

石力学与
工程研究著作 丛书

双(多)层反翘型滑坡成灾 机理及控制方法

◎任伟中 著



科学出版社

岩石力学与工程研究著作丛书

双(多)层反翘型滑坡成灾 机理及控制方法

任伟中 著

国家自然科学基金面上项目(40772186)

湖北省交通厅 2000 年度重点资助科研项目

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了双(多)层反翘型滑坡的基本特征、形成发育条件、变形和破坏机理及时空演变规律。建立了该类滑坡变形和破坏的力学模型、前缘岩层反翘过程中滑动面形成的渐进破坏演变规律的力学模型、时空演化规律的数学力学模型及滑坡蠕滑变形起动和停止判据的数学力学模型,并提出适合该类滑坡的预测预报方法、防治对策和措施。该研究成果对自然环境及在高速公路、铁路、露采矿山、水利工程、工厂、山区城镇化等建设过程中经常遇到的双(多)层型、反翘型、倾倒型、滑移弯曲型、溃屈型或双(多)层反翘型等类滑坡的变形与破坏力学机理、预测预报及防治具有重要意义,对一般滑坡的研究也有一定的参考价值。

本书适用于岩土工程勘察、设计和施工人员,也可供大专院校、科研院所相关专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

双(多)层反翘型滑坡成灾机理及控制方法/任伟中著. —北京:科学出版社, 2015. 9

(岩石力学与工程研究著作丛书)

ISBN 978-7-03-042003-9

I. ①双… II. ①任… III. ①滑坡-控制方法-研究 IV. ①P642. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 223786 号

责任编辑:周 炜 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 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>

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

*

2015 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 9 月第一次印刷 印张:15 1/2

字数:294 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《岩石力学与工程研究著作丛书》编委会

名誉主编:孙 钧 王思敬 钱七虎 谢和平

主 编:冯夏庭

副 主 编:何满潮 黄润秋 周创兵

秘 书 长:黄理兴 刘宝莉

编 委:(以姓氏汉语拼音顺序排列)

蔡美峰	曹 洪	戴会超	范秋雁	冯夏庭
高文学	郭熙林	何昌荣	何满潮	黄宏伟
黄理兴	黄润秋	金丰年	景海河	鞠 杨
康红普	李 宁	李 晓	李海波	李建林
李世海	李术才	李夕兵	李小春	李新平
廖红建	刘宝莉	刘汉东	刘汉龙	刘泉声
吕爱钟	栾茂田	莫海鸿	潘一山	任辉启
余诗刚	盛 谦	施 斌	谭卓英	唐春安
王 驹	王金安	王明洋	王小刚	王学潮
王芝银	邬爱清	徐卫亚	杨 强	杨光华
岳中琦	张金良	赵 文	赵阳升	郑 宏
周创兵	周德培	朱合华		

《岩石力学与工程研究著作丛书》序

随着西部大开发等相关战略的实施,国家重大基础设施建设正以前所未有的速度在全国展开:在建、拟建水电工程达 30 多项,大多以地下硐室(群)为其主要水工建筑物,如龙滩、小湾、三板溪、水布垭、虎跳峡、向家坝等,其中白鹤滩水电站的地下厂房高达 90m、宽达 35m、长 400 多米;锦屏二级水电站 4 条引水隧道,单洞长 16.67km,最大埋深 2525m,是世界上埋深与规模均为最大的水工引水隧洞;规划中的南水北调西线工程的隧洞埋深大多在 400~900m,最大埋深 1150m。矿产资源与石油开采向深部延伸,许多矿山采深已达 1200m 以上。高应力的作用使得地下工程冲击地压显现剧烈,岩爆危险性增加,巷(隧)道变形速度加快、持续时间长。城镇建设与地下空间开发、高速公路与高速铁路建设日新月异。海洋工程(如深海石油与矿产资源的开发等)也出现方兴未艾的发展势头。能源地下储存、高放核废物的深地质处置、天然气水合物的勘探与安全开采、 CO_2 地下隔离等已引起政府的高度重视,有的已列入国家发展规划。这些工程建设提出了许多前所未有的岩石力学前沿课题和亟待解决的工程技术难题。例如,深部高应力下地下工程安全性评价与设计优化问题,高山峡谷地区高陡边坡的稳定性问题,地下油气储库、高放核废物深地质处置库以及地下 CO_2 隔离层的安全性问题,深部岩体的分区碎裂化的演化机制与规律,等等,这些难题的解决迫切需要岩石力学理论的发展与相关技术的突破。

