



新世纪工程地质学丛书

滑坡监测预警与 应急防治技术研究

殷跃平 吴树仁 等 著



科学出版社

P642.22
25

新世纪工程地质学丛书

滑坡监测预警与应急防治技术研究

殷跃平 吴树仁 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书对滑坡的早期识别、监测预警、应急防治和风险评估进行了系统研究。全书共5篇16章,涉及重大滑坡早期识别方法与空间预测、区域暴雨型群发滑坡泥石流灾害时空监测预警、滑坡光纤传感等高新关键监测技术、简易型滑坡泥石流监测预报仪器研制、滑坡灾害应急救援快速治理技术和风险评估理论与方法等。第一篇介绍了我国西南山区、黄土高原和汶川地震灾区的特大型滑坡形成机理、早期识别和空间预测方法;第二篇介绍了滑坡灾害光纤传感等高新关键监测技术和简易型滑坡泥石流地质灾害监测预报仪器的研制过程及在全国的推广应用情况;第三篇系统介绍了滑坡等地质灾害应急处置、快速治理技术的研究成果和防治技术方法示范;第四篇介绍了区域降雨型滑坡泥石流灾害的监测预警技术方法和预警监测示范区;第五篇介绍了滑坡等地质灾害风险评估技术及示范。

本书图文并茂,理论与实践相结合,可供从事地质灾害防治、工程地质、岩土工程、环境地质、城镇建设等领域的科研和工程技术人员参考,也可供有关院校教师和研究生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

滑坡监测预警与应急防治技术研究 / 殷跃平, 吴树仁等著. —北京: 科学出版社, 2012

(新世纪工程地质学丛书)

ISBN 978-7-03-036394-7

I. ①滑… II. ①殷… III. ①滑坡-监测预报-研究 ②滑坡-灾害防治-研究 IV. ①P642.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 319034 号

责任编辑: 韩 鹏 张井飞 / 责任校对: 李 影

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年12月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012年12月第一次印刷 印张: 29 1/4

字数: 710 000

定价: 200.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书其他作者名单

(以姓氏笔画顺序排列)

门玉明	石胜伟	石菊松	史彦新	冯 振
邢爱国	任晨虹	闫金凯	孙 萍	李 滨
李晓春	李铁锋	吴 悦	宋 军	张 青
张 明	张春山	孟宪玮	胡瑞林	曹修定
温铭生				

《新世纪工程地质学丛书》 规划委员会

主 任：黄润秋

副主任：殷跃平 伍法权

成 员：施 斌 彭建兵 王 清 唐辉明 李广诚

化建新 武 威 丰明海 杨书涛 彭土标

前 言

滑坡减灾防灾是世界性的难题。20 世纪 90 年代,联合国专门设立了国际减灾十年计划,21 世纪又继续设立国际减灾战略计划,推动了全球自然灾害减灾工作的进展。但是,每年自然灾害造成的人员伤亡中,由滑坡等地质灾害造成的数量仍高达总数的 1/3。特别是在极端气候异常和人类工程扰动日益增强的条件下,如何来防范滑坡造成的群死群伤灾害成为地质灾害减灾防灾的重中之重。

在科学技术部、国土资源部以及国际滑坡协会的支持下,作者等相继完成了国家科技攻关课题“重大地质灾害监测与防治技术方法研究”(1996~2000)、“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”(2006~2009)、国土资源大调查项目“地质灾害高发区详细调查方法与示范研究”(2005~2006)、国土资源大调查项目“地质灾害防治工程技术大型物理模拟研究”(2007~2008)、国际滑坡协会项目“滑坡早期预警方法”(2006~2008)。按照国家减灾防灾领域的科学技术需求,针对近年来重大滑坡地质灾害成灾特点及其应急救援面临的关键技术难题,开展了地质灾害形成机理、早期识别、监测技术、预警示范、应急防治和风险评估的研究工作,其总体研究思路分为四个层次:第一层次,强化对灾害体的地质条件及成因模式识别,通过对重大地质灾害形成机理的早期识别研究,建立空间预测指标体系;第二层次,在上述基础上,攻克重大滑坡体(单体)的光纤监测关键技术,开发相应的监测仪器,同时,研发重大地质灾害应急快速处置的技术设备,建立典型示范,并加以推广;第三层次,开展区域降雨型地质灾害监测预警技术方法研究,建立典型示范区,完善监测预警指标体系;第四层次,建立滑坡地质灾害风险评估方法,开展城市和乡镇地质灾害风险管理示范,制定地质灾害风险管理技术指南。

