危险性和风险的评价方法、滑坡填图技术和滑坡管理等。USGS 通过与地方政府和相关政府部门合作,将滑坡风险研究成果较好的应用在了生产实践中。例如,USGS 与美国联邦应急管理局 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 和西雅图市政府合作,利用 100 多年的历史数据编制了高质量的滑坡图及数据库 (包括了西雅图市详细的地形数据及相关的地理数据、降雨数据), 进行了不同强度暴雨条件下滑坡发生概率的研究,并将成果应用于灾害应急准备计划 (Harp *et al.*, 2006)。USGS 与美国规划协会 (American Planning Association, APA) 合作,于 2005 年出版了《滑坡灾害管理与土地规划指南》(Landslide Hazards Planning), 以便土地规划者用来处理滑坡风险问题 (Gori *et al.*, 2005)。在滑坡减灾综合战略方面,USGS 在滑坡灾害计划 2006~2010 年的 5 年规划中,为满足国家滑坡减灾战略 (National Landslide Hazards Mitigation Strategy) 的要求,USGS 继续加强与各级政府的合作,在滑坡灾害缓解领域起到指导、协作、技术支持和激励的作用,提出了以科学进步、技术整合及转让、填图及监测、风险评估和综合减灾为主要内容的滑坡减灾战略,并制定了针对滑坡问题的国家措施,针对减少滑坡带来的死、伤、经济损失以及对自然和文化资源破坏的 10 年目标,分为 9 部分内容: ① 开展滑坡过程和诱发机制的预测研究; ② 开展滑坡灾害填图和风险评估的研究; ③ 实时监测可能造成危险的活动滑坡; ④ 评估滑坡灾害的经济影响及损失; ⑤ 滑坡灾害数据收集、信息处理和信息共享; ⑥ 为科学家、工程师、决策者制定指导方针和进行培训; ⑦ 开展教育活动,提高公众减灾意识; ⑧ 执行减灾标准; ⑨ 对突发事件的应急准备、应急响应和社区灾后重建。

加拿大自 1989 年开展大规模的滑坡灾害评估以来,滑坡风险评估与管理在局部滑坡严重地区取得了重要进展,主要体现在 2004 年加拿大不列颠哥伦比亚省林业部出版了《土地管理手册 56》(Land Management Handbook 56, LMH 56), 题名为《林业部门计划编制和实施过程中的滑坡风险案例研究》(Landslide Risk Case Studies in Forest Devel-

opment Planning and Operations) (Wise *et al.*, 2004)。手册提出了滑坡风险管理的基本框架, 描述了技术术语和滑坡风险分析方法, 同时还提供了由地质工程专业人员及林业发展方面专家编著的 8 个研究案例, 是加拿大较为系统的开展风险评估的指导手册。在滑坡破坏最严重的地区(如圣劳伦斯的洛兰兹和加拿大的科迪雷拉)开展了滑坡危险性的定量评估(规模和频率关系的研究和应用), 并在线性工程沿线采用了滑坡风险评估与管理的新方法。

4. 澳大利亚

澳大利亚岩土力学学会(Australian Geomechanics Society, AGS)是第一届国际滑坡与工程边坡联合技术委员会(JTC1)的发起者, 其在滑坡风险管理领域取得的成果具有标志性意义。澳大利亚岩土力学学会(AGS)于 2000 年发布了《滑坡风险管理理念与指南》(Landslide Risk Management Concepts and Guidelines), 肯定了滑坡风险评估理念的实效性, 特别是在土地利用规划管理方面(AGS, 2000, 2002)。《滑坡风险管理理念与指南》是用于评价与坡地开发相关的岩土工程风险的指南, 旨在: ① 统一滑坡风险评价的用语; ② 确定滑坡风险评价的总体框架; ③ 提出滑坡风险分析方法准则; ④ 提出对于滑坡灾害可接受和可容忍的人员生命损失风险水平。通过把滑坡风险管理理念引入立法, 实现对这类风险的控制。澳大利亚滑坡风险管理经验主要包括编制了代表国际水平的滑坡风险评估技术指南, 推出了滑坡风险管理领域的工程师注册资格认证制度, 并且政府部门在土地利用规划中通过立法进行了滑坡风险控制, 实现了滑坡风险管理由理论技术研究介入国家政策法规的重要转变。2005 年, AGS 联合悉尼海岸委员会, 从澳大利亚国家减灾项目(National Disaster Mitigation Program, NDMP)获得基金支持, 对上述指南进行了完善。同时, 澳大利亚从国家至地方各级政府采取了一系列后续策略方针, 对《滑坡风险管理理念与指南》(AGS, 2000)中贯穿的风险管理理念进行了有效的贯彻执行(Leventhal and Kotze, 2008)。2007 年, AGS 又出版了一系列针对滑坡风险管理、斜坡管理及维护的指南和附录(AGS, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d), 其中包括与 JTC1 发布的国际滑坡风险管理指南相似的技术指南, 即《土地利用规划的滑坡易发性、危险性和风险分区指南》, 供澳大利亚联邦、州至地方等各级政府官员、岩土工程专业人员、土地利用规划者及工程项目管理者参考使用。