近几年来,国家 863 计划、国家 973 计划、“十一五”国家科技支撑计划、国家自然科学基金重大研究计划以及人才和面上项目、中国科学院知识创新工程项目、教育部重点(重大)与人才项目等,对攻克上述科学与工程技术难题陆续给予了有力资助,并针对重大工程在设计和施工过程中遇到的技术难题组织了一些专项科研,吸收国内外的优势力量进行攻关。在各方面的支持下,这些课题已经取得了很多很好的研究成果,并在国家重点工程建设中发挥了重要的作用。目前组织国内同行将上述领域所研究的成果进行了系统的总结,并出版《岩石力学与工程研究著作丛书》,值得钦佩、支持与鼓励。

该研究丛书涉及近几年来我国围绕岩石力学学科的国际前沿、国家重大工程建设中所遇到的工程技术难题的攻克等方面所取得的主要创新性研究成果,包括深部及其复杂条件下的岩体力学的室内、原位实验方法和技术,考虑复杂条件与过程(如高应力、高渗透压、高应变速率、温度-水流-应力-化学耦合)的岩体力学特性、变形破裂过程规律及其数学模型、分析方法与理论,地质超前预报方法与技术,工

程地质灾害预测预报与防治措施,断续节理岩体的加固止裂机理与设计方法,灾害环境下重大工程的安全性,岩石工程实时监测技术与应用,岩石工程施工过程仿真、动态反馈分析与设计优化,典型与特殊岩石工程(海底隧道、深埋长隧洞、高陡边坡、膨胀岩工程等)超规范的设计与实践实例,等等。

岩石力学是一门应用性很强的学科。岩石力学课题来自于工程建设,岩石力学理论以解决复杂的岩石工程技术难题为生命力,在工程实践中检验、完善和发展。该研究丛书较好地体现了这一岩石力学学科的属性与特色。

我深信《岩石力学与工程研究著作丛书》的出版,必将推动我国岩石力学与工程研究工作的深入开展,在人才培养、岩石工程建设难题的攻克以及推动技术进步方面将会发挥显著的作用。



2007年12月8日

《岩石力学与工程研究著作丛书》编者的话

近二十年来,随着我国许多举世瞩目的岩石工程不断兴建,岩石力学与工程学科各领域的理论研究和工程实践得到较广泛的发展,科研水平与工程技术能力得到大幅度提高。在岩石力学与工程基本特性、理论与建模、智能分析与计算、设计与虚拟仿真、施工控制与信息化、测试与监测、灾害性防治、工程建设与环境协调等诸多学科方向与领域都取得了辉煌成绩。特别是解决岩石工程建设中的关键性复杂技术疑难问题的方法,973、863、国家自然科学基金等重大、重点课题研究成果,为我国岩石力学与工程学科的发展发挥了重大的推动作用。

应科学出版社诚邀,由国际岩石力学学会副主席、岩石力学与工程国家重点实验室主任冯夏庭教授和黄理兴研究员策划,先后在武汉与葫芦岛市召开《岩石力学与工程研究著作丛书》编写研讨会,组织我国岩石力学工程界的精英们参与本丛书的撰写,以反映我国近期在岩石力学与工程领域研究取得的最新成果。本丛书内容涵盖岩石力学与工程的理论研究、试验方法、实验技术、计算仿真、工程实践等各个方面。

本丛书编委会编委由 58 位来自全国水利水电、煤炭石油、能源矿山、铁道交通、资源环境、市镇建设、国防科研、大专院校、工矿企业等单位与部门的岩石力学与工程界精英组成。编委会负责选题的审查,科学出版社负责稿件的审定与出版。

