

| 贵州省交通建设系列科技专著 |

贵州山区高速公路 典型边坡防治与监测技术

CONTROL AND MONITORING MANAGEMENT TECHNOLOGY FOR THE TYPICAL
SLOPES IN THE MOUNTAIN-AREA FREEWAY OF GUIZHOU

贵州省交通运输厅 组织编写

罗 强 龙万学 何文勇 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

贵州省交通建设系列科技专著

贵州山区高速公路 典型边坡防治与监测技术

贵州省交通运输厅 组织编写
罗 强 龙万学 何文勇 编 著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为“贵州省交通建设系列科技专著”中的一本。本书是贵州省交通运输系统中从事高速公路边坡工程的研究集体,在以往多年完成国家级、省部级科研项目和重大边坡工程治理实际任务的实践过程中,对高速公路边坡新理论、新技术和科研经验的系统总结。主要内容包括:贵州省高速公路的发展现状和存在问题,贵州省区域地质灾害危险性区划,贵州省山区高速公路典型边坡工程勘察与稳定性评价,贵州省山区高速公路边坡加固与防护技术、监测与预警预报技术和高速公路边坡管理系统,贵州省高速公路典型玄武岩风化岩质边坡、浅变质岩风化岩质边坡、喀斯特地貌风化岩质边坡、煤系地层边坡、复杂堆积体边坡、软硬岩互层岩质边坡处理工程实践,大型滑坡组合抗滑桩整治工程实践。

本书可作为从事边坡工程与滑坡治理工程相关教学、科研、勘察、设计、施工及监测等工作的科技人员及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

贵州山区高速公路典型边坡防治与监测技术 / 罗强, 龙万学, 何文勇编著; 贵州省交通运输厅组织编写. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015. 11

(贵州省交通建设系列科技专著)

ISBN 978-7-114-12576-8

I. ①贵… II. ①罗… ②龙… ③何… ④贵… III. ①山区—高速公路—边坡防护—贵州省②山区—高速公路—边坡—监测—贵州省 IV. ①U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 255391 号

贵州省交通建设系列科技专著

书 名: 贵州山区高速公路典型边坡防治与监测技术

著 作 者: 罗 强 龙万学 何文勇

责任编辑: 周 宇 牛家鸣

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 23.5

字 数: 540 千

版 次: 2015 年 11 月 第 1 版

印 次: 2015 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12576-8

定 价: 85.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

贵州省交通建设系列科技专著

编审委员会

主 任：王秉清 陈志刚

副主任：罗 强 潘 海

委 员：康厚荣 熊 文 龙平江 刘 彤 赵 伟

冯 伟 任 仁 杨贵平 张 胤 徐仕江

章友竞 刘金坤 许湘华 张 林 梅世龙

粟周瑜 丁志勇 李黔刚 母进伟 何志军

龙万学 邓卫东 杨建国 李华国 胡江碧

吴春颖 王丽铮 彭运动 郭忠印 彭元诚

刘学增 吴立坚 马旭东

总 主 编：罗 强

副总主编：康厚荣

总序

Preface

古往今来,独特的地形地貌赋予贵州重峦叠嶂山高谷深的隽秀之美,但山阻水隔也桎梏着贵州经济社会发展的步伐。打破交通运输瓶颈,建设内捷外畅的现代综合交通运输体系,与全国同步迈向小康,一直是贵州人的夙愿。

改革开放特别是进入“十二五”以来,党中央、国务院及交通运输部等国家部委高度重视贵州经济社会发展。2012年年初,国务院出台支持贵州发展的国发2号文件,将贵州省经济社会发展的战略规划上升到国家层面。贵州省委、省政府立足当前、着眼长远,提出坚持把交通作为优先发展的重大战略,举全省之力加快交通基础设施建设。2012年以来,贵州省先后启动了高速公路建设、水运建设三年会战,普通国省干线公路建设攻坚,“四在农家·美丽乡村”小康路行动计划,“多彩贵州·最美高速”和“多彩贵州·平安高速”创建等一系列行动,志在“十二五”末,通过交通大建设一举打破大山的束缚,畅通经济发展的交通网络。

广大交通建设者紧紧抓住发展的历史机遇,凝心聚智,在广袤的黔山秀水之间,用光阴和汗水构筑贵州面向未来的交通新格局。“十二五”期间,全省交通基础设施建设将完成投资4500亿元,新建成高速公路3600公里,高速公路通车总里程将突破5100公里,全省88个县(市、区)将全部通高速公路。乌江、赤水河建成四级航道700公里,改写了贵州无高等级航道的历史。建成构皮滩水电站翻坝枢纽工程,实现乌江航道全线通航。曾经的黔道天堑正变成康庄大道,一张以高速公路为骨架、国省干线公路为支撑、县乡公路为脉络、小康路为基础的四级公路路网正在形成,“扬帆赴江海”指日可待。