5. 日本与印度

日本是一个充满危机意识的国家, 为了应对各种可能发生的危机, 自 20 世纪 90 年代起建立了从中央到地方的危机管理体制, 在应对突发事件时发挥了重要作用。2001 年日本政府重组以后, 内阁承担了灾害管理责任。内阁灾害管理省负责制定和推行防灾减灾基本政策, 协调其他各省厅应对大规模自然灾害。日本在灾害预防方面主要采取以下手段: ① 减灾立法; ② 为减灾成立相应机构, 发展灾害预防设施; ③ 开展国土资源保护工作; ④ 增强人民的灾害管理意识, 宣传灾害管理知识; ⑤ 灾害管理演练。在防灾经费方面日本中央政府每年的花费为 3~4 万亿日元。

印度政府于 2009 年就地质灾害问题制定了一个政策性和指导性文件——《国家灾害

管理指南——管理滑坡和雪崩》(National Disaster Management Guidelines——Management of Landslides and Snow Avalanches)。该指南确定了对滑坡灾害管理的9个关键领域：① 滑坡危险性、易损性和风险评估；② 多种灾害的概念；③ 滑坡防治；④ 研究与开发滑坡的监测和预警技术；⑤ 知识网络和管理；⑥ 能力建设和培训；⑦ 公众宣传和教育；⑧ 应急准备和反应；⑨ 规章制度和执法。印度政府早先的滑坡减灾政策注重灾后减缓战略。这次的指南出现了政策模式的转变，明确提出灾前和灾后两个层次的减灾战略，其中灾前部分强调了3个要素，即备灾、能力建设和公众意识的培养，尤其是将滑坡危险性、易损性和风险评估作为首要的关键领域。

6. 中国

自1999年2月，国土资源部颁布《地质灾害防治管理办法》后，相继出台了多部与地质灾害防治有关的法律法规。1999年12月1日实施《关于实行建设用地地质灾害危险性评估的通知》、2004年3月1日实施《地质灾害防治条例》、2006年1月8日国务院发布了《国家突发公共事件总体应急预案》等，其中《国家突发地质灾害应急预案》的制定标志着我国地质灾害防治管理工作正逐步向科学化、法制化方向发展，并将为控制和减少人为诱发的地质灾害起到决定性的作用。2011年6月13日，国务院发布了《国务院关于加强地质灾害防治工作的决定》，从国家层面推动了地质灾害防灾减灾体系的建设。

香港地区已建立起了完善的边坡安全管理体系，称为“斜坡安全系统”(Slope Safety System)。土力工程处(Geotechnical Engineering Office, GEO)负责管理这个系统的运作。香港的综合“斜坡安全系统”，是根据风险管理原则设立的，是定量风险管理在行政及政策层次上的应用，包括多方面的滑坡风险管理工作，例如设计及加固边坡、斜坡维修、减缓灾害、发展规划、滑坡预警、公众安全教育、滑坡信息、紧急服务等。香港地区土力工程处通过系统地滑坡研究，搜集了香港滑坡数据，促进了对滑坡机理及成因的了解，并进行了一系列技术发展工作，为滑坡定量风险评估建立了技术基础，例如评估滑坡泥石流活动性、计算滑坡后果、计算滑坡频率以及制定天然山体灾害评估方法。同时，制定风险准则，即个人风险和社会风险，确定天然山体滑坡的可承受风险标准。在工程实践中，风险度计算可以通过量化风险分析(Quantified Risk Analysis, QRA)来进行，以决定这种风险水平是不是允许的(根据指南提供的允许水平，即风险判据)，如果超过了允许值范围，就要采取行动进行预防、控制或减轻灾害，进行成本核算(包括非财政的开支)和收益分析。在香港的边坡安全管理中，风险管理包括旧人工边坡的整体滑坡风险管理、影响现有设施的个别场址滑坡风险管理和应用于发展规划的个别场址滑坡风险管理等方面的研究和实践内容。