在本套丛书的策划、组织与出版过程中,得到了各专著作者与编委的积极响应;得到了各界领导的关怀与支持,中国岩石力学与工程学会理事长钱七虎院士特为丛书作序;中国科学院武汉岩土力学研究所冯夏庭、黄理兴研究员与科学出版社刘宝莉、沈建等编辑做了许多繁琐而有成效的工作,在此一并表示感谢。

“21 世纪岩土力学与工程研究中心在中国”,这一理念已得到世人的共识。我们生长在这个年代里,感到无限的幸福与骄傲,同时我们也感觉到肩上的责任重大。我们组织编写这套丛书,希望能真实反映我国岩石力学与工程的现状与成果,希望对读者有所帮助,希望能为我国岩石力学学科发展与工程建设贡献一份力量。

《岩石力学与工程研究著作丛书》

编辑委员会

2007 年 11 月 28 日

前 言

随着国家交通运输、能源、资源开采利用等基础设施建设的快速发展,随着国家新一轮西部大开发战略的实施,西部基础设施建设必然迎来新的发展机遇期,基础设施建设将向自然条件更加恶劣的西部山区延伸,在高速公路、铁路、露采矿山、水利工程、工厂、山区城镇化等建设中,复杂地形地质条件下边(滑)坡灾害问题将更加突出,如果开发不当,可能诱发更多的滑坡灾害,加剧破坏本就十分脆弱的西部山区生态环境,给国家和人民的生命财产安全带来更大的损失。滑边坡灾害研究对于西部山区土木工程建设项目可行性论证、场址比选、安全施工、正常营运及生态环境保护,实现工程建设与地质环境保护的协调发展具有重大的现实意义。国家在这方面投入较少的科研经费,将可能带来巨大的经济效益、社会效益和环境效益。目前滑边坡灾害问题已成为亟待解决的研究课题。

滑坡是一个既古老又年轻的问题,自从人类在地球上诞生之日起,由于地球表面地形的高低起伏和地质条件的复杂,自然滑坡及由于人类工程活动引发的人工滑坡就一直伴随着人类的脚步,时刻给人类的生存环境带来巨大的威胁。人类也一直在与滑坡灾害作斗争,进行了大量相关研究工作,但至今仍有大量问题没有研究清楚,严重制约人类防治滑坡灾害的实践能力。滑坡种类繁多,变形破坏机理千差万别,防治对策也可能完全不一样。双层反翘型滑坡是作者在鄂西北山区深变质岩地层野外滑坡地质灾害调查过程中多次遇到的,该类滑坡规模大,危害剧烈,而我们对其知之较少。同时,双(多)层型滑坡、反翘型滑坡在自然界中较为常见,而双层反翘型滑坡是既具双层性质又具反翘性质的复合型滑坡,开展该类滑坡的相关研究,不仅对双(多)层反翘复合型滑坡具有独特的价值,而且对双(多)层型、反翘型、倾倒型、滑移弯曲线、溃屈型等类滑坡都具有重要的指导意义,同时对一般的滑坡也具有较大的参考借鉴价值。

双层反翘型滑坡是自然界普遍存在的一种滑坡类型,其力学机理、稳定性分析及防治远较单层滑坡复杂,这类滑坡由于具有间歇性、缓慢蠕滑式、渐进性特征,活动强度较低,一般没有急速灾难性破坏特征,所以未引起相关科研工作者的重视,鲜见对双层反翘型滑坡研究的文献。但是双层反翘型滑坡造成的经济损失和危害程度不低于某些据有灾难性破坏的高速或剧动式高速滑坡,所以急需对此类滑坡开展相关研究。

本书以某重点工程韩家垭滑坡为工程背景,运用现场勘察、物理模拟、现场监测、数值分析、时间序列分析、弹塑性力学及流变力学等多方法多手段深入研究双

层反翘型滑坡的基本特征、形成发育条件、变形破坏机理、渐进破坏力学模型、流变力学模型、时空演化规律及控制措施等。分别建立了滑坡变形时间及空间演化规律的预报模型、渐进破坏力学模型、流变力学模型,并合理地确定了其稳定性判据,提出了一整套滑边坡力学参数的综合选取方法和稳定性评估体系,针对双层反翘型滑坡的特征提出了防治对策。

