

◎朱杰兵 方贻立 李 聪 等编著

山区高速公路

边坡施工安全监控实践



SHANQU GAOSU GONGLU
ANQUAN JIANKONG SHIYAN
BIANPO SHIGONG

山区高速公路边坡施工 安全监控实践

朱杰兵 方贻立 李聪 刘小红
汪斌 蒋昱州 陈彦生 编著

长江出版传媒 湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

山区高速公路边坡施工安全监控实践 / 朱杰兵, 方贻立, 李聪等编著. —武汉: 湖北科学技术出版社, 2016.12

ISBN 978-7-5352-9235-3

I. ①山… II. ①朱… ②方… ③李… III. ①山区道路—高速公路—边坡—道路工程—安全监控 IV. ①U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 284028 号

责任编辑: 严冰 刘芳

封面设计: 喻杨

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027-87679468

地址: 武汉市雄楚大街 268 号

邮编: 430070

(湖北出版文化城 B 座 13-14 层)

网址: <http://www.hbstp.com.cn>

排版: 湖北桑田印刷策划有限公司

邮编: 430070

印刷: 武汉壹点印刷有限责任公司

邮编: 430070

700×1000 1/16

17.25 印张 338 千字

2016 年 12 月第 1 版

2016 年 12 月第 1 次印刷

定价: 45.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

C 内 容 提 要

content of the feed

滑坡与高边坡病害是山区高速公路建设中的一个重大工程地质问题,严重危害着人类生命、财产安全。本书在边坡破坏机理与稳定性评价理论研究的基础上,结合湖北山区高速公路建设生产实践,系统地阐述了高速公路边坡施工质量控制与动态监测方法,初步建立了高速公路边坡施工安全监控理论与技术体系。本书内容包括高速公路边坡分类与稳定性影响因素,高速公路边坡稳定性分级与施工风险评估,高速公路边坡地质破坏模式、失稳机理、稳定性分析,高速公路边坡施工及质量控制,高速公路边坡施工期安全监测与反馈,高速公路边坡安全监控管理与信息化施工,高速公路边坡及滑坡病害监控与治理实例等。

本书系统地展示了高速公路滑坡及边坡病害监控的既有经验与最新进展,适用于公路、铁路、水利、矿山等专业领域工程技术人员使用,亦可供大专院校相关专业师生参阅。

P 前言

REFACE

基于国民经济的发展和路网完善的需求,高速公路正快速进入山区。无论国外还是国内,在修建山区公路工程中常要切割山体,易导致山体崩塌滑坡事故。实际上,我国已修建的山区高等级公路中,几乎是“无路不垮”,有的甚至严重制约和影响了施工进度及公路的运营效益。边坡的稳定性已经成为我国山区高等级公路建设中的重大地质工程问题之一。在山区高等级公路建设中,如何对边坡进行合理的评价、科学的预测、即时的管理与控制,成为目前我国山区高等级公路建设中急需解决的重大技术难题。

山区高速公路建设发展迅猛,而边坡工程安全与质量控制略显不足,存在勘察设计周期短、勘察资料不细致,施工组织不科学等诸多问题,出现了重复治理、影响工期、浪费投资等现象。因此,针对山区高速公路边坡工程的特点,本书在探讨边坡破坏机理与稳定性评价的理论研究基础上,系统总结高速公路边坡施工的质量控制与动态监测方法,结合山区高速公路建设生产实践,初步建立了高速公路边坡施工安全监控理论与技术体系,对安全、高效、优质地建设山区高速公路,促进我国经济发展具有重要的意义。

近年来,长江科学院岩基研究所科研团队在湖北承担了包括宜巴高速、沪蓉西高速、鄯十高速、麻竹高速、恩黔恩来高速等多条山区高速公路施工期或运营期的边坡监控监测咨询项目,结合工程施工,完成了大量的地质勘察、边坡现场安全监测与施工质量监控管理,治理方案咨询等工作,取得了一定成果,积累了较为丰富的经验。当然,由于地质条件的复杂性与不确定性,个别边(滑)坡治理工程中也暴露出一些问题。上述边(滑)坡监控中的经验与教训,对其他类似工程的建设具有较强的实用价值和借鉴意义。