围绕贵州交通发展中出现的科技需求,贵州省交通运输厅组织开展了一批省部级重大科研项目攻关,重点突破一批关键、共性技术难题,在支撑工程建设、引领行业创新发展方面成效显著。在山区复杂条件下大型桥梁建设技术方面,形成了千米级悬索桥、高墩大跨刚构桥和钢管混凝土拱桥等设计施工成套技术,有力支撑了坝陵河大桥、清水河大桥、鸭池河大桥、赫章大桥、木蓬大桥等一批世界级桥梁建设工程,实现了我省桥梁建设技术的大跨越;针对西部山区复杂地质地形条件,从勘察设计、建设施工、养护管理和生态环保等方面系统开展基础研究和

技术开发,形成一批山区高速公路修筑技术,其成果居国内先进水平,有力支撑了复杂山区环境下高速公路项目建设;在山区航道整治、船型标准、通航枢纽建设等方面取得的创新性成果,促进了贵州航运工程的发展;完成了“贵州乌蒙山区毕都高速公路安全保障科技示范工程”等交通运输部科技示范项目,有力推动了交通科技成果推广应用;以“互联网+便捷交通”推进智慧交通建设,率先开展智能交通云的建设和应用。交通运输科技成果连续3年获得贵州省科技进步和成果推广一等奖。

为展现在公路、水路和交通安全、信息化建设等方面取得的技术成就,促进技术交流,加大推广应用,贵州省交通运输厅组织编写了“贵州省交通建设系列科技专著”。这套科技专著的出版,对传承科技创新文化,提升交通科技水平,深入实施科技兴省战略,促进贵州经济社会快速发展,意义重大、影响深远。

交通成就千秋梦,东西南北贯黔中。编撰这套系列科技专著,付出的是艰辛、凝结的是智慧、反映的是成绩,折射了交通改变地理劣势、奋斗推动跨越的创新精神,存史价值较高,是一笔当代贵州的可贵财富。

王清

2015年10月

前言

Foreword

随着我国高速公路边坡工程技术的快速发展及水平的不断进步,高边坡的运用越来越多,边坡问题越发重要。边坡失稳不仅会引起公路寿命缩短,维修费用增加,有时还会导致重大的交通事故,造成巨大的经济损失。因此,边坡问题逐渐成为交通发展掣肘之一,已引起各级领导和工程技术界的广泛关注和高度重视。

针对以上问题,高速公路边坡工程技术应运而生。当然,任何技术的出现,必然建立在成熟的理论之上。边坡工程研究的理论需要多种学科的相互结合、相互渗透,包括工程数学、工程力学、工程地质学、岩土力学以及大量的关于边坡研究的著作、论文和专利。同时,随着计算机技术的高度发展,本构模型的不断完善,计算机仿真技术、边坡整体模拟的成熟,对边坡稳定性进行定量分析成为可能。作者从事边坡研究和工程治理实践多年,在边坡破坏机理、边坡分析方法、复杂条件下边坡稳定性分析以及边坡加固等方面取得了丰硕的研究成果。此外,作者主持参加了多项贵州省高速公路边坡科研项目,从中积累了丰富的实践经验。本书基于以上条件以及作者在贵州省山区高速公路边坡工程技术方面的研究心得,顺应这一形势和要求而编写。

本书的取材源于贵州省交通运输系统多年科研经验的总结、高速公路边坡技术的革新及高速公路边坡理论的创新等。此外,本书筛选了典型的工程实例进行分析与总结,同时,对不同实例中的不同问题及其相应工程技术的应用做了详细的解释与说明。全书共14章,第1章绪论主要从总体上概括贵州省高速公路边坡的发展现状和出现的主要问题,以及如何来评价高速公路边坡的安全,提出了相应防治与监管的方法、手段。第2章论述与高速公路边坡病害紧密关联的区域地质灾害危险性区划。第3章阐述了高速公路边坡勘察手段组合及其安全评价方法。第4~6章着重叙述了在贵州省高速公路边坡工程中常用的技术,包括边坡加固与防护技术、监测与预警预报技术和高速公路边坡管理系统。其中边坡加固与防护技术主要是防排水工程技术、支挡工程技术、加固新材料新方法及其综合防护技术的运用;监测与预警预报技术是通过一些新的监测设备、监测手段来达到监测层面的技术革新;高速公路边坡管理系统,基于防护层面和监测层面的技术,通过管理系统的有效运用,使得这两部分能够高效、有序地达到预定的要求。第7~13章围绕贵州省高速公路出现的典型特性的边坡病害与复杂边坡的整治实践(包括玄武岩风化岩质边坡、浅变质岩风化岩质边坡、喀斯特地貌风化岩质边坡、煤系地层边坡、采空区边坡、复杂堆积体边坡、软硬岩互层岩质边坡、大型滑坡组合抗滑桩整治实

