

路堑边坡工程

理论与实践

LU QIAN BIAN PO GONG CHENG
LI LUN YU SHI JIAN



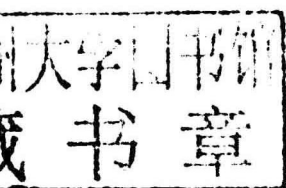
廖小平 朱本珍 王建松 编著
王恭先 主审

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

路堑边坡工程理论与实践

廖小平 朱本珍 王建松 编著

王恭先 主审



中国铁道出版社

2011年·北京

C

内 容 简 介

边坡工程作为岩土工程的一个重要分支,涉及公路、铁路、水电、采矿和建筑等工程行业。近年来,随着高速公路和高速铁路等高等级道路工程建设向山区的延伸和发展,路堑边坡工程的稳定与安全问题日益突出。本书基于大量的路堑边坡工程实践,总结了边坡工程的成功经验,归纳了边坡工程的特征与规律,介绍了边坡工程的关键技术和研究创新,为读者提供了一套系统的路堑边坡工程基础理论和实用方法。

本书可供边坡工程勘察、设计、施工和管养技术人员以及相关院校师生研习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

路堑边坡工程理论与实践/廖小平,朱本珍,王建松
编著. —北京:中国铁道出版社,2011.8
ISBN 978-7-113-13115-9

I. ①路… II. ①廖… ②朱… ③王… III. ①路堑—
边坡—道路工程 IV. ①U416.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第112625号

书 名:路堑边坡工程理论与实践

作 者:廖小平 朱本珍 王建松

责任编辑:徐 艳 电话:010-51873193

助理编辑:张 浩

封面设计:崔 欣

责任校对:胡明锋

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中煤涿州制图印刷厂北京分厂

版 次:2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:23.25 字数:582千

书 号:ISBN 978-7-113-13115-9

定 价:120.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言

边坡工程作为岩土工程的一个重要分支,广泛涉及公路、铁路、水电、采矿和建筑等工程行业。边坡的稳定与安全是一个普遍的工程问题,历来为国内外专家学者和广大的工程技术人员所关心和重视,并历经了从实践积累到理论归纳、再实践、再归纳并逐步总结提高的过程。

作者自参加工作二十多年以来,一直从事边坡工程理论和滑坡灾害防治的研究与实践。承蒙中铁西北科学研究院专家群体的谆谆教诲和无私奉献的同事们的大力协助,成功设计路堑边坡上千处,治理滑坡灾害百余个,在边坡工程的理论研究和工程实践中取得了一些新的认知和技术创新。值此中铁西北科学研究院建院五十周年大庆之际,在总结边坡工程经验、揭示滑坡灾害规律、突出关键技术和系统化研究成果的基础上,特编著《路堑边坡工程理论与实践》一书,谨以答谢和祝贺。

全书共分 13 章。第 1 章绪论,归纳了边坡工程的理论、实践、研究和发展;第 2 章边坡工程地质基础,总结了路堑边坡工程的基本类型、地质背景、坡体结构特征和地质病害规律;第 3 章边坡工程力学分析,介绍了边坡开挖卸荷效应及其松弛区的划分与确定;第 4 章边坡失稳破坏机理,介绍了主要路堑边坡变形的力学机制及潜在破坏模式;第 5 章边坡工程稳定性评价,介绍了路堑边坡常用岩土强度参数评估和稳定性分析计算方法;第 6 章边坡工程防护加固技术,介绍了路堑边坡防护加固工程对策及锚固工程的应用和发展;第 7 章边坡工程地质勘察,介绍了路堑边坡工程分阶段勘察技术和要求;第 8 章边坡工程设计理论和方法,介绍了边坡工程设计的基本原则和预应力锚索抗滑桩等结构计算方法;第 9 章动态设计理念和信息化施工技术,介绍了动态设计流程、仿真设计技术和信息化施工方法;第 10 章边坡工程工后评估,介绍了常用工后评估方法及其评价等级与标准;第 11 章边坡工程安全监测,介绍了边坡变形破坏规律及其安全监测与预警体系;第 12 章边坡工程养护管理,介绍了一个边坡养护管理系统及高边坡安全检查与风险评价标准;第 13 章典型滑坡灾害治理,介绍了箭丰尾等 4 个大型滑坡的地质病害特征及其工程治理措施。

本书可供边坡工程勘察、设计、施工和管养技术人员以及相关院校师生研习和参考。

本书由中铁西北科学研究院廖小平研究员任主编,朱本珍研究员、王建松教授级高工任副主编。参加编写工作或者提供研究成果的还有:中国铁道科学研究院王浩博士(第 3、4、8、9 章)、程建军博士(第 11 章)、安孟康硕士(第 4 章)和冷景岩硕士(第 5 章),福州大学刘代文硕士(第 5、7 章)和林灿阳硕士(第 12 章),以及西南交通大学周德培教授(第 6 章)和肖世国博士(第 3 章)。王恭先研究员对全书

进行了审校,郑静教授级高工和张璇女士对本书的出版做了大量的工作,王玉兰女士为本书的资料收集、文字校对和图表清理等付出了辛勤的劳动,在此一并致谢。

本书得到了福建省高速公路发展有限公司和浙江省交通投资集团有限公司及其下属公司的大力支持,并参阅和引用了大量的相关文献资料,在此对上述部门和有关著作者表示衷心的感谢。