本书与已出版的同类书比较,具有以下特点:①对于山区高速公路边坡工程的破坏模式、失稳机理、稳定性分析有足够的广度。系统总结了公路边坡平面滑动、楔形滑动、圆弧滑动、倾倒破坏、溃曲破坏、崩塌破坏的失稳机理与稳定性计算方法,针对边坡的不同破坏模式提供了相应的工程实例给技术人员参

考,使各类边坡变形破坏的识别、判断与分析做到科学合理、有据可依;②加深了对边坡施工期安全监控工作的认识,提出了以“现场勘察→风险分级→优化设计→设站监测→信息反馈”为主线的公路边坡施工期安全监控工作流程与方法,并提供了大量监测实例供相关人员参考;③从工程建设角度提出“强勘察、精设计、严管理、细施工”的建设理念,可以保证山区高速公路边坡工程建设的安全、经济、美观。

本书共分八章,第一章为绪论,第二章为山区高速公路边坡分类与稳定性影响因素,第三章为山区高速公路边坡稳定性分级与施工风险评估,第四章为山区高速公路边坡地质破坏模式、失稳机理、稳定性分析,第五章为山区高速公路边坡施工及质量控制,第六章为山区高速公路边坡施工期安全监测与反馈,第七章为山区高速公路边坡安全监控管理与信息化施工,第八章为山区高速公路边坡及滑坡病害监控与治理实例。

本书的编著分工如下:第一章、第五章及第七章由朱杰兵撰写;第二章及第四章由李聪撰写;第三章由方贻立撰写;第六章及第8.8节由刘小红撰写;第8.1节~第8.4节由汪斌撰写;第8.5节~第8.7节由蒋昱州撰写。全书由朱杰兵、方贻立、陈彦生统稿。

本书的出版得到湖北省交通运输厅、湖北省交通投资集团有限公司、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、湖北省交通规划设计院及其下属单位的大力支持与帮助;本书的出版也得到国家自然科学基金项目(41272350、41672320、51309025)的资助;本书编写过程中还参阅了相关单位完成的地质勘察报告、设计文件及国内同仁的研究成果,在此一并致谢。

由于本书完成时间紧迫,编著者水平所限,书中难免有错误和不当之处,恳请专家与读者批评指正。

编著者

2016年10月

C 目 录

ONTENTS

1 绪 论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 山区高速公路边坡工程的特殊性	(1)
1.3 山区高速公路边坡安全监控的现状	(3)
1.4 山区高速公路边坡安全监控的特点	(5)
2 山区高速公路边坡分类与稳定性影响因素	(7)
2.1 山区高速公路边坡综合分类	(7)
2.2 土质边坡稳定性及影响因素	(11)
2.3 岩质边坡稳定性及影响因素	(12)
3 山区高速公路边坡稳定性分级与施工总体风险评估	(14)
3.1 边坡稳定性分级	(14)
3.1.1 可变模糊评价方法	(15)
3.1.2 基于动态权重的土质边坡稳定性模糊分级方法	(15)
3.1.3 基于动态权重的岩质边坡稳定性模糊分级评价	(21)
3.1.4 边坡稳定性分级实例分析	(24)
3.2 边坡施工总体风险评估	(28)
3.2.1 评估过程与评估方法	(28)
3.2.2 挖方路堑施工风险评估	(29)
3.2.3 填方路堤施工风险评估	(33)
3.2.4 边坡施工总体风险评估实例	(37)
4 山区高速公路边坡地质破坏模式、失稳机理、稳定性分析	(41)
4.1 边坡可能的失稳模式及初步判断	(41)
4.1.1 土坡失稳模式及初步判断	(41)
4.1.2 岩坡失稳模式及初步判断	(42)
4.2 平面滑动破坏失稳机理及稳定性分析	(51)