本书的主要执笔作者如下:

殷跃平、吴树仁、李铁锋、宋军、张青、石菊松、李滨、曹修定、门玉明、邢爱国、胡瑞林、李晓春、孙萍、张明、闫金凯、温铭生、史彦新、冯振、石胜伟、任晨虹、吴悦、张春山、孟宪玮。

本书的相关项目主要参加研究人员如下(按姓氏笔画排序):

王涛、王军朝、王国民、王树丰、王洪德、丛威青、石玲、石胜伟、乔建平、任晨虹、刘宇平、刘志明、刘振英、孙炜锋、朱继良、齐超、严君风、何淑军、吴陶、吴金生、张东、张永双、张建龙、张茂省、张晓飞、李文祥、李长才、李长春、李丽慧、李远宁、李政昭、李翠先、杨丽萍、杨卓静、汪华斌、辛鹏、陈文俊、陈红旗、陈禄俊、周鑫、孟庆华、郑薇、郑万模、姜昭群、赵建勤、唐亚明、徐为、徐刚、郭启锋、高幼龙、崔芳鹏、黄俊宝、喻孟良、曾克、蒋凡、谢忠胜、韩永温、谭成轩、谭儒蛟。

通过系统开展滑坡灾害减灾防灾关键支撑技术研究,本书相关项目取得了如下成果:

(1) 集成研究特大滑坡地质结构类型和变形破坏机理,首次运用空气动力学和流体力学耦合方法研究高速远程滑坡边界层效应,提出高速远程滑动成灾范围判定方法,建立多级旋转型黄土滑坡、层状厚层块状滑坡、土石混合型滑坡成因模式早期识别指标体系,制定国家滑坡灾害调查、勘查规范,及时指导了全国地质灾害的调查与勘查。

(2) 开展台风暴雨型、高山局地暴雨型滑坡形成机理研究,建立区域性地质灾害预警示范区,开展光纤传感新型技术研究,实现自动监测、远程传输、实时发布的现代化监测网络,为全国开展多尺度区域性地质灾害气象预警提供了可靠支撑。

(3) 研发简易型滑坡灾害监测预警系列配套仪器,发明了具备低(零)耗电、远程无线传输等功能下,适于复杂山区恶劣地质条件下的裂缝、地形变等低成本自动监测预警技术,获国家发明专利3项、实用新型专利5项。推广15万套,在全国2万多处地质灾害隐患点实现了群专结合的监测预警。

(4) 开展滑坡灾害防治新型工程技术研究,在峡谷区、黄土区、城市区建立不同类型滑坡灾害防治示范工程,制定国家滑坡灾害防治工程设计与施工技术规范,在全国推广。首次通过大型物理模拟试验,揭示了微型桩变形破坏机理,提出了滑坡防治微型桩工程应用优化设计方法,并在汶川地震重建区地质灾害防治等工程中推广应用。

(5) 研发快速地质灾害应急抢险技术工法。解决大吨位预应力锚索孔施工快速钻进难题,发明新型结构,改进传统跟管钻具,有效消除了局部应力集中现象,提高钻具综合能力,钻进效率提高50%。研发预应力锚索快速安装和锚固技术,为迅速控制大变形状态下滑坡灾害提供了系列设备。