本书力求做到理论联系实际,所有的研究都依托具体的工程背景,以模型试验和现场监测研究为基础,所有数学力学模型和方法都有试验和现场监测资料的验证,如第3章、第6章、第7章。研究成果来源于工程实践,又力求为今后类似滑坡工程的防治提供一些有实用价值的方法和手段,如第2章、第7章、第8章,既立足于工程实例,又总结出具有一定普适意义的方法和手段以指导类似问题,这正体现了本书的研究特点和研究宗旨。

本书共8章,第1章主要介绍研究背景、研究现状和研究内容。第2章主要讨论了双层反翘型滑坡的基本特征和形成发育条件。第3~5章主要论述了运用现场勘查与监测、物理模拟、数值模拟深入研究该类滑坡的变形破坏力学机理。第6章主要是运用弹塑性力学、流变力学有关理论建立“叠合梁”、“多层薄板”的渐进破坏力学模型,提出该类滑坡的稳定性判据和整体启动时滑动面抗剪强度启动阈值,给出岩层弯曲蠕变的时效变形方程和反翘岩层的蠕变压屈方程。第7章主要讨论了滑坡抗剪强度参数综合选取方法,建立起一整套适合双层反翘型滑坡的稳定性评估体系。第8章着重介绍运用物理模拟、现场监测、数值模拟等手段综合研究抗滑桩、锚杆等的加固机理,并提出适合双层反翘型滑坡的稳定性控制对策及加固工程的优化方案。

本书主要内容是以国家自然科学基金面上项目(40772186)及湖北省交通厅2000年度重点资助科研项目的基础研究成果为基础撰写的。

本书得到了我的博士生导师暨中国科学院武汉岩土力学研究所白世伟研究员、中国地质大学(武汉)唐辉明教授、湖北省公路管理局范建海教授级高级工程师等的大力支持、鼓励和指导。本书第5章主要由中国科学院武汉岩土力学研究所唐新建研究员撰写,6.1~6.3节、6.5节由作者的硕士生王永刚撰写,6.4节由硕士生陈浩撰写,3.3节和3.4节由硕士生李靖撰写。在此一并表示衷心的感谢。

希望通过正式出版该研究成果,为国内外同行提供有益的参考,并促进对相关问题研究的进一步深化。由于研究视角的不同,时间和学术水平的局限性,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正,共同探讨。

目 录

《岩石力学与工程研究著作丛书》序

《岩石力学与工程研究著作丛书》编者的话

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外滑坡研究历史和现状	4
1.2.1 滑坡研究历史概况	4
1.2.2 滑坡机理研究现状	6
1.2.3 滑坡稳定性分析研究现状	7
1.2.4 滑坡分类的研究现状	11
1.2.5 滑坡防治研究现状	13
1.3 本书的研究内容	14
第 2 章 双(多)层反翘型滑坡的基本特征和形成发育条件	16
2.1 滑坡基本特征	16
2.1.1 滑坡形态特征	16
2.1.2 滑坡结构特征	16
2.1.3 滑动面(带)的确定	21
2.2 双(多)层反翘型滑坡形成发育条件	27
2.2.1 气象水文条件	27
2.2.2 地形地貌条件	27
2.2.3 地层岩性条件	27
2.2.4 地质构造条件	28
2.2.5 滑坡发育的诱发条件	28
第 3 章 双(多)层反翘型滑坡力学机理的现场勘察与监测研究	30
3.1 滑坡力学机理现场勘察分析	30
3.2 滑坡力学机理现场监测分析	32
3.2.1 滑坡体位移监测	32
3.2.2 孔隙水压力监测	34
3.2.3 滑坡力学机理综合分析	36
3.3 滑坡时间演变规律及预报	37
3.3.1 滑坡稳定系数的变化规律	37