4.2.1	平面滑动破坏失稳机理	(51)
4.2.2	平面滑动稳定性分析	(52)
4.2.3	平推式滑坡致灾机理与稳定性分析	(56)
4.3	楔形滑动破坏失稳机理与稳定分析	(59)
4.3.1	楔形滑动破坏失稳机理	(59)
4.3.2	楔形滑动稳定性分析	(60)
4.4	圆弧破坏失稳机理与稳定性分析	(62)
4.4.1	圆弧滑动破坏失稳机理	(62)
4.4.2	圆弧滑动破坏稳定性分析	(63)
4.5	倾倒破坏失稳机理与稳定性分析	(67)
4.5.1	倾倒破坏失稳机理	(67)
4.5.2	倾倒破坏稳定性分析	(68)
4.6	溃屈破坏失稳机理与稳定性分析	(71)
4.6.1	溃屈破坏失稳机理	(71)
4.6.2	溃屈破坏稳定性分析	(72)
4.7	崩塌破坏失稳机理与稳定性分析	(76)
4.7.1	崩塌破坏失稳机理	(76)
4.7.2	崩塌破坏稳定性分析	(79)
4.8	安全系数的含义及其在边坡设计中的应用	(83)
5	山区高速公路边坡施工及质量控制	(85)
5.1	施工准备	(85)
5.1.1	一般规定	(85)
5.1.2	测量放线	(85)
5.1.3	场地清理	(86)
5.2	边坡施工程序	(87)
5.2.1	土质路堑边坡	(87)
5.2.2	岩质路堑边坡的施工程序	(88)
5.3	公路边坡常用防护加固工程施工	(90)
5.3.1	公路边坡坡面防护工程	(90)
5.3.2	路堑边坡加固工程	(117)
5.3.3	公路边坡支挡工程	(127)
5.3.4	公路边坡截排水工程	(134)
5.4	公路边坡施工质量控制	(135)
5.4.1	边坡施工质量控制的主要内容	(135)



5.4.2 边坡施工质量控制要点	(136)
6 山区高速公路边坡施工期变形监测与反馈	(142)
6.1 公路边坡施工期安全监测概述	(142)
6.1.1 公路边坡施工期安全监测的意义	(142)
6.1.2 公路边坡施工期安全监测作用	(142)
6.1.3 公路边坡施工期安全监测内容	(143)
6.2 常用边坡安全监测仪器与原理	(144)
6.2.1 地表变形观测	(144)
6.2.2 地下深部变形监测	(149)
6.2.3 轴向位移监测	(151)
6.2.4 裂缝开度监测	(152)
6.2.5 沉降监测	(154)
6.2.6 地下水监测	(156)
6.3 公路边坡安全监测设计原则	(157)
6.4 边坡工程监测的实施	(159)
6.5 监测反馈分析与安全预报	(160)
6.5.1 监测反馈分析	(160)
6.5.2 监测信息的预测预报	(167)
7 山区高速公路边坡安全监控管理与信息化施工	(173)
7.1 边坡监控管理概述与工作流程	(173)
7.1.1 边坡监控的目标	(173)
7.1.2 边坡监控管理的思路	(173)
7.1.3 边坡监控管理的内容	(175)
7.1.4 边坡监控的方法	(176)
7.1.5 边坡监控的工作流程	(177)
7.2 边坡动态优化设计	(177)
7.3 边坡信息化施工	(179)
7.3.1 信息化施工工作程序	(180)
7.3.2 信息化施工原理与过程	(181)
7.3.3 信息反馈与施工动态调整	(182)
7.4 公路边坡安全监控管理与信息化施工要点	(183)
8 山区高速公路边坡及滑坡病害监控与治理实例	(185)
8.1 平面滑动工程实例分析	(185)
8.1.1 鄞十高速 YSTJ-02 合同段西山隧道洞口仰坡	(185)