本书共分5篇16章,其中,第一篇共5章,对我国特大型滑坡的形成机理、早期识别和空间预测方法进行了研究;第二篇共4章,对突发地质灾害光纤传感等高新关键监测技术和简易型地质灾害监测预报仪器研制、推广应用情况进行了介绍;第三篇共3章,开展了地质灾害应急处置的快速治理技术与示范研究;第四篇共2章,研究了区域降雨型滑坡泥石流灾害的监测预警技术与方法,建立了预警监测示范区;第五篇共2章,对地质灾害风险评估技术进行了研究,建立了宝鸡市地质灾害风险评估示范区。具体章节内容及主要研究人员如下:

第1章以四川青宁乡滑坡、重庆云阳五峰山滑坡、重庆武隆鸡尾山滑坡为例,重点讨论了我国西南地区平缓顺层、中陡顺层和斜倾顺层3种大型顺层岩质斜坡的拉裂-渗压-滑移、蠕滑-溃屈-滑移、关键块体失稳-滑移的破坏模式,建立了滑坡失稳识别特征指标(殷跃平、张明等)。

第2章重点分析我国西北黄土高原多级旋转黄土滑坡基本类型和形成条件,提出扩展式旋转滑动、渐灭式旋转滑动、复合式旋转滑动的破坏模式,并提出了多级旋转滑坡“分级叠加”的稳定性评价方法(李滨等)。

第3章对汶川地震地质灾害的分布特征及隐患进行了系统分析,提出大量滑坡经历了初始斜坡(风化碎裂岩体)—地震抛掷—撞击崩裂—高速滑流的作用过程,指出大部分震区竖向峰值加速度大于水平向峰值加速度,竖向地震力拉张破坏作用明显(殷跃平、李晓春等)。

第4章重点以西藏易贡高速远程巨型滑坡和汶川地震触发的青川东河口滑坡-碎屑流为例,运用空气动力学理论和试验方法对高速远程滑坡气垫效应进行了系统深入的研究,通过环剪试验分析了地震液化产生高速远程滑动(邢爱国、张明、孙萍等)。

第5章在对滑坡失稳阶段研究的基础上,结合监测示范区的运行,提出特大型滑坡失稳早期识别和空间预测指标(殷跃平、李滨、胡瑞林等)。

第6章介绍了光纤光栅应变传感器、光纤光栅位移传感器、光纤光栅钢筋计3种新型光纤光栅传感器的设计制作方案 and 制作试验,研制滑坡裂缝监测光纤光栅传感装置和光纤光栅试验标定工作台(张青、史彦新等)。

第7章介绍了新型光纤监测仪器的研制过程,研制完成了具有自主知识产权的分布式光纤应变监测系统样机(张青、史彦新、孟宪玮等)。

第8章对新型光纤传感技术在巫山残联滑坡、邓家屋场滑坡、巫山中学滑坡的应用示范进行了介绍(张青、史彦新等)。

第9章介绍了针对崩塌滑坡泥石流地面塌陷等突发性地质灾害,自主研制的10余种经济实用的普及型地质灾害自动监测预警仪器(曹修定、任晨虹、吴悦等)。

第10章系统介绍了大直径、长孔段潜孔锤跟管钻具、配套机具以及跟管钻进工艺、锚索快速下锚技术、锚索快速注浆等预应力锚索快速施工技术的研究成果(宋军、赵建勤、王军朝、石胜伟等)。

第11章重点介绍了微型桩与滑坡相互作用的大型物理模型试验和数值模拟,研究微型桩在滑坡防治中的受力变形特性(闫金凯、门玉明、宋军等)。

第12章在微型桩模型试验和数值分析的基础上,提出微型桩的设计计算方法,并以四川省达县油气田站场滑坡、云南金平县城滑坡和陕西略阳县凤凰山滑坡为例,介绍了微型桩加固技术的工程应用示范(门玉明、宋军、李长才、闫金凯等)。

第13章重点介绍了区域降雨性地质灾害预警指标分类、地质灾害监测技术方法、预警关键数据获取、地质灾害预警区划、地质灾害预警模型等研究内容(李铁锋、温铭生等)。

第14章从地质灾害特征、地质灾害监测网络建设、监测数据分析、地质灾害预警指标、地质灾害预警成功案例、地质灾害专业监测点等方面出发,重点介绍了哀牢山地质灾害监测预警示范区、闽东南地质灾害监测预警示范区的建设情况(李铁锋、温铭生等)。

