

张玉芳
王春生 著
张从明

边坡病害及 治理工程效果评价



科学出版社
www.sciencep.com

边坡病害及治理工程效果评价

张玉芳 王春生 张从明 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书构建了边坡病害治理工程效果评价的理论体系。内容包括:边坡岩体结构、病害类型和破坏模式之间的对应关系;边坡病害治理工程效果评价方法和标准;边坡病害治理工程维修加固措施;边坡病害治理工程效果评价及维修加固应用实例;边坡病害治理工程监控评价管理系统。

本书可供广大从事边坡灾害防治工程的科研人员和工程技术人员在边坡病害治理工程后评价中参考应用,也可供高等学校边坡灾害防治相关专业的师生参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

边坡病害及治理工程效果评价/张玉芳,王春生,张从明著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025702-4

I. 边… II. ①张…②王…③张… III. 边坡-防护工程-综合评价
IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 176598 号

责任编辑:张 丽 王志欣 / 责任校对:张怡君

责任印制:赵 博 / 封面设计:鑫联必升

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 10 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009 年 10 月第一次印刷 印张: 21 1/2

印数: 1—2 000 字数: 411 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

序 一

20 世纪 50 年代,从负责宝成铁路路基的设计以来,本人就对边坡病害产生了极大的兴趣,至今一直没有停止对边坡病害的思考。在山区进行工程建设不可避免受到边坡病害的影响,尤其是人为切坡导致的边坡病害。对边坡病害的防治有以下两点值得提倡:一是预防,每一个产生病害的山坡都有一定的地质条件,应事先重视工程使用年限内可能出现的变化,针对变化的条件和病因采取有效的工程措施,阻止病害的生成,这是上上之策;二是早治,在山坡上出现了变形迹象后,及时调查分析产生变形的地质条件与主要原因,采取针对性的治理工程,治住病害也为时不晚,这也不失为上策。但是,由于边坡病害客观条件的复杂性和人们认识水平的局限性,上述两点在实践中对许多边坡病害的治理都未能办到。组成山坡的岩土不同于人造材料,是不均质的、不连续的,并随时间和环境的变化而变化,所以难以准确定量,也使国内外对边坡病害的认识进展缓慢。近一个世纪以来,许多治理工程多以定性分析为基础,在定量分析不十分准确的情况下进行设计修建。在具体边坡病害的防治中,常因没有可靠的依据,无法确定使用年限内可能出现的最小设计参数和最不利组合;或因技术水平和时间所限,在地质资料不足和主要病因不太清楚的情况下进行设计等等,导致施工后治理工程多次破坏,因此不得不对边坡病害进行反复治理。特别是在修建高速公路中违背区域地质条件的切坡导致的长距离连续边坡病害;或其他建设在复杂地质条件下的切坡导致的大型复杂病害,常常在施工中多次产生边坡病害,经反复治理后才认识到病因,造成整治工作十分被动。因此,近半个世纪来,生产建设部门和学术界均寄希望于对边坡病害治理效果的后评价,试图从总结经验教训中提高边坡病害治理水平,结合工程实践,发展新型防治技术。然而,边坡病害的地质条件和环境的变化具有周期性,有的为 10~12 年,有的为 30~50 年,治理工程的效果也需要经过一两个周期验证才有说服力。这给治理效果的后评价带来了极大的困难,可以说是一个世界性难题。长期以来,虽然工程实践迫切需要病害治理效果后评价的理论和方法,但一直没有令人满意的成果。

近一个世纪来,国外发达国家在道路工程方面尽可能避免开挖高边坡。虽然高边坡的数量少了,但防治技术进展却不大。我国的铁路建设,在新中国成立后的二三十年内,高边坡的规模和数量一度达到了高潮,但在病害防治技术方面,由于重视地质不够而进展缓慢,发展水平总体上落后于桥隧的修建技术。在经过沉痛的经验教训后,20 世纪 70 年代以后,铁路在选线时,迫不得已,从现实出发,尽量

避免高切坡。但因我国幅员辽阔,地形起伏大,经过经济技术比较后还是采用了大量高边坡,因此高边坡在铁道工程中仍有一定的比重。今后,随着边坡病害防治技术水平的提高,高边坡仍将占据它应有的位置。改革开放以后,山区高速公路的建设达到了高潮,尤其是 2000 年前后,由于高速公路设计标准高,两地区线路长度尽量缩短,车道多、路面宽,再加上地质工作薄弱和防治力度小,出现了前所未有的高边坡病害,这一时期边坡病害的数量、规模、处理难度及治理费用实属世界罕见。