8.1.2 鄯十高速 YSTJ-07 合同段 K40+575~K40+645 右侧路堤滑移	(187)
8.2 楔形滑动工程实例分析	(189)
8.2.1 单面滑动实例	(189)
8.2.2 双面滑动实例	(193)
8.3 圆弧滑动工程实例分析	(196)
8.3.1 工程概况	(196)
8.3.2 滑坡成因分析	(197)
8.3.3 滑坡稳定性分析	(198)
8.3.4 工程处治措施	(198)
8.4 倾倒-滑动复合破坏工程实例分析	(198)
8.4.1 工程地质概况与现场勘察情况	(199)
8.4.2 边坡设站监测	(200)
8.4.3 稳定性计算与分析	(205)
8.5 溃屈破坏工程实例分析	(209)
8.5.1 渝怀铁路线 DK224+960~DK225+220(铁磛坝段)	(209)
8.5.2 渝怀铁路线 DK372+630~DK375+660(长潭沟~麻旺段)	(209)
8.6 危岩崩塌工程实例分析	(210)
8.6.1 工程地质条件	(210)
8.6.2 崩塌危岩体稳定性分析	(211)
8.6.3 处治方案	(212)
8.7 龙头村滑坡治理实例	(212)
8.7.1 工程地质条件与滑坡演化过程	(212)
8.7.2 滑坡设站监测	(216)
8.7.3 滑坡成因机制分析与破坏模式识别	(224)
8.7.4 滑坡计算参数分析	(227)
8.7.5 滑坡稳定性计算	(233)
8.7.6 滑坡治理方案	(237)
8.8 王家湾滑坡监测与治理实例	(238)
8.8.1 工程概况与地质条件	(238)
8.8.2 滑坡设站监测	(239)
8.8.3 滑坡体变形破坏机制分析	(259)
8.8.4 滑坡稳定性评价	(261)
8.8.5 治理工程措施	(262)
参考文献	(263)

1 绪 论

1.1 引言

我国山地面积约占全国陆地面积的 69%,山地城镇约占全国城镇总数的一半。伴随着科技进步,公路、铁路应运而生,无论国外还是国内,在修建公路和铁路工程中,往往因工程需要时常切割山体或穿越山体,再加上自然因素共同作用,导致山体崩塌滑坡事故不胜枚举。实际上,在我国已修建的山区高等级公路中,几乎是“无路不垮”,有的甚至严重制约和影响了施工进度及公路的运营效益。可以说,挖方边坡的稳定性已经成为我国山区高等级公路建设中的重大地质工程问题之一。在山区高等级公路建设中,如何对挖方边坡进行合理的评价、科学的预测、即时的管理与控制,成为目前我国山区高等级公路建设中急需解决的重大技术难题。

各种不同等级的公路是国家经济建设发展的重要基础设施。公路边坡的稳定性关系到路基的施工质量以及公路安全运营。另外,在公路建设中频繁发生的滑坡事故,会造成巨大的经济损失及人员伤亡,特别是山区公路,高填方和深挖作业较多,高边坡稳定性成为山区高速公路工程建设成败的关键。

由于我国现阶段公路勘察设计周期一般较短,加之地质现象的隐蔽性、勘察手段的局限性,很难在边坡开挖前准确地探明坡体结构特征,并预测开挖后坡体的稳定性;短时间内完成高边坡的设计工作必然导致了设计与地质一定程度地脱节。受上述勘察设计特点的限制,高速公路高边坡的地质问题在勘察和设计阶段很难暴露出来,往往造成设计方案与地质条件不符,要么支护过强浪费资金,要么支护不足引起边坡变形破坏。因此应加强施工期地质复核与变形监测工作,在此基础上进行稳定性评价,以实现边坡的动态优化设计和信息化施工。边坡稳定性评价方法虽然研究较多,但与动态设计、信息化施工系统结合则明显不足,导致现阶段我国公路建设中边(滑)坡病害经常发生。因此,针对山区高速公路边坡工程的特点,在边坡破坏机理与稳定性评价理论研究的基础上,系统总结高速公路边坡施工质量控制与动态监测方法,结合山区高速公路建设生产实践,建立高速公路边坡施工安全监控理论与技术体系,对安全、高效、优质地建设高速公路,促进我国经济发展具有重要的意义。

1.2 山区高速公路边坡工程的特殊性

山区高速公路工程与平原、丘陵区相比,由于其独特的地形、地貌,呈现独



有的特征。山区高速公路边坡工程多,特别是强风化岩质边坡与土质边坡开挖后,极易发生变形破坏,其稳定性较难控制。

山区高速公路边坡工程与其他领域边坡工程相比又有其自身的特点。与水利、矿山、城市建设不同,山区高速公路是线状工程,要穿越不同的地貌单元和岩层分布,其对应的高边坡使用年限长,属于永久边坡工程,涉及的边坡以点多,线长、类型多为主要特征。为更好的理解山区高速公路边坡施工安全监控工作,下面从不同方面详细介绍山区高速公路边坡工程的特点。