第15章开展了地质灾害风险评估理论与方法研究,提出了地质灾害风险预测评价的理论基础、基本理念和原则(吴树仁、石菊松、张春山、王涛等)。

第16章主要介绍了陕西省宝鸡市区地质灾害风险评估的示范情况,完成示范区地质灾害易发性、危险性和风险区划与制图,建立城镇地质灾害风险管理系统(吴树仁、石菊松、张春山等)。

全书由殷跃平、李滨统稿,前言和后记由殷跃平执笔完成。

本书凝聚了全体执笔作者和参研人员的共同心血,在即将付梓之际,特向大家致以衷心的感谢。

殷跃平

2012年9月1日

《新世纪工程地质学丛书》出版说明

人类社会进入 21 世纪已经 12 年了。十多年来,随着国家经济发展战略调整 and 大规模工程建设的推进,许多前所未有的工程地质与环境问题逐渐凸显出来。我国“西部大开发”战略的实施,对激活西部经济、缩小东西部差异起到了积极的推动作用,而西部大规模能源资源开发、城镇化、交通网络、能源传输线、跨流域调水等基础设施建设也扰动了地质环境的原始平衡,引发了大量工程地质灾害。人们在向沿海要土地、向海洋要资源和国家安全的过程中,不仅大大扩展了发展空间,在海洋资源开发、填海工程、港口建设、海岸带国防建设中,也遭遇到空前的“蓝色挑战”。在资源开采和工程建设向深部延拓的进程中,高地压、高水压、高地温、有害气体引发的灾难性事件频频发生,一再警示着人类:上天难,入地更难!汶川地震、舟曲泥石流、南旱北涝、黄河断流,自然灾害肆虐“地球村”,越来越成为人类社会生存发展的重要威胁。

我国的工程地质工作者在协调工程建设与人类生存环境尖锐矛盾的过程中,进行了积极的理论和实践探索,十多年来积累了丰厚的研究成果。他们闯入工程建设的禁区,把地壳动力学和区域稳定性理论推进到青藏高原及其周边的构造活跃区;他们深化了对地质介质工程特性的研究,对西部黄土、沿海软土和吹填土、有机土等特殊土,以及高地应力环境下岩体的特性和工程行为有了新的认识;他们对国家规模的大型基础设施建设中的工程地质问题开展了系统研究,解决了一批经典理论没有遇到的问题;他们在应对区域性或极端事件引发的大规模地质灾害及其灾后重建中进行了探索性实践,把我国地质灾害防治工作逐步领向有序化、规范化;在工程地质技术创新中,人们敏锐地发现和不断引进相关领域的新成果,以遥感监测技术、地球物理探测技术、数字信息技术等为代表的新技术应用,使工程地质探测、测试、实验、监测、分析与改造技术上了一新台阶。这些新成果的不断涌现,把我国的工程地质学科推向了一个新的水平。

为了总结新时期工程地质学科的新成果,提炼工程地质新理论,推进工程地质新技术、新方法的发展,中国地质学会工程地质专业委员会决定组织出版《新世纪工程地质学丛书》,并成立了丛书规划委员会。丛书将以近十多年来广泛关注的工程地质问题为主线,以重大科研成果为基础,融传统与创新为一体,采用开放自由的方式组织出版。丛书以作者申请和丛书规划委员会推荐相结合的方式选题,由规划委员会审批出版。