《边坡病害及治理工程效果评价》一书的作者张玉芳曾于 1986 年就读于本人的研究生,毕业后担任本人的技术助手。早在 20 世纪 90 年代初,他就承担了中国铁道科学研究院青年基金项目“抗滑桩工程效果评价研究”,二十多年来一直专心从事边坡病害的防治事业。

针对目前我国已经存在的和今后还将产生的大量边坡病害治理工程效果的后评价问题,作者以云南元磨高速公路边坡病害群治理效果评价为主,结合我国其他多条山区高速公路典型边坡病害治理工程实例,创立了一整套系统的边坡病害治理效果的后评价方法。该评价方法是研究与实践相结合的产物。该书从研究边坡岩体结构、病害类型和破坏模式三者之间的关系出发,总结归纳了我国常见的边坡病害防治技术,提出了治理工程效果的评价方法标准、维修加固措施,列举了评价的典型实例,并开发了治理工程效果安全监控评价管理系统。该书涉及的科研成果,远比当前国内外对边坡病害治理工程效果评价停留在成功或失败的简单定性上深入,而且该书构建的边坡病害治理工程效果评价的理论体系为国内外首创。该书内容丰富,有一定的深度和广度;各章节紧密结合,具有系统性和完整性;分析问题将定性判断与定量分析相结合,具有实用性和可操作性。对自然的认识是无穷尽的,科学研究也是无止境的,诚望广大的青年科学工作者以该书为基础,在该领域不断探索,获取更丰富的研究成果,补充和完善边坡病害治理工程后评价的理论体系。

该书是我国第一本有关边坡病害治理工程效果后评价的专著,建立的理论体系正确可行,提出的方法标准具有较大的使用价值,可作为边坡病害治理效果后评价的工具书,也可供广大从事边坡病害治理的研究者和工程技术人员参考应用。

徐邦栋

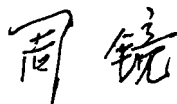
2009 年 6 月于兰州

序 二

山区道路的边坡病害是非常复杂、严峻的问题。1951年中华人民共和国铁道部就成立了专门的机构——坍方流泥研究组(今中铁西北科学研究院有限公司前身),来研究如何整治宝天铁路路基病害。半个多世纪以来,在徐邦栋先生为首的梯队领导下,这项科研工作不断深入扩大,积累了丰富的经验和资料,在理论研讨和整治措施等方面,也有所发展和创新,但边坡病害的整治工程,仍处于半理论半经验阶段。有些工程在修建过程中,边坡病害出现扩大发展;有些工程竣工后,经过一段时间后,病害又复活。因而如何评价边坡工程的效果,对重大边坡工程安全性的监控管理等成为山区基本建设中急需解决的问题。

自1986年以来,张玉芳在徐邦栋先生的指导下,一直在中国铁道科学研究院从事山区边坡病害的防治和科研工作,并与王春生、张从明合作,结合云南省山区公路网的建造,开展边坡工程治理效果的评价研究。在该书中,作者构建了边坡病害治理工程效果评价的理论体系;提出了评价的方法和标准;给出了边坡病害治理工程结构病害的维修加固措施;介绍了边坡病害治理工程评价的典型事例和边坡病害治理工程监控评价管理系统。

该书是我国第一本有关边坡病害治理工程效果后评价的专著,其内容涉及从勘察调查、设计施工到维修管理的边坡病害治理的全过程。该书不仅可作为边坡病害治理效果后评价的工具书,也可供从事边坡治理工程的科研、教学和工程技术人员参考。