1) 数量大、分布广、类型多

由于地形变化复杂,路线在前进过程中经常出现高路堤、路堑高边坡、陡横坡路基、隧道边仰坡、桥梁桩基陡坡等。这些路段的处理构成山区高速公路的设计与施工的中心环节和核心内容。如 2015 年建成通车的湖北省郧县(鄂豫省界)至十堰高速公路全长 66.931km,其中仅 4 级(每级边坡高 8m)及以上深路堑边坡就达 49 处,合计里程约 7km,4 级以下的边坡更是数不胜数。京珠高速粤北段约 109km,高边坡达 140 处,高度大于 30m 的边坡 85 处。元磨高速公路全长 147.19km,据不完全统计施工期间边坡病害就达 177 处,平均 1.23 个/km。

2) 地质条件复杂、破坏模式多样

高速公路是线状工程,沿线所经过的地形地貌、地层岩性、地质构造、岩体结构、水文地质条件、新构造运动和地震烈度千变万化。其跨地貌单元多(从高山、沟谷、丘陵到平原)、地形起伏大;岩性复杂,可能从山区基岩、土岩组合到纯土质路基;不良边坡地质问题多,主要边坡病害类型有:风化剥落、泥石流、掉块落石、倾倒、坍塌、崩塌、溃屈、错落和滑坡等。

3) 勘察设计周期短、勘察设计工作存在不足

由于高速公路项目的设计与建设呈现出“短、平、快”趋势,项目勘察设计周期越来越短,这就使得高速公路勘察设计工作存在许多问题。

山区高速公路工程地质勘察存在的主要问题有:①地质勘察方案不合理。许多勘察项目方案简单,所采用的勘察方法时有欠缺的地方,如高边坡勘察中对横断面的地质条件变化考虑不足导致施工中边坡加固设计变更过多。②工程地质勘察目的不明确。部分勘察单位仍习惯于“钻探、取样、提承载力”的模式,如高边坡的勘察目的,主要是查明边坡开挖后的稳定性,勘察在查明岩土层结构的同时,还要查明软弱夹层和构造结构面情况,并提供抗剪、抗滑指标。③勘察深度不够,定性的分析太多,定量成果不足。④勘察经费不足,勘察工作量少,不能查明地质条件。

大量工程实践表明,由于前期地质勘测资料不足,按规范设计的典型路基

断面不尽合理,有的施工初期就发生大量边坡变形破坏,严重影响正常施工;有的施工后期及通车后仍较频繁产生路基边坡坍塌、滑动和边坡岩体碎落等地质灾害。目前还没有专门针对高速公路的边坡稳定性研究方法和分析手段,应综合边坡地质情况、稳定性分析理论与施工反馈信息进行边坡稳定性快速评判与动态设计。在设计阶段,按照一定准则对边坡问题作出快速的判断决策,在施工阶段对开挖边坡进行快速准确的评价,对于优化设计方案、大幅度减少施工过程中和公路运营期间的边坡地质灾害、保障施工安全及进度、保证行车安全及道路通畅,具有十分重要的工程实践意义。

4) 施工风险高

山区高速公路边坡施工速度快、周期短,施工期变形破坏等事故频发。交通运输部于2014年12月发布了《高速公路路堑高边坡工程施工安全风险评估指南(试行)》的通知,要求凡列入国家和地方基本建设计划的新建、改建、扩建的高速公路,在施工阶段应进行路堑高边坡施工安全风险评估,指南定义高于20m的土质边坡、高于30m的岩质边坡为路堑高边坡,并要求高边坡和滑坡岩堆等不良地质体段、特殊岩土地段、施工场地周围环境复杂地段的不足20m的开挖边坡均应实施边坡施工风险评估。同时,关于高路堤施工风险评估的技术指南也正在研究与编制中。