践等),主要为体现出贵州省的区域特性,其主要内容涉及依托工点的区域地质及水文环境、工程地质特征、变形破坏机理与稳定性研究、工程方案与工程设计、施工反馈与设计调整、工程治理效果6个方面。全书主要通过边坡处治的实践总结,以达到个性化问题统一为共性化技术的有效解决,能够有效地抓住高速公路边坡工程技术的核心内容。

本书由罗强组织撰写,具体分工为,第1章、第4章由罗强完成;第2章由龙万学完成;第3章、第12章由何文勇、李东完成;第5章由何文勇、李春峰、罗勇完成;第6章由罗强、康厚荣、廖斌完成;第7章由漆贵荣、乔东华完成;第8章由许湘华、刘扬、张位华完成;第9章由康厚荣、何文勇完成;第10章由龙万学、刘志勇完成;第11章由肖涛、唐军、魏小楠完成;第13章由龙万学、曾耀完成。

本书在编写过程中得到了贵州省交通运输厅的关心与支持,中南大学等单位对本专著也提供了大量帮助,同时,书中广泛引用了国内外同行的诸多研究成果,作者在此一并表示衷心感谢!

鉴于贵州省高速公路系统复杂边坡(滑坡)治理工程技术日新月异的发展,同时限于作者的水平 and 经验,书中难免有不当之处,恳请同行专家与读者批评指正。

作者

2015年6月

目 录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 贵州省山区高速公路边坡的发展	1
1.2 贵州省高速公路边坡地质背景与病害特征	2
1.3 贵州省山区高速公路典型边坡防治与监测技术	5
本章参考文献	7
第 2 章 贵州省区域地质灾害危险性区划	10
2.1 地质灾害危险性区划与预测	10
2.2 贵州省地质灾害危险性分区工作流程	14
2.3 贵州省地质灾害危险性区划指标体系	15
2.4 地质灾害危险性区划数学模型的建立	21
2.5 地质灾害危险性分区标准	23
2.6 地质灾害危险性分区模型计算结果评价	24
2.7 地质灾害危险性分区地质类比分析结果	24
2.8 地质灾害危险性分区综合分析结果	25
2.9 地质灾害危险性分区结果检验与可靠度分析	26
本章参考文献	28
第 3 章 贵州省山区高速公路典型边坡工程勘察与稳定性评价	29
3.1 山区高速公路边坡勘察技术	29
3.2 山区高速公路边坡分阶段勘察技术	55
3.3 贵州省山区高速公路工程边坡安全评价	60
本章参考文献	74
第 4 章 贵州省山区高速公路边坡加固与防护技术	76
4.1 公路边坡加固与防护	76
4.2 贵州省山区高速公路地质灾害处治措施	81
4.3 支挡结构物的荷载与内力计算	89
本章参考文献	100