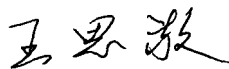
中国工程院院士
2009年6月

序 三

改革开放以来,随着突如其来的大规模工程建设向山区的延伸,人类的工程活动导致了边坡病害的频繁发生,造成了极大的生命财产的损失和人类生存环境的破坏。本人有幸对云南元磨高速公路边坡病害进行了多次考察和咨询,认为在众多的工程建设中,其边坡工程数量之多、规模之大、类型之复杂、工程之艰巨,实属罕见。云南元磨高速公路沿线全长 147km,高于 30m 的边坡 371 处,高于 50m 的边坡 232 处,高于 100m 的边坡 49 处,最高达 197m,施工期间发生崩塌、滑坡等边坡病害 182 处,治理费用超过 8 亿。针对建设时期的边坡病害的防治技术,云南省将其列为 2001 年度科技攻关项目;针对运营期间边坡病害治理工程的效果,中华人民共和国交通运输部将其列为 2003 年度的科技攻关项目。经建设单位、科研院所、高等学校长达 8 年的联合攻关,取得了丰硕的科研成果,为全线边坡病害的成功治理和安全运营管理提供了强有力的技术保障。该书吸取了以上研究成果的精华,同时总结提炼了其他多条山区高速公路、既有铁路边坡病害防治和评价的成功经验。

长期以来,国内广大学者对边坡病害体的分析评价形成了一系列比较成熟的理论和方法,但对治理工程效果的分析和评价缺乏方法和手段。到目前为止,对治理效果的评价大多停留在“成功和失败”的粗略认识上,而且是简单的定论;对评价的理论、方法和手段,以及治理工程的加固维修措施,长期以来处于结合工程实例的探索阶段,没有形成系统的理论体系。该书将科学研究和工程实践紧密结合,构建了边坡病害治理效果评价的理论体系,为治理工程的后评价提供了途径和方法。

张玉芳长期在毕生致力于我国滑坡防治事业的徐邦栋先生的学术熏陶和指导下,将地质工作和治理工程密切结合,成功地治理了许多大型复杂滑坡,在边坡病害治理效果后评价方面进行了系统的探索和研究。王春生长期从事边坡病害的设计、施工和管理工作的,在广东省边坡病害的治理中积累了丰富的经验。张从明对云南省的地质环境和边坡病害的认识深刻,主持了多条高速公路边坡病害的防治工作。三位作者共同完成的这本我国边坡灾害治理效果后评价方面的第一本专著,可供广大从事边坡病害治理工程的科研和工程技术人员参考应用。该书对道路工程学科也起到了积极的推动作用,特此作序。



中国工程院院士

2009 年 5 月

序 四

长期以来,我国在边坡病害的认识和防治方面进行了大量的探索和研究,积累了丰富的经验,防治技术的发展水平迅速提高,在国际上处于领先水平。尽管如此,在边坡病害的防治实践中,由于地质资料不足或有误、设计针对性差或设计工程不足、施工方法工艺不当或存在质量隐患、养护维修不及时或管理不到位等原因,常常导致边坡病害治理工程失败或失效,有些大型病害工点甚至遭遇了边治理边失效、多次治理多次失效的窘境。令人遗憾的是,对这些失败的治理工程,人们往往不能在第一时间内对其做出正确的评价、认识到其可能失效的后果,而总是在病害已经发生、危害已经形成的情况下才认识到这些治理工程的不合理性。出现这一情况的原因很多,但缺乏可靠的边坡病害治理效果的评价方法是其首要因素。当前,我国边坡病害治理工程的效果评价工作已到了刻不容缓的地步,一方面,建国初期修建的许多边坡工程,诸如宝成铁路、成昆铁路等,由于受使用寿命、当时的施工水平、材料强度等的限制,到了需要对其进行重新评价、修缮、重建的阶段;另一方面,由于经济、社会发展的需要,铁路、公路、水电等行业的土木工程建设规模空前,出现了大量高边坡治理工程,这些治理工程的效果如何,需要大家关注。因此,急需建立一套实用的边坡病害治理效果的评价方法。

基于上述考虑,该书作者结合多年科研和实践经验,经提炼升华,著成此书。综阅全书,具有以下特点:

1. 创新性。该书的主要内容反映了作者的最新科研成果,内容新颖、独到,其中不乏创新性的观点、提法,诸如对边坡岩体结构、病害类型和破坏模式的三者对应关系的分析研究,首次提出了边坡病害治理工程的评价方法、标准以及病害治理工程维修加固措施等。
2. 系统性。该书从研究边坡病害的地质条件出发,针对我国目前常用的边坡病害治理工程措施,提出了一套边坡病害治理工程后评价的方法,内容系统、全面。
3. 可操作性。该书在重视理论阐述的同时,突出了评价方法的可操作性,通过大量工程实例的举证分析,便于广大工程技术人员参照、快速掌握。
4. 适用性。该书可作为广大工程技术人员从事边坡病害治理工程效果评价的工具书,也可从事相关领域研究及教学工作的科研人员、师生提供参考,具有广泛的适用性。