5) 边(滑)坡失稳危害大

在山区高速公路建设中,由于路线等级高、路面宽、开挖量大,发生了许多的高边坡变形破坏和滑坡失稳的事例,导致有些路段的工程建设工期和投资严重受到困扰。如京珠高速公路粤北段高边坡加固和滑坡处理增加投资约8亿元,其中K108滑坡的治理方案反复5次,不但治理费用高而且工期拖后2年。重庆市万县-梁平高速公路仅在8km的范围内开挖后发生顺层滑坡30多处,增加投资近2亿元。元磨高速公路自2000年开工建设后,已经发生的滑坡、坍塌等边坡病害达到177处,严重地影响了施工进度,治理滑坡和边坡加固花费5亿多元。广东深汕高速K101滑坡治理经费达数千万元,川藏公路前龙段滑坡全治理费用高达6千万元,宜巴高速老屋包滑坡治理工程中仅老屋包大桥变更为高填路基单项工程增加投资数千万元,由此可见高速公路边(滑)坡失稳给工程建设带来的危害十分巨大。

1.3 山区高速公路边坡安全监控的现状

公路边坡包括填方路堤边坡和挖方路堑边坡,是公路的重要组成部分。20世纪80年代中期以前,我国公路建设主要以低等级为主,深挖高填施工较少,公路建设投资不大,因而公路边坡稳定问题较少,边坡工程不作为道路建设的



主体工程,在公路工程建设中对边坡的防护常常被忽视。进入 20 世纪 90 年代以后,我国大量修建高等级公路,遇到大量的高填深挖路基,边坡稳定问题日渐突出。20 世纪 90 年代初期,边坡防护与加固仍主要沿用低等级公路的边坡工程技术或借鉴铁道部门的经验来实施局部处理,由于在边坡处治时缺乏综合考虑,为工程运营埋下隐患。例如早期建成通车的沈大高速公路、深汕高速公路等,通车后路基边坡发生滑塌,造成了较大的经济损失和不良的社会影响。沈大高速公路鲅鱼圈以南 180km 长的路段,后期边坡工程防治费用占整个工程防治费的 80%。深汕高速公路鹄门滑坡路段长约 2km,滑坡整治费用超过 1 亿元。位于青藏高原的青海省西宁至果洛公路河北乡至红土山段长不足 50km,处于黄河上游两岸,在河谷下切和地震作用下形成了许多规模巨大的滑坡,公路的修建,扰动了古老滑坡,使该段发生了近 20 处滑坡。2005 年特大暴雨,造成公路中断,治理滑坡投资 1 亿多元。重庆至贵州的高速公路重庆市区向家坡滑坡,由于滑坡性质判断失误,经两次勘察,两次设计仍未能稳定滑坡,通车后滑坡再次变形,不得不做第三次勘察设计,共花费 5000 余万元。

20 世纪 90 年代后期,中国公路建设进入了前所未有的高速发展阶段,吸取前期公路建设的经验教训,高等级公路边坡的综合治理受到重视。各地结合当地工程实践开展了一系列公路边坡监控、监测及咨询研究工作,公路边坡监控理论与实践取得了很大的进展。

进入 21 世纪,多家单位针对边坡监控理论与实践开展了研究工作。如长江科学院(2000)开展了岩体边坡监控理论的研究,建立了典型自然和人工边坡监控数据库,采用室内外试验与力学分析相结合的方法,研究了边坡岩体的力学特性和本构模型,利用神经网络与遗传算法进行边坡岩体二维、三维参数反演,解决了多极值点的优化问题。研究了不同理论方法、不同监测仪器的监控指标,提出了不同结构岩体边坡的监控理论与方法,并成功应用于三峡永久船闸高边坡、链子崖、清江隔河岩石厂房高边坡等工程的设计与施工中。河海大学(2001)开展了层状岩质边坡工程监测技术和安全监控模型及其关键技术的研究工作。三峡开发总公司等(2006)完成了三峡工程永久船闸高边坡稳定性及其监控与施工技术研究,围绕船闸高边坡设计与施工,开展了大量的系统性研究工作,并在边坡工程勘察、岩石力学研究、岩石边坡数值模拟分析、岩石边坡工程开挖与锚固、大型边坡监测反馈以及施工方法和施工技术等方面获得了大量研究成果,成功建成三峡船闸高边坡工程。华东交通大学(2006)完成了江西山区高速公路边坡稳定性监控与防护效果评价研究,依托江西泰-赣高速公路边坡病害防护工程,采用多种现代监测技术,结合传统地质理论、室内试验、数值计算与模糊数学方法,开展了一系列的边坡稳定监测与防护效果的分