第 5 章 高速公路工程边坡监测与预警预报技术..... 102

5.1 概述 102

5.2 高速公路工程边坡监测的基本手段与方法 103

5.3 边坡自动化监测系统 115

5.4 边坡监控的全自动测量机器人 120

5.5 边坡安全监测的光纤测试技术 123

本章参考文献..... 131

第 6 章 贵州省高速公路边坡管理系统..... 133

6.1 高速公路智能交通的发展及边坡智能管理的需求 133

6.2 贵州省高速公路边坡管理系统功能及构架 133

6.3 贵州省高速公路边坡管理系统数据分类及分级 135

6.4 贵州省高速公路边坡管理系统数据分析 136

6.5 贵州省高速公路边坡管理系统应用与评定 142

本章参考文献..... 143

第 7 章 玄武岩风化岩质边坡处理工程实践..... 144

7.1 贵州省玄武岩地区分布与地质简介 144

7.2 贵州省玄武岩公路地质灾害易发性评价 147

7.3 玄武岩残积土坡体结构类型与边坡破坏模式 153

7.4 玄武岩残积土致灾机理 157

7.5 毕威高速公路 K86+680~K86+980 滑坡加固处置实例 161

7.6 镇胜高速公路 K183+700~K183+880 边坡滑坡处置实例 167

本章参考文献..... 170

第 8 章 浅变质岩风化层边坡处理工程实践..... 175

8.1 贵州省浅变质岩区域工程特性 175

8.2 浅变质岩风化层边坡特点与边坡变形破坏模式 176

8.3 影响浅变质岩风化层边坡稳定性的主要因素 190

8.4 浅变质岩风化层边坡的防治原则与防治对策 195

8.5 王家寨浅变质岩典型滑坡稳定性分析 196

本章参考文献..... 208

第 9 章 喀斯特地貌风化岩质边坡处理工程实践..... 212

9.1 贵州省喀斯特地貌特征概述 212

9.2 喀斯特环境对岩体强度的影响 215

9.3 喀斯特地貌风化岩质边坡破坏机理 216

9.4 毕威高速公路 K93 岩质边坡处理工程实践 217

本章参考文献..... 239

第 10 章 煤系地层边坡处理工程实践 241

10.1 贵州省煤系地层边坡特性分析..... 241

10.2 煤系地层路基边坡软化破坏机理研究..... 242

10.3 晴兴高速公路煤系地层路基边坡稳定性评价研究..... 249

10.4 煤系地层路基边坡防护与加固设计方法研究..... 259

10.5 晴兴高速公路边坡煤系地层路基边坡整治实践..... 265

本章参考文献..... 281

第 11 章 贵州省山区复杂堆积体处理工程实践 283

11.1 贵州省山区堆积体研究概述..... 283

11.2 堆积体地质特征与成因机制分析..... 284

11.3 堆积体边坡开挖变形机理及流固耦合分析..... 292

11.4 毕威高速公路堆积体边坡工程治理实例..... 298

本章参考文献..... 312

第 12 章 贵州省软硬岩互层岩质边坡处理工程实践 315

12.1 贵州省山区典型软硬岩互层岩质类型与特性..... 315

12.2 软硬岩互层式岩层边坡稳定性影响因素与破坏机理..... 317

12.3 软硬岩互层式岩层边坡稳定性评价方法与实例..... 319

12.4 都新公路改扩建 DK230~DK231 边坡治理工程实践 323

本章参考文献..... 334

第 13 章 贵州省大型滑坡组合抗滑桩整治工程实践 336

13.1 贵州省大型滑坡组合抗滑桩整治概述..... 336

13.2 抗滑桩设计计算理论..... 338

13.3 贵州省晴兴线 K19 路基滑坡工程组合抗滑桩整治实践 342

13.4 都新公路里旺滑坡组合抗滑桩整治实践..... 346

本章参考文献..... 359

索引..... 361

第1章

绪 论

1.1 贵州省山区高速公路边坡的发展

2009年2月,“贵州省高速公路网规划”获贵州省政府批准。根据规划,贵州省高速公路网规划布局为“6横7纵8联”以及4个城市环线,简称“678”网,总规划里程6851km,到2020年前将基本形成全省高速公路网框架,实现与邻省间至少有一条高速公路通道、省会贵阳与市州所在地及相邻市州地之间有高速公路连接、县县通高速公路等目标。贵州省高速公路网中,国家高速公路2251km,省高速公路4600km,分别占高速公路总规模的32.9%和67.1%。

贵州省境内沟谷纵横,地形陡峻,地质条件十分复杂。存在各种不良地质现象及多种地质作用形成的软弱结构面和岩土组合类型,坡面岩体破碎,加上雨水丰富,使得滑坡地质灾害频繁发生,是我国地质灾害最为严重的地区之一。随着贵州省高速公路建设的发展,穿越山区时极易遇到大量深挖或高填路基、边坡,边坡失稳引起的滑坡、变形等地质灾害问题日益突出,边坡工程也逐渐成为影响贵州省高速公路建设投资和工期的关键工程。

据统计,从贵州省1986年开始建设第一条高速公路至2014年底,贵州省高速公路通车里程4000km、在建高速公路2100km。贵州省区域性地质特点明显,在环境脆弱的不良地质区段修建高速公路,极易产生大量滑坡、高边坡病害。如贵州三(穗)—凯(里)高速公路,全长88.2km,边坡405处,高边坡占比例47%(190/450)。全线70%以上的高边坡在施工或施工完毕后均出现了变形或破坏,用于边坡治理的费用高达数十亿元。