郑颖人

中国工程院院士
2009年5月

前 言

我国是世界上地质灾害最严重的国家之一,边坡病害的问题尤为突出。随着大规模的山区工程建设,伴随着对自然山坡大幅度无休止的改造,与之俱来的高边坡,特别是公路高边坡,其数量之多、规模之大、灾害之严重、处治之困难,世界罕见。为保证边坡的稳定,不得不实施大量的边坡病害治理工程,但其治理效果如何?工程失效或者再次出现边坡病害如何应对?这是我国政府和各级部门十分担忧,而且是学术界长期以来没有解决而又迫切需要解决的问题。

基于上述背景,我们开展了边坡病害治理工程效果评价及对策的系统研究,研究项目有:2001年云南省科技攻关项目“高等级公路建设边坡病害防治技术研究”、2003年中华人民共和国交通运输部西部交通科技项目“云南元磨高速公路边坡病害群治理工程效果评价及应对措施研究”、2008年云南省交通厅科技攻关项目“云南省公路边坡灾害区划及适宜防治技术研究”。研究对象从云南省元磨高速公路边坡病害开始,逐步渗透到云南省的高速公路网,进而面向全国的山区公路和铁路。在研究工作中,理论与实践紧密结合,建立了边坡岩体结构、病害类型、破坏模式的对应关系,提出了边坡病害治理工程效果评价的参数、方法、标准和对策措施,形成了边坡病害治理工程效果评价及对策的技术方法体系。该研究成果在云南、广东多条高速公路、铁路的既有线边坡治理效果评价中,得到了成功推广应用。

本书是对上述研究成果的总结和提炼,共分6章:第1章绪论,第2章边坡病害及治理工程措施,第3章边坡病害治理工程效果评价方法和标准,第4章边坡病害治理工程维修加固措施,第5章边坡病害治理工程效果评价及维修加固应用实例,第6章边坡病害治理工程监控评价管理系统。

感谢我国滑坡专家徐邦栋教授长期以来孜孜不倦的教诲和对本书的认真审阅;感谢胡厚田教授对本书的无私指导和全面细致的审阅;感谢周镜、王思敬、郑颖人三位院士对我们科研工作的无私指导和帮助;感谢李聚金、王仲锦、向润泽、刘宝奎、王荣、万军利、颜志雄、张胜文、邹建敏、王浩、田亚护、赵志明、梁恩茂、李皆准、赵志磊、岳辉等对本书出版的大力支持和帮助。

本书可供广大从事边坡灾害防治工程的科研人员和工程技术人员在边坡病害治理工程后评价中参考应用,也可供高等学校相关专业的师生参考学习。

由于作者水平有限,难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

作 者
2009年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 我国边坡病害状况	1
1.2 边坡病害防治现状	5
1.3 边坡病害治理工程效果的评价现状	9
1.4 基本概念.....	11
1.5 本书主要内容.....	17
第 2 章 边坡病害及治理工程措施	19
2.1 边坡岩体结构.....	19
2.1.1 沉积岩边坡岩体结构	19
2.1.2 岩浆岩边坡岩体结构	25
2.1.3 变质岩边坡岩体结构	28
2.1.4 土质边坡岩土体结构	32
2.2 边坡病害类型及破坏模式.....	35
2.2.1 边坡病害的分类	35
2.2.2 崩塌及其破坏模式	37
2.2.3 滑坡及其破坏模式	40
2.2.4 错落及其破坏模式	59
2.2.5 坍塌及其破坏模式	63
2.3 边坡病害治理工程措施.....	64
2.3.1 分类	64
2.3.2 我国边坡病害治理工程的发展	69
2.3.3 边坡病害治理工程措施的应用	70
第 3 章 边坡病害治理工程效果评价方法和标准	95
3.1 边坡病害治理工程措施工程效果评价标准	95
3.1.1 边坡病害体治理稳定性分级标准	95
3.1.2 治理工程适宜性分级标准.....	96
3.1.3 治理工程措施技术状况(缺损状况)评价标准	98
3.1.4 治理工程措施局部工作状态分级标准	100
3.1.5 治理工程措施整体安全状态分级标准	100
3.1.6 交通管制和群众安全管制分级标准	100