析评价,探索了一套有效的高边坡监测与防护效果评价的理论与方法。浙江大学(2009)进行了高速公路边坡稳定评价与安全监控技术及工程示范,在对高速公路边坡地质灾害调查分析的基础上,开展了边坡灾害发育规律与防灾工程对策研究,建立了远程控制、数据自动采集和发送的监测系统,研究了监测资料分析的系统方法,提出了全面的边坡灾害安全监测技术体系和变形动态预测分析体系,开发了适合高速公路边坡状态变化的动态分析、风险评估、灾害发布及防灾决策支持系统,并且结合示范工程应用有效地开展了系统的远程自动实时安全监控、变形动态趋势预测分析和安全稳定性评价,提升了边坡灾害安全监测的技术水平。

在工程应用方面,湖北和浙江等多条高速公路建设中引入科研单位作为边坡安全监控监测咨询单位,在边坡施工阶段进行动态优化设计及施工控制。主要由业主、科研、设计、施工、监理等单位共同参与,实现过程为:①建设单位负责统一协调管理,进行科研成果及咨询建议的科学分析和决策,组织优化设计方案的评审,进行边坡开挖及支护的质量控制和管理。②科研单位主要通过普查、巡查、重点高边坡专项研究等形成优化设计的科研成果反馈给业主,为动态设计及施工控制的实施提供咨询建议。③设计单位按照业主的决策结论,根据科研单位提出的优化设计建议,进行优化设计,将科研成果反映到施工图中。④监理单位主要配合业主进行施工管理,根据科研、设计单位提出的施工中的不利因素、危险区域以及优化设计成果,配合业主进行施工管理和控制。⑤施工单位按照优化设计文件进行施工,最终将优化设计成果转化为生产力。实践表明,在引入边坡安全监控监测咨询单位参与动态优化设计及施工质量控制后,高速公路建设过程中能有效的控制边坡的意外垮塌,并保证高速公路沿线边坡的稳定性。

综上所述,边坡安全监控理论与方法起始于水电工程,典型的应用案例为三峡永久船闸边坡。在经历了中国公路建设的高速发展阶段后,边坡监控理论与实践取得了很大的进展,其研究方法从传统的地质理论、室内试验、数值计算逐步发展至现代监测技术、远程采集与控制、智能分析与动态预测相结合的远程实时安全监控技术。同时,多省市在高速公路建设过程中已经引进了施工工程中的边坡安全监控理论与技术,并取得了良好的效果。

1.4 山区高速公路边坡安全监控的特点

山区高速公路边坡安全监控工作主要包括现场巡查、设站监测、优化设计、施工质量安全管理等,贯穿边坡施工的全过程,其特点可以概括为如下三个方面。



1) 工作量大

高速公路边坡工程数量多,分布散,仅仅对沿线重点边坡进行一次现场踏勘就需要投入大量的人力物力;边坡的稳定性状态随开挖进度与天气情况动态变化,边坡施工期应定期在施工现场进行查勘与巡视;两个边坡通常有一定距离,不同边坡设置不同站点,设站监测工作量大;另外,边坡一旦发生异常变形与开裂,室内进行稳定性计算评价工作必不可少;为保证边坡工程的安全与经济,边坡优化设计与质量安全管理贯穿施工全过程。由此可见,边坡安全监控工作内容繁重、工作量大。

2) 工作流程复杂

边坡安全监控涉及勘察、设计、施工、管理等多个方面。边坡监控单位及人员首先要对现场地质情况进行复核并随着工程进度实时反馈,并对重点边坡开展监测施工,然后依据现场揭露的地质情况与获得监测数据动态调整设计方案,并督促施工单位按要求进行边坡开挖与支护。另外,边坡工程建设涉及到多个单位和部门,反馈、协调、沟通工作也十分重要,只有认真的做好勘察、设计、施工、管理工作,并及时反馈、协调、沟通,才能保证边坡监控的顺利开展。