我们相信,《新世纪工程地质学丛书》的出版一定会对我国工程地质学科的发展起到积极的推进作用。

目 录

前言

第一篇 特大型滑坡早期识别及空间预测技术研究

第 1 章 特大型顺层岩质滑坡失稳机理及识别指标研究	3
1.1 平缓顺层岩质滑坡渗压失稳机理及识别指标	4
1.2 中陡顺层岩质滑坡溃屈失稳机理及识别指标	12
1.3 斜倾顺层岩质滑坡关键块体失稳机理及识别指标	17
1.4 小结	35
第 2 章 特大型多级旋转滑坡失稳机理及识别特征	36
2.1 多级旋转黄土滑坡形成地质环境特征	37
2.2 典型多级旋转型黄土滑坡基本类型及特征研究	43
2.3 多级旋转型黄土滑坡稳定性分析	50
2.4 黄土滑坡早期识别特征	64
2.5 小结	65
第 3 章 地震滑坡的启动特征研究	66
3.1 汶川地震地质灾害概述	66
3.2 地震滑坡触发特征分析	79
3.3 地震滑坡触发特征数值模拟验证分析	84
3.4 小结	89
第 4 章 高速远程滑坡气垫效应研究	90
4.1 高速远程滑坡基本特征	92
4.2 滑坡飞行气垫效应的风洞试验	97
4.3 滑坡飞行数值分析	115
4.4 高速远程滑坡空气动力学特征识别	130
4.5 高速远程滑坡-碎屑流液化-流化效应	131
4.6 小结	138
第 5 章 特大型滑坡成灾空间特征预测研究	139
5.1 特大型滑坡失稳时间过程特征识别	139
5.2 特大型滑坡成灾空间特征预测研究基本思路	143
5.3 高速远程特大型滑坡边界层特征	144
5.4 特大型滑坡速度及成灾性分类	146

5.5	特大型滑坡现状稳定特征识别	148
5.6	典型特大型滑坡空间预测	150
5.7	小结	153

第二篇 滑坡监测技术与示范

第6章	滑坡新型光纤监测传感器研制	157
6.1	传感器材料选择及封装工艺	157
6.2	裂缝监测传感器设计	161
6.3	应变监测传感器设计	162
6.4	小结	165
第7章	滑坡新型光纤监测仪器研制	166
7.1	光纤光栅解调仪设计与调试	166
7.2	分布式光纤监测系统设计与调试	180
7.3	小结	202
第8章	滑坡新型光纤监测系统的应用示范	203
8.1	重庆巫山残联滑坡应用试验	203
8.2	重庆巫山四道沟滑坡监测应用试验	205
8.3	BOTDR 与 FBG 联合监测	209
8.4	小结	211
第9章	滑坡普及型监测预警技术研究	212
9.1	滑坡裂缝监测预警器	212
9.2	滑坡地面形变监测预警仪	214
9.3	滑坡水量监测预警仪	217
9.4	滑坡综合监测预警仪	219
9.5	小结	221

第三篇 滑坡地质灾害应急处置快速治理技术研究

第10章	滑坡应急治理预应力锚索快速施工技术研究	225
10.1	潜孔锤跟管钻具结构设计	225
10.2	潜孔锤跟管钻具计算机仿真分析	228
10.3	潜孔锤跟管钻具材料选择及热处理工艺	231
10.4	潜孔锤跟管钻具配套机具设计	233
10.5	潜孔锤跟管钻进设备器具选型配套及钻进工艺	234
10.6	锚索快速下锚技术	238
10.7	锚索快速注浆技术研究	241
10.8	小结	244
第11章	滑坡微型桩群应急治理技术模型试验研究	245
11.1	微型桩抗滑工程室内模型试验	245