3.1.7	治理工程危险状况预警分级标准	101
3.1.8	治理工程结构病害应对措施分级标准	102
3.2	预应力锚索框架的工程效果评价方法	102
3.2.1	预应力锚索框架结构病害	102
3.2.2	技术状况评价	109
3.2.3	适宜性评价	111
3.2.4	局部工作状态评价	113
3.2.5	整体作用安全状况评价	116
3.2.6	宏观变形迹象评价法	119
3.2.7	可靠性分析	119
3.2.8	工程效果评价流程	120
3.3	预应力锚索抗滑桩的工程效果评价方法	122
3.3.1	预应力锚索抗滑桩结构病害	122
3.3.2	技术状况评价	124
3.3.3	适宜性评价	126
3.3.4	局部工作状态评价	128
3.3.5	整体作用安全状况评价	130
3.3.6	宏观变形迹象评价法	131
3.3.7	可靠性分析	132
3.3.8	工程效果评价工作流程	133
3.4	锚杆框架的工程效果评价方法	135
3.4.1	锚杆框架结构病害	135
3.4.2	技术状况评价	136
3.4.3	适宜性评价	138
3.4.4	局部工作状态评价	139
3.4.5	整体作用安全状况评价	140
3.4.6	宏观变形迹象评价法	141
3.4.7	可靠性分析	142
3.4.8	锚杆框架工程效果评价工作流程	142
3.5	抗滑桩的工程效果评价方法	144
3.5.1	抗滑桩结构病害	144
3.5.2	技术状况评价	144
3.5.3	适宜性评价	146
3.5.4	局部工作状态评价	147
3.5.5	整体作用安全状况评价	147

3.5.6 宏观变形迹象评价法	148
3.5.7 可靠性分析	149
3.5.8 工程效果评价工作流程	150
3.6 抗滑挡墙的工程效果评价方法	150
3.6.1 抗滑挡墙结构病害	150
3.6.2 技术状况评价	152
3.6.3 适宜性评价	154
3.6.4 工程效果评价	155
3.6.5 宏观变形迹象评价法	159
3.6.6 可靠性分析	160
3.6.7 工程效果评价工作流程	161
3.7 注浆类加固工程措施效果评价	161
3.8 边坡病害治理工点工程效果评价步骤和方法	167
第4章 边坡病害治理工程维修加固措施	168
4.1 预应力锚索框架维修加固措施	168
4.1.1 预应力锚索维修加固措施	168
4.1.2 框架维修加固措施	170
4.1.3 边坡地基加固措施	172
4.1.4 框架悬空加固措施	173
4.1.5 坡面防护加固措施	173
4.1.6 预应力锚索框架的整体加固措施	173
4.2 预应力锚索抗滑桩维修加固措施	173
4.2.1 预应力锚索维修加固措施	173
4.2.2 抗滑桩的维修加固措施	176
4.2.3 结构减荷加固措施	176
4.2.4 桩顶位移超限加固措施	177
4.2.5 桩的侧向承载力不足的加固措施	178
4.2.6 滑坡越顶破坏的加固措施	178
4.2.7 土拱效应失效的加固措施	180
4.2.8 预应力锚索抗滑桩的整体加固措施	181
4.3 锚杆框架维修加固措施	181
4.3.1 锚杆缺损的维修加固措施	181
4.3.2 其他病害的整治措施	183
4.3.3 锚杆框架的整体加固措施	184