如何正确评估和有效治理贵州省山区高速公路边坡病害,已经引起各级行业人员的高度重视。针对贵州省高速公路地质区域特点多样的滑坡、高边坡变形病害实际,省、市各级部门设立了多个研究项目,开展了大量研究工作,取得了一系列重要的研究成果,为贵州省高速公路滑坡、高边坡有效治理提供了重要参考。另外,高速公路建设和运营主管部门,特别重视山区高速公路的地质勘察与设计工作,在高速公路可行性研究阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段和施工阶段,均根据不同设计阶段的要求进行了细致、有效地调查、勘察、评估和加固设计工作,为正确评估和有效治理贵州省山区高速公路边坡病害提供了依据,进而大大减少了滑坡、高边坡的整治费用。如对于贵州凯里—麻江高速公路鹅山冲高边坡,开展了现场调查、资料分析、勘察评估、设计比选、数值分析等一系列勘察设计工作,在高边坡勘察、设计、施工方法与工艺、信息化动态监测反馈、病害治理方面形成了一套有效的综合治理方案。这一综

合方案不仅有效加固了高达 157m 的全强风化岩高边坡,而且防止了水土流失,保护了环境。鹅山冲高边坡加固已完成多年,目前一直稳定,植被完好,从中积累的全强风化岩边坡加固模式具有非常典型的意义。这些工作紧密结合并直接应用于贵州省山区高速公路实际工作中,不仅在失稳、变形和破坏机理、工程措施设计理论和施工工艺措施方面积累了丰富素材,同时也确保了依托工程的有效、经济和环保的治理,值得在贵州省内和周边省区类似工程中推广应用。

1.2 贵州省高速公路边坡地质背景与病害特征

1.2.1 工程地质背景

1) 贵州省区域自然地理环境

(1) 地形地貌

贵州省地貌属于中国西南部高原山地,境内地势西高东低,自中部向北、东、南三面倾斜,平均海拔在 1 100m 左右。西部海拔 1 700m 以上,中部 1 000~1 300m,东部和南部一般为 400~800m,中间出现两级台阶和两级斜坡,河流多发源于西部和中部,并呈放射状顺地势向北、东、南三面分流。贵州省高原山地居多,素有“八山一水一分田”之说。全省地貌可概括为高原山地、丘陵和盆地三种基本类型,由西向东分别为黔西高原中山区~黔中高原丘原区~黔东中低山丘陵区,其中 92.5% 的面积为山地和丘陵。在西部、西北部和西南部,坡体被冲沟强烈切割,呈鼻梁状山包与凹槽相间地貌。山高水深,斜坡自然坡度多在 25° 以上,有些甚至超过 40° 和 60° 。在中部,山间出现不少盆地和谷地,成峰林洼地地貌,相对高差可达 300~500m,部分地区出现垅岗和夷平面,坡体形态上陡下缓,自然坡度也多在 25° 以上,少数缓倾角顺向坡则例外。在黔东,除同样存在谷地和盆地外,还出现较大面积的流水地貌,主要河谷阶地有 3~5 级,级差 1~5m。无论西部、中部和东部,坡体现阶段仍受到重力、流水、岩溶、挽近期构造等综合作用,加之人类的工程活动,坡体形态还在不断演变。

贵州省境内山脉众多,重峦叠峰,绵延纵横,山高谷深。岩溶地貌发育,分布范围广泛,形态类型齐全,地域分异明显,构成一种特殊的岩溶生态系统。

(2) 地层岩性

贵州省的地层发育齐全,从震旦系以来,仅缺失中白垩统。其中以二叠系和三叠系的地层分布最为广泛,其次为寒武系、奥陶系、泥盆系和石炭系以及中元古界的地层,其他地层均有零星分布。

岩性总体以沉积岩为主,沉积岩中以碳酸盐岩为主,碳酸盐岩与碎屑岩、黏土岩相间分布,结构面发育,且有软弱夹层。其中碳酸盐岩约占全省总面积的 70%。岩浆岩以玄武岩为主,约占全省面积的 7%,零星分布。变质岩为一套轻变质的砂岩、板岩、凝灰岩组成的复理石建造,约占全省面积的 11%。

(3) 地质构造

贵州省地处青藏高原东部,湘西山地丘陵西部。在构造体系上,位于南岭巨型复杂纬向构

造带之北、川滇径向构造带之东,位于我国东部与西部不同地质构造面貌的转折地带。贵州地壳历经武陵、学峰、加里东、华力西—印支和燕山—喜山 5 个构造阶段,在长期多次构造变动中,形成了研究区复杂而又颇具规律的构造形迹。区内褶皱、断裂发育,可划分为东西向构造、华夏系构造和新华夏系构造 3 个构造体系,主要的断裂可分为北东、北北东、北西、近东西向等多组分布。大断裂有 NE—SW 向的毕节遵义断裂带、贵阳黄平断裂带、镇远南丹断裂带、弥勒盘县断裂带及 NW—SE 向的紫云都安断裂带等,主要的活动构造带在威宁—赫章、关岭—晴隆一带。