3.3.2	滑坡位移的变化规律	49
3.3.3	滑坡时间预测研究	54
3.4	滑坡单体空间演化规律与预测	55
3.4.1	滑坡空间演化趋势	55
3.4.2	滑坡单体空间预测研究	58
3.5	滑坡的时空演化趋势间的关系	62
第4章	双(多)层反翘型滑坡力学机理的物理模拟研究	64
4.1	模型试验设计	64
4.1.1	基本原理	64
4.1.2	试验工况	65
4.1.3	试验剖面的选择	66
4.1.4	模拟范围的确定	66
4.1.5	模拟的主要岩类及其物理力学参数的选取	67
4.1.6	相似比的确定	68
4.1.7	地质构造的模拟	68
4.1.8	地应力的模拟	69
4.1.9	边坡开挖过程的模拟	69
4.1.10	相似材料研制	69
4.1.11	模型制作	73
4.1.12	观测内容及手段	75
4.1.13	试验步骤	81
4.2	试验结果及其分析	82
4.2.1	百分表与近景摄影测量对应各点所测位移值比较	82
4.2.2	滑坡稳定系数随底板抬升高度变化规律	83
4.2.3	滑坡滑动机理分析	84
4.2.4	堑坡开挖条件下滑坡和路堑边坡变形破坏分析	94
第5章	双(多)层反翘型滑坡力学机理的数值模拟研究	101
5.1	稳定性分析方法与原理	101
5.1.1	岩土体的破坏准则	101
5.1.2	弹塑性应力-应变关系	103
5.1.3	岩土体材料拉裂破坏分析	104
5.1.4	岩土体滑动面的接触摩擦模型	105
5.1.5	稳定性分析	105
5.2	计算参数、计算工况及计算模型	107
5.2.1	I—I'剖面	107
5.2.2	II—II'剖面	108

5.3 计算结果与分析	109
5.3.1 I—I'剖面应力应变和稳定性分析	109
5.3.2 II—II'剖面应力应变和稳定性分析	112
5.3.3 路堑开挖对滑坡稳定性的影响	114
5.3.4 滑坡反翘特征数值模拟分析	114
第6章 双(多)层反翘型滑坡力学机理与稳定性判据分析	117
6.1 引言	117
6.2 叠合梁渐进破坏力学模型	118
6.2.1 叠合梁计算模型的基本假定	118
6.2.2 叠合梁弯曲-破坏模型及渐进破坏分析	119
6.2.3 岩层反翘弯曲变形最大弯折深度的确定	123
6.2.4 岩层反翘弯曲最大变形的确定	124
6.2.5 力学模型的试验验证	125
6.3 多层薄板渐进破坏力学模型	127
6.3.1 滑坡变形破坏的多层薄板概化模型	127
6.3.2 多层板荷载的分解	128
6.3.3 多层板边界条件分析	130
6.3.4 多层板荷载-挠度方程	132
6.3.5 多层板的屈服与临界荷载	135
6.3.6 滑坡启动、停止滑动面抗剪强度阈值的确定	138
6.3.7 滑坡稳定性判据	140
6.4 滑坡流变力学模型	141
6.4.1 边坡演变为滑坡的特点	141
6.4.2 滑坡蠕变模型的建立	142
6.4.3 复合模型的应力-应变关系	145
6.4.4 流变力学模型的试验验证	146
6.4.5 加速变形过程验证	149
6.4.6 流变力学模型的现场监测验证	150
6.5 反翘变粒岩岩层流变力学模型	156
6.5.1 反翘变粒岩岩层弯曲蠕变机理分析	156
6.5.2 反翘变粒岩岩层弯曲蠕变时效变形分析	158
6.5.3 弯曲蠕变模型	162
第7章 双(多)层反翘型滑坡力学参数选取及其稳定性分析	164
7.1 力学参数取值区间的确定	164
7.2 滑坡稳定系数现状值的确定	165
7.2.1 滑坡发育阶段的稳定系数	165