4.4	抗滑桩维修加固措施	184
4.4.1	抗滑桩的维修加固措施	184
4.4.2	结构减荷加固措施	185
4.4.3	桩顶位移超限加固措施	186
4.4.4	桩的侧向承载力不足的加固措施	187
4.4.5	越顶破坏及土拱效应失效的维修加固措施	188
4.4.6	抗滑桩的整体加固措施	188
4.5	抗滑挡墙维修加固措施	189
4.5.1	基础滑动破坏的加固措施	189
4.5.2	墙体倾覆破坏的维修加固措施	191
4.5.3	基础不均匀沉降的加固措施	191
4.5.4	墙体强度不足的加固措施	192
4.5.5	沿软弱层滑动的维修加固措施	193
4.5.6	墙顶位移超限加固措施	193
第5章	边坡病害治理工程效果评价及维修加固应用实例	194
5.1	梅河高速公路 K111+286~+433 段右侧边坡预应力锚索框架加固工程效果评价	194
5.1.1	工程地质条件	194
5.1.2	边坡变形破坏过程	196
5.1.3	工程效果评价	206
5.1.4	应对措施	214
5.2	水麻高速公路豆沙关立交 AK0+066~+275.5 段右侧边坡预应力锚索抗滑桩支挡工程效果评价	219
5.2.1	工程地质条件	219
5.2.2	边坡变形破坏过程	221
5.2.3	工程效果评价	227
5.2.4	应对措施	230
5.3	梅河高速公路 LK27+286.54~+395 段左侧路堤边坡抗滑挡墙支挡工程效果评价	233
5.3.1	工程地质条件	233
5.3.2	边坡变形破坏过程	234
5.3.3	工程效果评价	238
5.3.4	应对措施	241
5.4	京珠高速公路 K108+211~+466 段左侧滑坡治理抗滑桩等工程效果评价	244

5.4.1	工程地质条件	244
5.4.2	边坡变形破坏过程及原因分析	251
5.4.3	最终治理措施	266
5.4.4	工程效果评价	267
第 6 章	边坡病害治理工程监控评价管理系统	273
6.1	概述	273
6.2	基于 GIS 平台的数据库建设	275
6.2.1	多元信息数据库构成	275
6.2.2	边坡基本信息数据库	276
6.2.3	边坡调查信息数据库	278
6.2.4	监测数据库	278
6.3	动态监测监控系统	281
6.3.1	系统总体结构	281
6.3.2	数据采集与传输系统	282
6.3.3	数据接收系统	285
6.3.4	中央监控系统	287
6.4	评价决策功能系统	290
6.4.1	查询统计功能	290
6.4.2	评价决策系统	306
6.5	系统维护和管理	310
6.6	系统使用说明	313
6.6.1	系统启动	313
6.6.2	系统主界面	313
参考文献		325

第 1 章 绪 论

1.1 我国边坡病害状况

自然斜坡和人工边坡统称为边坡。边坡病害是一定范围的边坡地质体在众多因素的作用下,变形、破坏、运动而给人类生存环境造成危害和给生命财产造成损失的地质现象。在我国,边坡病害是一种极其严重的地质灾害,在自然营力的作用下发生十分频繁。1982年7月18日发生在四川省云阳县的鸡扒子滑坡,滑坡体积 $1300 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 滑入长江,造成急流险滩,治理费 8500 万元。1983年3月7日发生在甘肃省东乡县洒勒山滑坡,滑坡体积 $5000 \times 10^4 \text{ m}^3$,摧毁 4 个村庄,227 人死亡。1985年6月12日发生在湖北省秭归县新滩滑坡,滑坡体积 $3000 \times 10^4 \text{ m}^3$,摧毁新滩镇,侵占长江河道的 $1/3$,因提前预报而无人员伤亡。1991年9月23日发生在昭通市的头寨沟滑坡,滑坡体积 $1800 \times 10^4 \text{ m}^3$,造成 216 人死亡,摧毁 202 间房屋,损失 300 头牲畜,覆盖 300 亩农田。1995年1月30日发生在甘肃省永靖县黄茨滑坡,滑坡体积 $600 \times 10^4 \text{ m}^3$,摧毁 71 户农房,因提前预报而无人员伤亡。2003年7月13日发生在湖北省秭归县千将坪滑坡,滑坡体积 $2400 \times 10^4 \text{ m}^3$,滑坡体突然下滑堵塞了青干河,形成了 300m 的滑坡坝,掀起了 20 余米高的涌浪,打翻船只 20 余艘,致使 24 人死亡、19 人受伤。诸如此类边坡灾害的发生,不仅关系到人们生命安全和财产损失,而且伴随着巨大的社会影响。