台湾地区1996年贺伯台风之后，积极在土石流(地质灾害)高发区进行自主检核、防救灾资源整合及训练操作，提升居民防灾意识及应变能力，开展区域环境调查与防灾空间规划，建立防灾通报系统，落实防灾教育及组训睦邻救援队等。2000年，台湾颁布了《灾害防救法》，行政院农业委员会成为台湾地质灾害的业务主管机关，并拟定土石流灾害防救业务计划，依据美国联邦应急管理局(FEMA)所提灾害管理循环论，将土石流分为平时减灾、灾前准备、灾时应变、灾后复原4个阶段，并增列了相关作业程序，分别为土

石流防灾疏散避难、灾情收集与通报、防灾教育宣传、预报与预警和复原重建等。2003年台湾成立了灾害防救科技中心 (National Science and Technology Center for Disaster Reduction, NCDR), 自 2006 年起通过强化灾害防救科技研发落实运作方案, 逐步建立了土石流灾害防救体系中各阶段的实施应变运作机制, 规范各防灾业务的整合与协调, 落实土石流防救业务的推动, 并提供地区灾害防救实例^①。

1.2 滑坡风险评估研究进展

近年来, 滑坡风险评估和管理技术方法的研究成为滑坡灾害研究的热点之一, 无论是国际滑坡协会“2006 东京行动计划”、欧洲空间局资助的 SLAM (Service for Landslide Monitoring) 项目 (Paradise, 2005; Farina *et al.*, 2006)、欧盟新启动的 SafeLand 项目, 还是美国地质调查局 (USGS) 滑坡灾害计划 (2006~2010 年) (LHP) 和我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006~2020 年)》都尤为强调利用 GIS、RS 等新的技术和方法开展滑坡灾害易损性和风险评估制图的研究。从总体上分析, 目前滑坡风险评估处于从定性分析到定量估算的发展阶段, 存在很多技术难点和问题 (Van Westen, 2005), 特别是在滑坡灾害编录、数据库建设、滑坡灾害影响因素的识别和建模、滑坡时间和空间预测的不确定性、滑坡诱发因素的定量刻画、承灾体和易损性的快速调查和定量评价等方面。本节围绕滑坡风险评估技术层面的主要问题及难点, 概述滑坡风险评估学术领域针对这些问题所取得的研究进展。

滑坡风险评估技术层面需要回答的主要技术问题和相对应的专门术语如下:

- ① 某一地区的滑坡发育特征——滑坡编录 (Landslide Inventory);
- ② 什么地方易发生滑坡——易发性 (Susceptibility);
- ③ 可能发生滑坡的规模、速度及潜在破坏范围多大——滑动特征 (Runout);
- ④ 特定时间段内某一地点在诱发因素作用下发生滑坡的概率——危险性 (Hazard);
- ⑤ 受灾对象在遭受特定规模滑坡时的破坏程度——易损性 (Vulnerability);
- ⑥ 某一滑坡发生时导致了多大的损失——危害 (Consequences);
- ⑦ 某一时间段内特定滑坡发生的期望损失——特定风险 (Specific Risk);
- ⑧ 某一地区由于滑坡发生的期望损失之和——总风险 (Risk);
- ⑨ 总风险与社会可以接受的风险或可以容忍风险标准的比较——风险评价 (Risk Evaluation)。

根据上述主要技术问题, 滑坡风险评估在技术流程上主要包括滑坡编录、易发性分析、产出特征分析、危险性分析、承灾体易损性分析及可容忍风险分析等关键过程, 构成了滑坡风险评估的技术流程体系 (图 1.2)。其中滑坡编录、易发性、危险性和风险分析是滑坡风险评估与制图的基本类型 (Chacón and Irigaray, 2006; Cascini, 2008; Fell *et al.*, 2008a)。