7.2.2	反算时的滑坡稳定系数	166
7.3	计算剖面的选取	166
7.4	稳定性计算方法的选择	166
7.5	滑坡力学参数的敏感性分析	169
7.6	力学参数的综合选取	169
7.7	工程应用(力学参数综合选取实例)	170
7.7.1	力学参数的选取	170
7.7.2	稳定性计算方法	172
7.7.3	稳定性计算结果分析	173
第8章	双(多)层反翘型滑坡控制对策研究	174
8.1	灾害控制方案选择	174
8.1.1	控制原则	174
8.1.2	控制措施类别	175
8.1.3	控制方案选择	178
8.2	整治工程加固机理及优化的物理模拟试验研究	179
8.2.1	模型试验工况及步骤	179
8.2.2	相似材料的研制	180
8.2.3	模型体制作	181
8.2.4	观测内容及手段	181
8.2.5	支挡结构受力分析	183
8.3	整治工程加固机理的现场监测研究	203
8.3.1	滑坡体位移监测	203
8.3.2	孔隙水压力监测	204
8.3.3	桩前、桩后土压力监测	204
8.3.4	桩身钢筋受力监测	206
8.3.5	钢筋混凝土抗滑桩桩身变形监测	207
8.3.6	锚杆受力监测	211
8.3.7	锚杆拉拔试验	212
8.4	整治加固效果分析	214
8.4.1	根据模型试验结果分析	214
8.4.2	根据现场实时监测结果分析	224
参考文献		226

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

随着人口的快速增长和土地资源的过度开发,滑坡已成为全球性的主要地质灾害之一,滑坡问题已严重阻碍我国交通、能源、资源开发利用等方面基础设施建设的顺利进行。每年发生的滑坡,给我国国民经济建设造成难以挽回的、数以亿计的巨大经济损失和人员伤亡,严重破坏生态环境,并干扰我国可持续发展战略的实施。据有关部门统计,我国的滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害,正随着资源的开发而加剧,每年由此造成的损失近 300 亿元。近十年来,全国 400 多个市、县受到严重侵害,有近万人死亡,一半以上的地质灾害是人为因素造成的^[1]。我国是滑坡多发性国家,每年都有大量的滑坡事故发生。

2001 年 7 月 9 日,云南省昆明市东川区因民镇东川矿务局因民铜矿选矿厂后山发生滑坡,冲毁并掩埋了 3 幢房屋,造成 41 人被掩埋,19 人死亡。

2001 年 5 月 1 日晚 8 时 30 分左右,重庆武隆县城巷口镇发生滑坡地质灾害,一座 9 层居民楼被摧毁掩埋,共造成 79 人死亡。

2002 年 7 月 25 日晚 17 时 10 分许,陕西省延安市吴旗县城气象小区石油子校沟内居民区发生山体滑坡,滑坡体积约 600m^3 ,垮塌石窑洞 3 孔,窑洞内 17 人被埋。

2003 年 5 月 12 日凌晨,在贵州三穗县台烈镇平溪村三(穗)凯(里)高速公路一工地附近的山脚下,突然发生山体滑坡,两栋工棚的 35 名工人在睡梦中全部被埋,有 29 人在这次事故中遇难。

2003 年 7 月湖北秭归县沙镇溪千将坪发生大型滑坡,造成 14 人死亡,10 人失踪,倒塌房屋 346 间,毁坏农田 1000 余亩,4 家企业全部毁灭。滑坡还毁坏 3km 省道与 20 多千米的输电线路,22 艘船翻沉,5 艘船舶断缆走锚,广播、电力、国防光缆等基础设施都受到严重破坏。

2004 年 12 月 3 日凌晨,在贵州纳雍县鬃陵镇左家营村,突然发生山体滑坡,纳雍县鬃陵镇左家营村岩脚组的大半个村被滑下的山体泥石淹没,造成 44 人死亡,该村从此从地图上消失。

因工程建设引发的滑坡,更是不胜枚举。

1992 年,二滩水电站 2 号尾水渠开挖时,由于开挖爆破影响及雨季地表渗水,边坡变形急剧增长,并出现裂缝和岩石掉块现象,边坡处于初期失稳状态,失稳坡

体约 $6.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

1988 年,五强溪水电站由于船闸切入左岸坡脚,其基础开挖边坡造成左岸高边坡稳定问题,使边坡在开挖期间发生不同程度的变形和蠕滑。

1989 年 1 月 10 日在我国云南漫湾水电站大坝坝肩开挖过程中发生的滑坡,不仅耗资近亿元进行治理,而且使这个 150 万 kW 的水电站推迟发电近一年,造成巨大的经济损失。