(4) 水文气象

贵州省气候温暖湿润,大部分地区属热带和亚热带湿润季风气候区,第四纪出现过冰期和间冰期。近代气温变化小,冬暖夏凉,气候温和宜人。降水较多,雨季明显,阴天多,日照少。受季风影响,降水多集中于夏季。受大气环流及地形等影响,贵州气候呈多样性,“一山分四季,十里不同天”。另外,气候不稳定,灾害性天气种类较多,干旱、秋风、冰冻、冰雹等发生频度大,对农业生产危害严重。

贵州省境内有两大水系。全省水系顺地势由西部、中部向北东南三面分流。苗岭是长江和珠江两流域的分水岭,苗岭以北属长江流域,以南属珠江流域。总体上,贵州省河流密布,河道大多迂回曲折,河谷狭窄深切,河床高差大(下游可达 500~600m),且多瀑布、暗礁和险滩,水流湍急,雨季水位猛涨,流量猛增,常年平均水位变化幅度约 3~5m。全省河流为山区雨源型河流,数量较多。河流的山区性特征明显,大多数河流的上游河谷开阔,水流平缓,水量小;中游河谷束放相间,水流湍急;下游河谷深切狭窄,水量大,水力资源丰富。

在碳酸盐岩地区,地下水以各种类型的岩溶裂隙水为主,而砂页岩组成的斜坡中,则以上层滞水和潜水为主。

(5) 地震作用

贵州省区域范围内主体为扬子准地台,新构造属南华亚板块的滇黔块体,板块内部地壳应变不大,同时,本区地壳上地幔构造较简单,是一个稳定块体,地震活动水平低。其中贵州省地震烈度区划特点整体上具有“西高东低、黔西连片、黔东零星”的概貌特征,绝大部分区域小于Ⅶ度,其中地震烈度区划为Ⅵ度的地区包括金沙、印江、黎平、石阡;烈度最高的为望谟县,地震烈度为Ⅶ度。黔西富源县、宣威县、会泽市、鲁甸县、昭通县、彝良县与云南接壤的滇东地震烈度不小于Ⅶ度。故在此区域出现的滑坡或高边坡变形病害需考虑可能的地震影响。

(6) 人类工程活动

贵州省人类工程活动主要表现在各类基础设计建设工程的兴建,以及为相应建设工程提供石材的规模化采石场,煤系地层中有采煤作业区。

2) 地质灾害危险性分区指标体系

通过工程地质类比分析,并结合贵州省自然地理特征,可以得到贵州省区域地质灾害危险性评价如地形地貌、易滑岩组、地质构造复杂程度、年平均降雨量及与之对应的高速公路边坡灾害分布密度的指标体系分区。具体内容将在 2.3 节中讲述。

1.2.2 贵州省高速公路边坡病害的基本特征

贵州省地处云贵高原,境内山脉众多,重峦叠峰,绵延纵横,复杂的地质地貌条件给公路建

设造成很大困难,对工程投资、施工工期以及施工安全造成了较大影响。以往,贵州省修建公路等级较低,公路选线灵活性大且工程规模小,深挖高填较少,公路边坡失稳与滑坡灾害少见,因而边坡的防护与加固问题常常被忽视。自 20 世纪 90 年代以来,贵州省高速公路建设走向了新的发展阶段,不断向丘陵、山区延伸,跨越不同的地质地貌,由于地形条件所限以及路线受技术指标控制,不可避免地出现了大量的深挖路堑,边坡稳定问题日渐突出。同时,由于人为对坡体的破坏,加之对山体的稳定性、边坡破坏与防护治理重视、认识不够,导致了許多边坡工程在施工期间或工后滑塌破坏,既增加了工程投资、延误了工期,又带来交通阻塞或中断,影响运营效益。贵州省高速公路的修建在施工和使用期间都发生过不少滑坡事故,自然边坡的破坏有时也会造成重大损失。

从贵州省已建成的高速公路(如贵阳—新寨公路、凯里—麻江高速公路、三穗—凯里高速公路、崇溪河—遵义高速公路)的统计数据来看,大量的工程变更来源于风化岩的路基、边坡,产生的工程变更费用较高。

根据贵州省山区公路滑坡和危险斜坡典型事例的统计分析,贵州省公路边坡地质灾害发生的主要特点为:①地质灾害点多面广、频率高、危害性大;②灾害类型相对较单一,主要是滑坡、危险斜坡等,发生时间相对较集中;③暴雨、特大暴雨是导致灾害发生的主要天然诱因;④修建公路活动中违背自然规律是导致灾害发生的人为诱因。总结山区边坡滑坡地质灾害的基本特征如下:

1) 滑坡的发育特征

滑坡在研究区内各种地质灾害中,危害性最大,分布最广,几乎遍及全省各公路沿线,其中西部地区危害最为严重,其次是东部地区,特别是在公路沿线的人工边坡地带比较多见,多与 $P_2 1-c-d$ 、 $P_2 x-wj$ 、 $T_1 f$ 等地层的半坚硬岩类及其风化产物等的关系密切。

滑坡的类型主要有岩质滑坡和堆积层滑坡,其中岩质滑坡又可分为破碎岩石滑坡和顺层岩石滑坡。

(1) 破碎岩石滑坡

此类灾害在贵州省三凯线中占主导地位,基本上各标段都有分布。其特征为:坡体由因构造、风化作用而破碎、松散的岩石组成,岩层产状紊乱,岩体内结构面发育,但仍保持岩石原有岩层结构特点,常常位于断层附近,数量集中;其变形范围多由风化深度和开挖面控制,常有多层滑带,滑动带的倾角陡缓不一,但主滑段倾角一般较陡(多为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$),滑坡的规模较大。边坡变形机制为:坡体由变质岩组成,岩石较硬、脆,受地质构造影响,坡体内发育各种泥化夹层、层间错动带、劈理面和顺坡断层等软弱带,延伸长且倾向线路,路堑边坡开挖或隧道掘进后,引起坡体卸荷松弛,加之坡体岩石破碎,地表水易下渗至坡体内的软弱带,导致其抗剪强度降低,当软弱带的抗剪强度不足以抵挡坡体的下滑力时,坡体就沿软弱面产生剪切破坏,形成滑坡。

(2) 顺层岩质滑坡

此类滑坡灾害分布在如三凯线部分区段,线路位于三穗向斜的一翼,主要地层为寒武系、震旦系的变余砂岩,岩层倾向临空面,倾角较缓,在砂、泥岩接触面或砂、页岩互层发育有泥化夹层,在此一带(台烈附近)出现的顺层滑坡(如台烈立交滑坡、台烈小学滑坡等)即是依附泥化夹层错动带发育形成。其变形机制为:组成坡体的岩层内存在软弱夹层,线路基本与岩层走向

平行,边坡开挖后,形成新的临空面,改变了原有坡体内地应力的平衡状态并使之释放,卸荷使坡体内岩层的结构面、节理面和裂隙松弛、张开,地表水更易渗入坡体内,使坡体内的软弱夹层和层间错动带进一步软化,抗剪强度降低。当某一软弱带的抗剪强度不足以抵挡坡体的下滑力时,坡体就沿该层产生剪切破坏,形成滑坡。

(3)堆积层滑坡

此类灾害在贵州省数量不少,规模较大。如王家寨滑坡,其体积约 $6.3 \times 10^5 \text{ m}^3$,工程治理费用约 2 000 万元。其特征是自然山坡具有明显的圈椅状外貌,坡面较为平缓,滑体以土石混杂为主,多分布在山坡低洼处或山间沟谷出口,滑带多依附于基岩顶面,地下水较多,滑带倾角较缓,抗剪强度低,一般曾发生过多滑,处于极限平衡状态,变形时滑动速度缓慢。其变形机制为:线路在滑坡前部或中部通过,路堑边坡开挖切除或削弱了滑坡的抗滑段,改变了滑坡原有的稳定状态,使下滑力大于抗滑力,引起滑坡复活。

2)危险斜坡的发育特征

公路边坡开挖后,如坡体内发育软弱带,则转化为滑坡;如坡体无明显的软弱带,则形成高边坡。在变形模式上可分两种:一是坡体由破碎、风化程度强的岩石组成,此时表现出来的岩土特性类似于碎石土,如坡率陡于其自身的稳定坡率,发生变形时以大规模坍塌为主;二是坡体由相对完整、风化程度轻的岩石组成,坡体内发育不甚贯通的各种不利结构面,发生变形时以局部块状滑塌为主。

危险斜坡的变形机制为:边坡开挖后,坡体内原有的力学平衡状态被打破,在开挖影响区内,应力发生调整,坡体由表及里的不同位置产生不同的位移,有些地方因应力调整过大出现较大位移而发生破坏,随着开挖的进行,这些局部破坏的地方会扩展形成宏观的破坏面,形成潜在滑带。在坡面至潜在滑带之间的岩(土)体因发生过大变形,质点间黏结力减小甚至消失,在自重应力或水的作用下,沿潜在滑带发生滑移破坏。