我国山地、高原、丘陵面积约占国土面积的 70%,工程建设不得不向山区发展,在交通、矿山、水利水电建设中都遇到了极其严重的边坡灾害问题,经验和教训深刻。20 世纪 50 年代,国家物流急需铁路大干快上,宝成(宝鸡—成都)铁路、陇海铁路宝天(宝鸡—天水)段、鹰厦(鹰潭—厦门)铁路等山区铁路相继开工建设,由于经验不足、技术薄弱等原因导致在铁路建设中发生众多边坡病害,包括边坡失稳和古滑坡复活,影响久远。例如,宝成铁路全长 669km,沿线发生比较严重的边坡病害共 447 处,个别高边坡病害历经三十多年才得到根治,还有相当一部分边坡仍潜伏较大灾害。在修建宝成铁路时,由于缺乏对滑坡的认识,北段宝鸡—略阳段 12 个车站设置在古老滑坡体的前缘地带,因施工过程中引起的滑坡复活而增建了许多大型整治工程。南段略阳—广元段,由于高切坡引起了大量的崩塌体和坍塌体,也增加了大量的工程措施。60 年代修建成昆(成都—昆明)铁路时,在充分吸取宝成铁路边坡病害治理经验的基础上,对一些大型的难以治理的不良地质体,大多采用从

线路上绕避的方案。虽然如此,该路线通过滑坡地段仍有 103 处,治理滑坡耗资巨大。90 年代修建南昆(南宁—昆明)铁路时,高边坡在数量和规模上都显著降低,其中地形最复杂的一段(百色—板桃)全长 125.3km,分布高于 30m 的边坡 30 处,最高达 50m,对边坡的治理投资较大,仅南昆线八渡车站滑坡治理费用就达 8500 万元。

20 世纪 90 年代中后期,我国山区高速公路建设飞速发展,公路建设中的高边坡工程数量之多、规模之大、类型之复杂、工程之艰巨,举世瞩目。京珠(北京—珠海)高速公路粤境北段(小塘—甘塘段)全长 109km,分布高于 30m 的边坡和工程地质条件差的边坡共 85 个,最高 90 多米,其中岩性较差和不稳定的有 48 处。重庆万梁(万州—梁平)高速公路全长 67km,施工期间发生了 80 多处边坡病害,主要病害为大型堆积层滑坡、岩石顺层滑坡和路基填方滑坡。在诸多高速公路中,云南元磨(元江—磨黑)高速公路的边坡病害可以说创我国公路建设之最。该线全长 147km,分布高于 30m 的边坡 371 处,高于 50m 的边坡 232 处,高于 100m 的边坡 49 处,最高边坡达 197m,施工期间发生边坡病害 182 处。这些边坡病害不仅增大了建设难度,而且增加了建设投资。据统计,类似上述条件下的高速公路边坡病害治理的费用占公路建设总投资的 6%~12%,所占比重十分可观。

在水利水电工程建设和运营中,边坡病害是重要的危险因素,严重威胁水利水电枢纽安全,若防范不当可能造成人民生命财产的更大损失。南盘江天生桥二级水电站厂房高边坡,西坡和南坡属典型层状高边坡,厂房开挖施工过程中出现顺层错位和倾倒破坏,进行了排水、喷锚和贴坡墙处理;下山包古滑坡体在厂房开挖切脚后出现了大面积滑坡,采用减载、地下排水洞、抗滑桩、预应力锚杆、预应力锚索、钢筋桩、钢筋混凝土框架护坡等综合措施进行了治理。澜沧江漫湾水电站左岸坝肩高边坡,虽然采用了水平抗剪洞加固了边坡,但在顺坡节理发育密集的流纹岩土体中开挖边坡,高度达 106m 时发生沿节理面的塌滑,塌滑体 $10.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,滑坡历时 17s;采用了削坡减载、加设抗滑桩和锚固硐、预应力锚索、坡面挂网喷混凝土保护、表层和深层排水、观测等综合措施,治理塌滑耗资 1.2 亿元,延误工期 1 年以上,间接损失超过 10 亿。黄河小浪底水利枢纽进出口高边坡,在近水平砂岩层面发育和两组密集节理的地质条件下建成高 126m 的基本直立的进水口边坡。出口消力塘边坡砂岩层面以 $17^\circ \sim 23^\circ$ 倾向下游,夹泥最大厚度达 5cm,施工期坡内外水位差 35m,边坡稳定条件差;边坡内穿越的大直径隧洞达 15 个之多,采用了排水、双层保护无黏结预应力锚索和抗滑桩有效加固边坡,保证了边坡在施工和运营期间的安全。长江三峡水利枢纽船闸高边坡,船闸开挖土石方近 $4000 \times 10^4 \text{ m}^3$,形成高 170m、长 1607m 的高边坡;五级船闸闸室处于深切 68m 的直立坡之间,建成后边墙门槽段位移应小于 5mm,需要特别重视处理因开挖卸荷引起的边坡变形问题。边坡岩体中存在两组缓倾角节理,构成 1000 余个不稳定楔体,需逐个分析和