1981 年雨季宝成铁路发生滑坡 289 处,中断行车 2 个多月,抢建费用达 2.56 亿元。

1987 年,清江隔河岩水电站左岸导流洞出口高边坡开挖失稳,近 $2 \times 10^5 \text{ m}^3$ 岩体发生解体,处理滑坡延误工期 3 个月。

1985 年,天生桥二级水电站进水口明渠开挖边坡失稳,造成 48 人死亡的特大事故。

抚顺西露天矿自 1914 年开采以来,曾发生数十次滑坡,造成多次重大事故,严重影响露天矿的生产与建设。例如,1979 年西端帮发生的大滑坡,掩埋了西大卷道,一度造成矿山停产;1981 年以来,北段白垩系岩石边坡沿矿区一号大断层带多次出现滑动与变形,对北帮剥离运输干线的安全造成很大隐患。

1981 年 6 月攀枝花钢铁公司石灰石矿采场发生一起全国罕见的大型滑坡(H_2 滑坡),滑坡体积近 $5.0 \times 10^6 \text{ m}^3$,严重影响矿山生产。

长江三峡水利工程蓄水至 135m 后,有危险崩滑体约 438 处需要关注,三峡库区滑坡灾害的防治工作既关系到三峡工程建设的成败,也是关系库区居民子孙后代生命财产安全的千秋大业。

表 1.1 统计了 20 世纪世界上的一些重大滑坡灾害事故,从表中可以看出,一些规模较大的滑坡,例如,中国宁夏海源滑坡及哥伦比亚 Armero 滑坡,伤亡人数数以万计,危害巨大。此外,滑坡会引起河道堵塞,形成天然水库,这些临时形成的水库由于没有溢洪道,通常会在短期内溃决,形成特大洪水,由此导致次生自然灾害。

表 1.1 世界重大滑坡灾害事例

国家(地区)	时间	滑坡类型	破坏程度
爪哇	1919 年	泥石流	5100 人死亡,140 个村庄被毁
中国(宁夏海源)	1920 年 12 月 16 日	黄土流	约 20 万人死亡
美国(加利福尼亚)	1934 年 12 月 31 日	泥石流	40 人死亡,400 间房子被毁
日本(久礼)	1945 年	—	1154 人死亡
日本(东京西南)	1958 年	—	1100 人死亡
秘鲁(Ranrachirca)	1962 年 6 月 10 日	冰和岩石崩塌	3500 多人死亡

续表

国家(地区)	时间	滑坡类型	破坏程度
意大利(瓦依昂)	1963 年	岩石滑坡进入水库	2600 人死亡
英国(Aberfan)	1966 年 10 月 21 日	流动滑坡	144 人死亡
巴西(Riode Janeiro)	1967 年	—	1700 人死亡
美国(弗吉尼亚)	1969 年	泥石流	150 人死亡
日本	1969~1972 年	各种灾害	519 人死亡,13288 间房被毁
秘鲁(Yungay)	1970 年 5 月 31 日	地震引起碎屑崩塌,碎屑流	25000 人死亡
秘鲁(Chungar)	1971 年	—	259 人死亡
中国(香港)	1972 年 6 月	各种灾害	138 人死亡
日本(Kamijima)	1972 年	—	112 人死亡
意大利(意大利南部)	1972~1973 年	各种灾害	约 100 个村庄被毁,影响 20 万人
秘鲁(Mayuamarca)	1974 年	泥石流	约 100 个村庄被毁,影响 20 万人
秘鲁(Mantaro)	1974 年	—	450 人死亡
秘鲁(Yacitan)	1983 年	—	233 人死亡
尼泊尔(尼泊尔西部)	1983 年	—	186 人死亡
中国(东乡县撒勒)	1983 年	黄土滑坡	4 个村被毁,227 人死亡
哥伦比亚(Armero)	1985 年 11 月	泥流	约 22000 人死亡
土耳其(Catak)	1988 年 6 月	—	66 人死亡