^① 吴辉龙, 2010, 台湾在异常气候下山地灾害处理策略, 2010 年 8 月 10 日, 汶川地震次生山地灾害形成机理及风险控制研讨会。

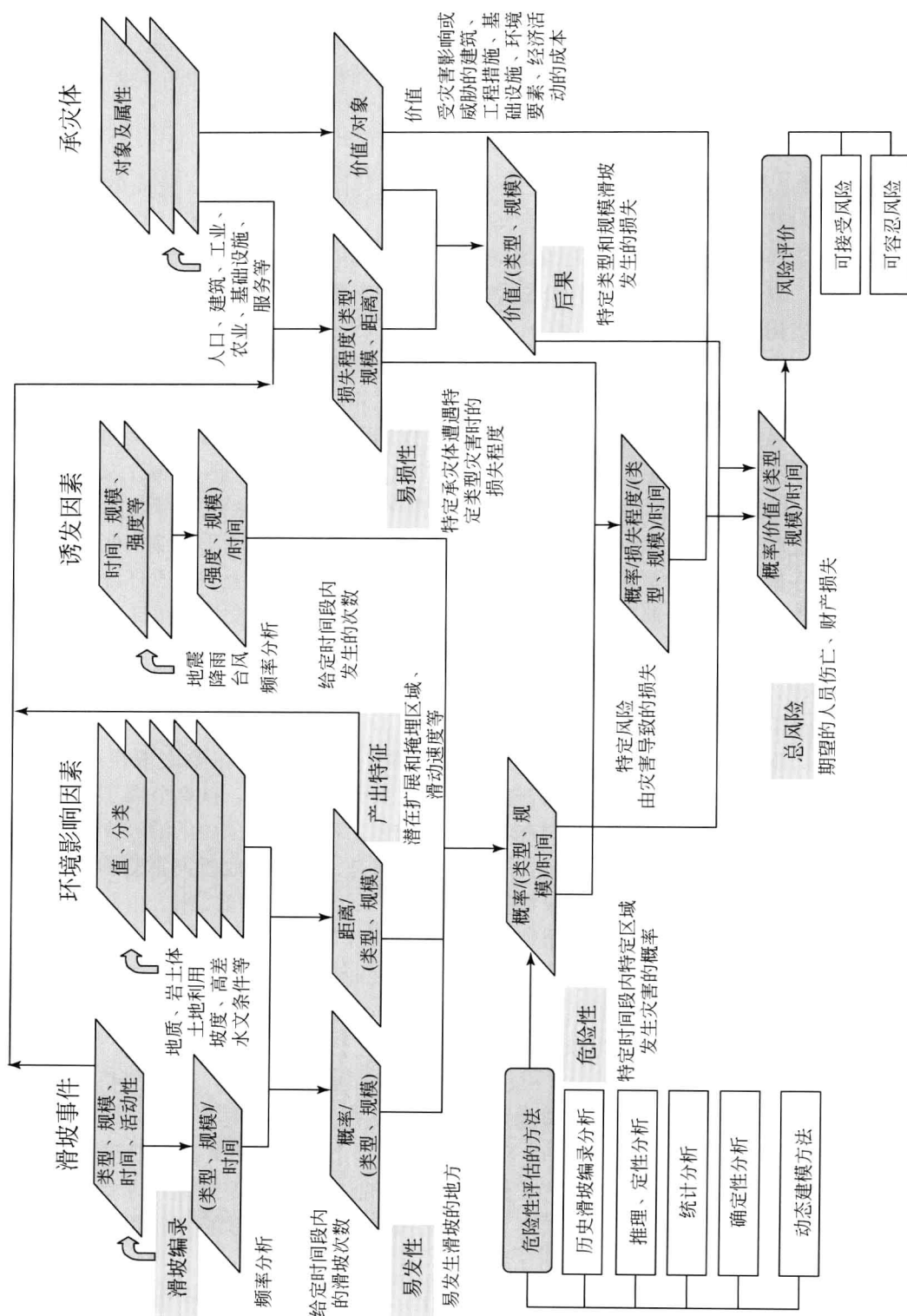


图 1.2 滑坡风险评估技术流程图(据 Van Westen, 2005 修改)