3) 专业性强

山区高速公路边坡监控工作不同于传统的边坡监测工作,它融合了勘察、设计、监测与管理等多个方面。从业者需具有完善的专业知识与丰富的工程经验,除了熟悉道路工程、边坡工程、防护工程、工程监测、工程管理等专业知识外,还必须能较好的把握住边坡变形控制标准,能对滑坡进行识别并对不稳定边坡进行预判,同时还应具有较强的协调沟通与管理能力,因此,其专业性特别强。

尽管边坡监控在山区高速公路建设中取得了较好的应用,但山区高速公路边坡工程存在数量大、分布广、地质条件复杂、施工风险高等特点,且公路边坡安全监控工作量大、工作流程复杂、专业性强,目前高速公路边坡监控理论与技术体系还不完善,高速公路边坡监控工作存在推广程度不够、实施质量不高等问题。本书在边坡破坏机理与稳定性评价理论研究的基础上,结合湖北山区高速公路建设生产实践,系统地阐述高速公路边坡施工质量控制与动态监测方法,初步建立了高速公路边坡施工安全监控理论与技术体系。本书内容包括山区高速公路边坡分类与稳定性影响因素,山区高速公路边坡稳定性分级与施工总体风险评估,山区高速公路边坡地质破坏模式、失稳机理、稳定性分析,山区高速公路边坡施工及质量控制,山区高速公路边坡施工期安全监测与反馈,山区高速公路边坡安全监控管理与信息化施工,山区高速公路边坡及滑坡病害监控与治理实例等。

2 山区高速公路边坡分类与稳定性影响因素

2.1 山区高速公路边坡综合分类

山区高边坡的分类在边坡工程研究中地位十分突出,不同类型边坡失稳机理、破坏模式、稳定性分析方法不同,在进行边坡稳定性分析与评价前应明确边坡类型。陈祖煜院士在边坡稳定性研究时就将土质边坡与岩质边坡分开进行讨论。边坡类型繁多,从不同角度,依据不同分类指标,边坡分类方案不同。

1) 按构成边坡的物质组成分类

(1) 土质边坡: 边坡由土体构成,按土体的种类可以分为黏土边坡、砂土边坡、软土边坡、黄土边坡、膨胀土边坡、填土边坡等。

(2) 岩质边坡: 边坡由岩体构成,按岩体的强度又可分为硬岩边坡、软岩边坡和风化岩边坡等,按岩体结构分为整体状边坡、块状边坡、层状边坡、碎裂状边坡、散体状边坡。

(3) 土石混合边坡: 边坡由土和岩石混合物组成,可分为碎石土边坡和岩土混合边坡两类。按其形成条件,可分为堆积型和残积型,前者土石屑经搬运位移土石混杂,如坡积体及变形边坡残留体等,后者则为基岩原位风化而成,岩土未经搬运,如残积层。按结构形态又可分为土石混合结构和土石叠置结构,前者整个坡体皆由土石混合物组成,后者土石混合体的下部有基岩分布,边坡的特性决定于土石体本身外,尚与土石体与基岩接触面的特性有关,此种结构边坡,亦称岩土混合边坡。

2) 按边坡的坡度、高度分类

宋桂龙等(2010)汇总了按照坡度和坡高进行边坡分类方法^[22]。研究认为,坡高和坡度是定义和描述边坡几何特征的2个重要参数,但是由于行业的不同,导致在坡高和坡度的分类体系中,具体的分类标准、界限有所差异(表2.1)。

实践证明,容易发生变形破坏和滑坡的边坡多为高陡边坡,因此高陡边坡是研究与防治的重点。

3) 按边坡的工程类别分类

(1) 路堑边坡、路堤边坡、隧道边仰坡等。

(2) 水坝边坡、渠道边坡、坝肩边坡、库岸边坡等。

(3) 露天矿边坡、弃渣场边坡等。