加固处理。设置了7层排水洞和4000多根预应力锚索构成的主要加固系统工程,建立了完整、系统的安全监测系统,揭示了边坡的变形稳定安全状态。乌江供家渡水电站左坝肩及进出口高边坡,左坝肩在石灰岩地区成功开挖了高达310m的近直立岩质边坡,采用主动预应力锚固和系统锚杆措施,保证了高陡边坡的稳定。左岸布置了枢纽工程的所有泄水、引水建筑物进口,该区发育有夹泥层的石灰岩地层,对边坡稳定极为不利,采用了巨型抗滑桩和一系列预应力锚索进行处理,保证了左岸山体边坡稳定。红水河龙滩水电站左岸坝肩高边坡,在反倾向砂岩地层中建成长约400m、高达435m的边坡,为解决边坡开挖中发生倾倒塌的危险性,开展了一系列的离心试验研究;为保证边坡的稳定采用了预应力锚索和排水措施。澜沧江小湾水电站左岸堆积体高边坡,在堆积体中从高程1645m下挖至1244m时,开挖坡面出现了蠕滑变形和裂缝,变形和裂缝持续扩展,边坡处于危急状态。为此采用了跟管钻进预应力锚索进行加固处理,遏制了边坡的变形速率,为布置进一步的抢险加固措施争取了时间。在高程1244m的马道上,修建了14根大型悬臂式抗滑桩,边坡稳定条件大为改善,坡面变形基本得到控制。在下伏基岩处,分5层布置了水平排水洞,进一步改善边坡岩体稳定条件,提高了抗滑稳定安全性。雅砻江锦屏一级水电站左岸坝肩高边坡,边坡从2110m高程开始以 $1:0.5 \sim 1:0.3$ 的坡度下切,直至1580m高程,形成一个高达530m的陡边坡,其稳定性面临前所未有的挑战;边坡岩体由大理岩和砂板岩组成,力学性能相对较弱,岩层走向与边坡走向基本一致,倾向相反,岩体中发育一组顺坡向的节理,并有煌斑岩、断层通过,采用了预应力锚索和抗剪洞等工程措施确保了边坡安全。

露天矿开发是中国矿业工业的重要发展战略,这使中国的露天矿规模得到了迅速的扩展。由于矿山工程边坡高度和边坡角度的不断加大,使边坡失稳破坏现象日趋严重。边坡病害频繁发生,不仅影响了矿山的正常生产,致使国家的经济财产蒙受巨大损失,而且对作业人员的生命安全也构成了严重的威胁。内蒙古平庄西露天煤矿,局部最终边坡最大高度达到358m(+714~+356),于1958年8月开工建设,1965年末移交生产,自建矿以来发生了有记载的大小滑坡60余次,其中近期的20次大型滑坡严重影响了矿山正常安全生产。抚顺西露天煤矿,是一个有百年开采历史的老矿,矿场长6000m,宽3000m,坡高450m,其最终设计深度达400m左右。1987年4月26日~5月8日在北帮E800区域连续发生滑坡,地表发生剧烈变形,临近炼油厂区的地表发生烟囱向相反方向倾斜的奇异变形现象,严重影响到矿山自身和地面工厂及建筑设施的安全。湖北省宜昌市远安县盐池河磷矿,1980年6月3日凌晨发生了岩崩,崩塌体 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,崩塌堆积层的厚度平均约20m,最大40m,崩塌物块体最大约 1000 m^3 ,重约2700t。堆积物摧毁及埋没该矿整个工业场区及民用建筑场,死亡284人,经济损失2500万元。韩城电厂滑坡,滑体及阶地基座为二叠系砂泥岩互层,下伏石炭系砂岩、砂质泥岩和煤层,岩层向