11.2	微型桩群治理工程大型物理模型试验	254
11.3	微型桩群治理工程数值模拟研究	278
11.4	小结	284
第 12 章	滑坡微型桩群应急治理设计与工程示范	285
12.1	微型桩设计计算理论	285
12.2	微型桩的参数设计建议	296
12.3	滑坡微型桩应用示范	296
12.4	小结	308
第四篇 区域降雨型滑坡泥石流灾害预警技术与示范		
第 13 章	区域降雨型滑坡泥石流灾害预警研究	311
13.1	预警指标分类	311
13.2	监测技术方法	313
13.3	预警关键数据获取	321
13.4	预警区划	333
13.5	预警模型	343
13.6	小结	350
第 14 章	区域降雨型滑坡泥石流灾害监测预警示范	351
14.1	云南哀牢山新平示范区	351
14.2	闽东南德化示范区	373
14.3	小结	397
第五篇 滑坡地质灾害风险评估技术研究		
第 15 章	地质灾害风险评估理论与方法研究	401
15.1	地质灾害风险评估主要内容	401
15.2	地质灾害风险评估层次结构	403
15.3	地质灾害风险评估基本理念	404
15.4	地质灾害风险预测评价的理论基础	406
15.5	地质灾害风险评估的基本假设	407
15.6	地质灾害风险评估的基本原则	408
15.7	地质灾害风险评估技术方法概述	411
15.8	地质灾害风险评估指标体系	416
15.9	小结	424
第 16 章	陕西宝鸡市区地质灾害风险评估示范	425
16.1	示范区基本情况	425
16.2	空间数据库建设	426
16.3	地质灾害的基本类型与发育分布特征	427
16.4	地质灾害形成条件与诱发因素分析	429

16.5 地质灾害风险评估	432
16.6 地质灾害风险管理建议	437
16.7 小结	443
主要参考文献	444
后记	453
《新世纪工程地质学丛书》出版说明	455

第一篇

特大型滑坡早期识别 及空间预测技术研究

本篇共5章,对特大型滑坡的形成机理、早期识别和空间预测方法进行了研究。第1章重点讨论了西南地区平缓顺层、中陡顺层和斜倾顺层3种大型顺层岩质斜坡的拉裂-承压-滑移、蠕滑-溃屈-滑移、关键块体失稳-滑移的破坏模式,建立了滑坡失稳识别特征指标;第2章重点分析西北黄土高原多级旋转黄土滑坡基本类型和形成条件,提出扩展式旋转滑动、渐灭式旋转滑动、复合式旋转滑动的破坏模式,并提出了多级旋转滑坡“分级叠加”的稳定性评价方法;第3章对汶川地震地质灾害的分布特征及隐患进行了系统分析,提出大量滑坡经历了初始斜坡—地震抛掷—撞击崩裂—高速滑流的作用过程,指出大部分震区竖向峰值加速度大于水平向峰值加速度值,竖向地震力拉张破坏作用明显;第4章运用空气动力学理论和试验对高速远程滑坡气垫效应进行了系统深入研究,通过环剪试验分析了地震液化产生高速远程滑动;第5章在对滑坡失稳阶段研究的基础上,结合监测示范区的运行,提出特大型滑坡失稳早期识别和空间预测指标。

我国地处世界上构造活动最活跃的地带,尤其是西部地区,受青藏高原近百万年来持续隆升的影响,地壳内、外动力作用异常强烈,形成了总体呈南北走向的巨大大陆地形坡降带,致使我国大陆地形由西向东急剧骤降,为特大型地质灾害发育提供了最为有利的内在、外在条件。因此,川滇地区、喜马拉雅山、三峡库区、秦巴山区和黄土高原地区成为特大型滑坡灾害的高易发区。近年来,强震频发、极端气候频现(暴雨、冰雪等)、全球气候变化(气温上升、雪线上移、冰川退缩等)以及人类活动加剧(灌溉、大量水电工程建设等)也为特大型滑坡灾害的发生提供了触发、诱发条件,导致了大量的灾难性滑坡的发生。

特大型滑坡体积大,地质结构复杂,前期研究程度差,滑坡孕育形成和启动前特征研究不足,地质体模型概化与实际相差较大,动力作用以及动力过程也难以科学合理的分析,因此,特大型滑坡的早期识别能力差,空间预测难度大,导致群死群伤的灾难仍不断发生。为此,本篇以我国西部大型顺层岩质滑坡、黄土滑坡、地震滑坡、高速远程滑坡为例,开展特大型滑坡的早期识别和空间预测研究,提出了缓倾顺层斜坡在渗透压力作用下承压水后缘拉裂入渗补给-前缘渗压浮托驱动滑移的滑坡失稳机理,建立了斜倾厚层块状岩质滑坡前缘阻滑关键块体瞬时失稳-后缘驱动块体视向偏转高速滑动的破坏模式和识别特征;提出了厚层黄土-红黏土多级旋转型滑坡扩展式、渐灭式、复合式旋转滑动的继发性机理和“分级叠加”的稳定性评价方法,拓展了滑坡体边界层特征研究方法,提出空气动力对高速滑体的竖向运动影响远超过对水平运动的影响,揭示了汶川地震区滑坡的地震竖向力作用形成的“抛掷”特征和滑坡初始斜坡—地震抛掷—撞击崩裂—高速滑流的破坏过程,提出了基于宏观地质判断与综合监测信息异常相结合的特大滑坡失稳时间过程特征识别要素。