目前及今后相当长一段时期,交通运输、能源、资源开采利用等基础设施建设将作为国家发展战略的重点。在高速公路、铁路、露天矿山、水利工程、工厂和山区城镇化等建设过程中,都会有滑坡发生,滑坡问题在地学、岩土工程和水土保持等领域已成为亟待解决的研究课题^[2]。若处理不当,则可能给工程建设带来毁灭性的灾难并造成难以挽回的生命财产损失。

与此同时,滑坡的变形破坏机理、稳定性分析、整治设计与优化、时空预测预报及三维全程实时稳定性监控等的研究与迅猛发展的数值分析理论之间还存在很大差距,建立精确的理论模型并不困难,但数值解是否客观反映了工程的实际特征,答案并不乐观^[3]。解决此类问题,仍需要相关科研工作者的不懈努力。

双(多)层滑坡是指由上、下两(多)个叠置的滑体所组成的滑坡系统,双(多)层滑坡在自然界普遍存在,特别是较大规模堆积层边坡的失稳,常产生多级滑移或解体现象,有的边坡还产生双层平行滑移和多层滑移。上滑体滑动对于下滑体的复活或滑动将会产生不同程度的影响,有时可能完全促使下滑体发生滑动;下滑体的滑动必然带动上滑体一起下滑。双(多)层滑坡系统的力学机理、稳定性分

析及防治远较单层滑坡复杂得多。目前,对双(多)层滑坡系统的研究还未引起足够的重视,仅有少数研究者开展了这方面的研究工作。

前缘反翘型滑坡在自然界中也十分普遍,一般发育在滑坡前缘为薄层顺向陡倾的软岩地层中,多属于缓慢蠕滑的缓动式低速滑坡。这类滑坡由于具有缓慢蠕滑特征,活动强度较低,通常没有急速灾难性破坏特征。但就其分布范围及造成的经济损失而言,其危害绝不低于某些具有灾难性破坏的高速或剧动式高速滑坡,甚至危害更大。正是由于其不具突发灾难性破坏特征,所以人们较多关注高速滑坡,而忽视对反翘蠕滑型滑坡的研究。目前,见诸文献的有关研究并不多。

对于既具有双(多)层滑动面又具有前缘反翘特征的双(多)层反翘型滑坡的研究很少,目前尚未有对此类滑坡的研究报道,因此急需对此类滑坡开展相关的研究。对此类滑坡的研究具有重要的学术价值和工程指导意义,可切实提高今后工程建设中此类滑坡防治工程的安全性、可靠度和经济合理性。

在湖北省某高速公路建设过程中,发现一巨型双层反翘型滑坡(韩家垭),能否科学经济地治理该滑坡将直接关系到是否改线的问题,韩家垭滑坡是该高速公路全线的第一大难点、重点和瓶颈工程。因此,必须深入研究该类型滑坡的基本特征、变形和破坏机理、演变规律、稳定性分析方法、力学参数的合理选取及控制对策等,才能既安全又经济地整治好该滑坡,保证该高速公路的建设工期和安全运营。因此,开展对该类滑坡的相关问题研究是十分必要和刻不容缓的,其力学机理的深入研究是防治该类滑坡的首要条件和关键所在,是防治该类滑坡的基础性研究工作。

1.2 国内外滑坡研究历史和现状

1.2.1 滑坡研究历史概况

1. 国外滑坡研究历史概况

国外对滑坡研究较早,按照时间顺序大致可以分为以下几个阶段^[4~12]:

(1) 19世纪中叶,西方国家首先开展对滑坡的研究。在20世纪50年代之前,只限于对滑坡现象的观测。

(2) 第二次世界大战以后,各国经济大发展,工程建设逐渐涉及更广泛的领域,在开发山区和丘陵地带时遇到更多滑坡灾害,从而促使了对滑坡进行系统而深入的研究。1949年弗罗洛夫所著《土体及建筑物稳定性的保证措施》一书,对土质滑坡的形成原因及防治方法有比较详细的阐述。