1.3 贵州省山区高速公路典型边坡防治与监测技术

本书以贵州省山区高速公路边坡滑坡地质灾害为研究对象,在查明公路滑坡灾害(包括已发生的滑坡灾害和隐患点)的类型、特征、成因机制及影响因素等基础上,总结和分析了贵州省山区高速公路边坡的发展现状和存在问题,对贵州省山区高速公路边坡滑坡灾害的发生机理、发生规律、发展趋势以及对高速公路的危害进行了总结与分析。在此基础上,通过分析典型山区高速公路边坡滑坡的形成条件和主控因素,根据灾害类型和规模提出相应的预防和治理可行方案,以为后续同类工程提供借鉴。

1.3.1 全书内容框架体系

1)区域地质灾害危险性区划

贵州省地处云贵高原东部,地质地貌条件复杂、生态环境脆弱,地质灾害类型繁多,分布广泛,但由于特殊自然地质、地理条件及气候条件,全省尤以崩塌、滑坡、泥石流较为典型,

特别是公路地质灾害,崩塌、滑坡、泥石流影响最为直接、危害最大。地质灾害危险性区划是对区域内产生崩塌、滑坡等地质灾害的条件、诱发地质灾害发生的外界因素,以及地质灾害现状进行综合统计分析,定量或半定量地评价区域内地质灾害的危险性程度等级。区域地质灾害危险度包含了地质灾害现状、发生条件及潜在发生地质灾害的可能性等诸多方面的因素,是一项较复杂的系统工程。目前,地质灾害危险度区划研究已经成为国际性研究项目。开展崩塌、滑坡等灾害的危险性区划研究,对减少灾害的发生、优化土地使用具有极其重要的实际意义和紧迫性,是提高贵州省高速公路综合减灾与防灾能力科学研究的重要突破方向之一。

2) 高速公路边坡工程勘察与评价

高速公路边坡工程勘察与评价的基本目的是对自然和人工的稳定或不稳定边坡进行人工改造,采用工程地质勘察方法对边坡的地质条件(如地层岩性、地质构造和水文地质条件等)、坡体结构和可能的变形规模与类型进行细致勘察与评价显得尤为重要。高速公路边坡工程勘察与评价同样需要依据边坡不同阶段采用相应勘察技术与手段,是不同阶段边坡稳定性分析与加固设计的基础性内容。具体包括山区高速公路边坡工程勘察技术、山区高速公路边坡工程分阶段勘察技术和山区高速公路边坡工程安全评价。

3) 山区高速公路边坡工程加固与防护技术

边坡与滑坡灾害使得大量相应的防治工程应运而生,总体来说包括两个方面:一是进行工程治理,主动切断滑坡灾害的发生;二是进行工程监测,形成边坡与滑坡工程的预报系统,减少边坡滑塌等造成的灾害损失。本部分主要针对贵州省山区边坡常见的破坏类型,提出合适的加固与防护设计方法。具体包括边坡的防护原则与方法研究、边坡的主要加固与防护措施、山区高速公路地质灾害处治措施以及完善以上防护与处治措施设计计算的支挡结构物的荷载与内力计算方面的内容。

4) 边坡工程监测、施工与运营管理技术

由于贵州省区域范围内特殊自然地质、地理条件及气候条件影响,高速公路边坡问题的严重性已经暴露出来。长期以来,边坡工程的安全性主要依靠设计来保证。但由于边坡地质条件的隐蔽性、复杂性以及地质勘探测试条件的局限性,致使地质勘探和测试资料不可能全面揭示边坡的本来面貌,使得边坡的设计可能存在不全面性,需要通过现场监测检验设计方案的合理性;同时,在高速公路边坡开挖过程中,边坡原有的动态平衡被打破,在新的动态平衡形成过程中,其结构、赋存环境和力学形态均将发生变化,也需要通过现场监测了解这些变化的结果。因此对于公路边坡特别是对于破坏后果严重的重点边坡应有相应的监测手段,做好监测与设计、施工、勘察的动态互补,以监测与勘察指导设计、施工和运营养护,确保工程安全性和公路的正常运营。

5) 区域地质条件下边坡综合处治技术

贵州省的地层发育齐全,地质岩性包括沉积岩、岩浆岩和变质岩,其中沉积岩以碳酸盐岩为主,岩浆岩以玄武岩为主,变质岩由砂岩、板岩、凝灰岩组成。本部分围绕贵州省出现的典型特性的边坡病害与复杂边坡的整治实践,包括:玄武岩风化岩质边坡、浅变质岩风化岩质边坡、喀斯特地貌风化岩质边坡、煤系地层边坡、软硬岩互层岩质边坡等几种贵州典型特性的高速公路边坡的整治,论述各种不同区域地质条件下高速公路边坡工程整治方面碰