第 1 章 特大型顺层岩质滑坡失稳机理及识别指标研究

顺层滑坡是指坡面走向、倾向与岩层走向、倾向一致或接近一致的层状结构岩体滑坡,是一种最为直观典型的滑坡类型。顺层滑坡在自然界中分布广泛,是山区铁路、公路和水利水电工程建设中经常遇到的一种滑坡类型,同时也是失稳概率最高、对人民生命财产危害最大的一类滑坡,造成了多起重大的灾难,例如 1963 年举世闻名的意大利瓦伊昂滑坡(Müller,1964,1968,1987;Tika and Hutchinson,1999;Semenza and Ghirotti,2000)、1982 年重庆云阳三峡鸡扒子滑坡(孙广忠和姚宝魁,1986;张年学等,1993)等。为此,多年来顺层滑坡一直是工程地质界研究的重点。

然而,近年来我国发生的特大滑坡灾害中,顺层滑坡仍占据较高比例(表 1.1)。例如,2003 年三峡库区蓄水 135m 后发生的湖北秭归千将坪滑坡,体积达 2400 万 m³,堵塞青干河,是三峡库区近二十年来体积最大的滑坡之一,造成了特大地质灾害(廖秋林等,2005;王治华和杨日红,2005;殷跃平和彭轩明,2007)。本章基于上述顺层岩质滑坡灾害,开展这类滑坡的变形特征和失稳机理研究,并建立其早期识别指标,为特大型顺层岩质滑坡早期预测预报提供依据。

表 1.1 我国近十年来发生的部分特大顺层滑坡及灾害

滑坡名称	时间	体积/万 m ³	伤亡或财产损失
重庆云阳五峰山	2001-1-17	4	冲垮彩印厂及两幢民房,危及 12000 余人
云南昭通盐津	2002-8-12	45	25 人死亡,4 人重伤,掩埋 7 户农舍及 1 家酒厂
湖北秭归千将坪	2003-7-13	2400	24 人死亡,1100 多人无家可归,4 家工厂被毁,334 省道 2.2km 长路段被毁,直接经济损失为 5375 万元
重庆万州铁峰乡	2004-9-5	540	2 人死亡,800 多间房屋垮塌,直接经济损失约 5000 万元
四川宣汉天台乡	2004-9-5	2500	摧毁屋舍 1736 间,1255 人无家可归,堵塞前河形成的堰塞湖,库容约 6000 万 m ³
四川达县青宁乡	2007-7-7	1100	受灾 2251 人,垮塌房屋 1000 多间,经济损失 1.5 亿元
重庆武隆鸡尾山	2009-6-5	700	74 人死亡,掩埋了 12 户民房及铁矿矿井

顺层滑坡在地质结构上具有复合性,表层一般为老滑坡堆积层,基岩遭受强风化,成为强度较差的饱水层状碎裂岩体,加之层状滑坡地势较为开阔,往往成为居民安置和生产的较好场所。因此,滑坡造成的损失是严重的,一方面毁坏民居和土地;另一方面,拉裂的水塘和农田促使地表水体大量入渗,加剧了滑坡的滑动,甚至形成堵江(河)的灾害。例如,1982 年重庆云阳宝塔乡长江北岸鸡扒子滑坡(图 1.1),就是典型的顺层滑坡。滑坡发

生后, 230 万 m^3 滑体进入长江洪水位以下, 给长江航运带来了严重危害, 造成了数亿元的巨大经济损失。

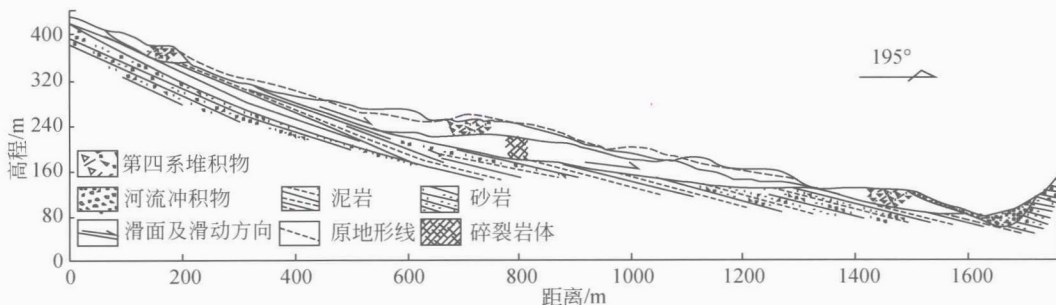


图 1.1 重庆云阳鸡扒子顺层滑坡剖面图
(《长江三峡工程重大地质与地震问题研究》编写组, 1992)

从水文地质结构上看, 顺层滑坡一般具有较好的透(含)水地质单元, 并以裂隙水、岩溶水的状态赋存。暴雨期间, 地下水往往快速下渗, 一方面软化滑带, 降低抗剪强度, 另一方面在滑坡体内会形成较大的静水压力和渗透压力。值得注意的是, 由于滑坡体岩层倾斜, 自上而下会产生较大的水力坡度, 下伏滑床内的地下水会贯通越流, 对滑体底部形成超孔隙水压力(承压浮托力), 使滑体的抗滑力减小, 稳定性明显降低。如重庆云阳鸡扒子滑坡发生前, 连降暴雨, 24h 的降雨量达 240.9mm, 最大时降雨量达 38.5mm; 滑坡发生前 12h, 滑坡西部的排水沟石板沟因后缘岩体的倒塌而堵塞, 导致降雨在上游积水成库, 迅速渗入滑体, 使滑体内的地下水位升高, 浮托力和渗透压力迅速增加; 根据石板沟内的水位和滑坡前缘剪出口处出露泉水的水位作初步估算, 滑坡发生前滑体内的水力梯度达到 190‰, 因此, 鸡扒子滑坡的发生是滑体底部浮托力和滑体内渗透压力共同作用的结果。

从上述分析可以看出, 降雨入渗往往成为顺层滑坡研究的重点。但是, 近年来的多起特大型顺层滑坡灾害表明, 仅从降雨角度开展顺层滑坡的早期识别和预警, 不仅会造成扩大化的“虚报”, 将所有顺层岩(土)体结构区都划定为滑坡危险区, 扰乱居民的生活和经济发展秩序, 也会带来严重的“漏报”隐患, 造成不可估量的重大灾害损失。

从斜坡结构上看, 顺层滑坡的失稳与岩层倾角、斜坡地形坡度、斜坡高度等综合因素有关, 并非倾角愈大, 滑坡的失稳可能性愈大, 发生特大型滑坡的优势倾角一般小于 45° 。因此, 本章将重点介绍顺层滑坡内在因素的识别, 在研究滑坡岩体结构和水文地质结构的基础上, 开展平缓(倾角 $\leq 20^\circ$)、中陡($20^\circ < \text{倾角} < 45^\circ$)和斜倾(倾角 $\geq 45^\circ$)顺层岩质滑坡失稳机理的研究。

1.1 平缓顺层岩质滑坡渗压失稳机理及识别指标

由于滑坡地形坡度较为平缓, 甚至低于滑带的内摩擦角, 因此, 特大型平缓顺层岩质滑坡失稳主要受到降雨条件下地下水静水压力、扬压力和承压水压力的综合作用。本节