廖小平

2011年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 边坡工程概述	1
1.2 边坡工程实践	8
第 2 章 边坡工程地质基础	18
2.1 路堑边坡工程	18
2.2 边坡地质环境	24
2.3 边坡坡体结构	33
2.4 边坡地质病害	39
第 3 章 边坡工程力学分析	44
3.1 边坡工程力学基础	44
3.2 边坡开挖卸荷效应	48
3.3 边坡开挖卸荷的模型试验	73
3.4 边坡开挖卸荷松弛区的划分原则和确定方法	80
第 4 章 边坡失稳破坏机理	84
4.1 土质边坡	84
4.2 岩质边坡	93
4.3 二元结构边坡	107
4.4 河库岸边(滑)坡	111
第 5 章 边坡工程稳定性评价	121
5.1 边坡稳定性主要影响因素	121
5.2 岩土强度参数试验与评估	124
5.3 等效体强度参数评估法	127
5.4 改进 Hoek-Brown 强度参数评估法	133
5.5 边坡稳定性分析计算方法	143
第 6 章 边坡工程防护加固技术	146
6.1 常用防护加固工程措施	146
6.2 防护加固工程对策技术	147
6.3 锚固技术应用和发展	149
6.4 植被防护与生态保护	161
第 7 章 边坡工程地质勘察	176
7.1 边坡工程勘察技术的应用和发展	176
7.2 边坡工程地质勘察目的和要求	179

7.3	边坡工程地质勘察内容和方法	188
7.4	边坡工程地质勘察报告	201
第8章	边坡工程设计理论和方法	203
8.1	边坡工程设计原则和方法	203
8.2	防护加固工程设计原则和方法	206
8.3	预应力锚索抗滑桩的设计计算	207
8.4	锚固工程设计计算	215
8.5	柔性防护网工程设计计算	219
8.6	锚索抗滑桩的设计计算工程应用实例	222
第9章	动态设计理念与信息化施工技术	226
9.1	动态设计理念	226
9.2	仿真设计技术	228
9.3	边坡工程反分析技术	230
9.4	信息化施工技术	232
9.5	工程应用实例	236
第10章	边坡工程工后评估	247
10.1	边坡工后评估工作	247
10.2	常用工后评估方法	248
10.3	稳定等级与评价标准	249
10.4	工程应用实例	250
第11章	边坡工程安全监测	254
11.1	路堑边坡开挖变形规律	254
11.2	路堑边坡蠕变变形规律	258
11.3	边坡工程安全监测体系	269
11.4	坡体深部位移动态监测技术	271
11.5	TDR 边坡立体监测预警系统	279
第12章	边坡工程养护管理	283
12.1	边坡养护管理概况	283
12.2	边坡养护管理技术	285
12.3	边坡养护管理系统	290
12.4	高边坡安全检查与风险评价	322
第13章	典型滑坡灾害治理	331
13.1	梅列互通滑坡	331
13.2	八尺门互通滑坡	338
13.3	金斗山滑坡	348
13.4	箭丰尾滑坡	352
参考文献		363

第 1 章

绪 论

1.1 边坡工程概述

1.1.1 边坡工程定义

坡、坡地、或坡面,是在山区地表广为分布的一种基本地貌单元要素,它与人们生产和生活密切相关。为此,刘兴远等(2007)将坡的形式总结并划分为:“平缓”,地面坡度 $<10^{\circ}$,对人类生产、生活影响较小,一般不引起人们特别注意;“缓坡”,地面坡度 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$,对人类生产、生活有一定影响,在特定条件下可能引起相关安全问题;“陡坡”,地形坡度 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$,对人类生产、生活影响很大,在一定的条件下易于发生安全问题;“陡壁”,地形坡度 $50^{\circ}\sim 90^{\circ}$,对人类生产、生活有严重影响,在一般的条件下即有可能发生安全问题;“峭壁”,地形坡度为 90° ,亦称直立边坡,极易发生掉块、落石、崩塌及倾倒等地质灾害。

边坡经常与山坡、斜坡和滑坡等概念相关。

“山坡”是指山顶与山麓之间的坡地或坡面。

“斜坡”顾名思义为具有侧向临空面的地质体,可以定义为两个地质夷平面之间的坡地或坡面。

“边坡”经常用于因人类工程活动改造地形地势而形成的坡地或坡面,一般是指自然斜坡和人工边坡的统称,是人类生存及工程活动最常见的自然地质环境之一。自然边坡是在自然界地质环境中经长期演化形成的;人工边坡则是人类为了满足生产、生活的需要,在建设过程中对地形地势进行改造形成的。

“滑坡”是边坡变形破坏的主要形式之一,是一种边坡地质灾害。“滑坡”是指斜坡上的部分岩土体由于各种原因在重力作用下沿一定的软弱面(或软弱带)整体地向下滑动并以水平运动为主的坡体地质灾害现象。滑坡可以是自然斜坡,也可以是人工边坡的变形和破坏;可以是正在进行,也可以是已经发生的边坡变形和破坏。

在岩土工程或工程地质(地质工程)研究领域,所谓“边坡”一般是指自然斜坡、河流水库岸坡、台塬塬边、崩滑流堆积体、以及人工边坡(交通道路、露天采矿、建筑场地与基础工程等所形成)等坡体形态的总称。

边坡也可以广义地视为地球表面具有倾向临空的地质体,主要由坡顶、坡面、坡脚及其下部一定深度范围内的坡体组成。

边坡的基本要素或术语有:坡面、坡顶、坡脚、坡体,坡顶线、坡脚线,坡角、坡高、坡长,边坡走向、边坡倾向,边坡断面、边坡立面等,见图 1-1。

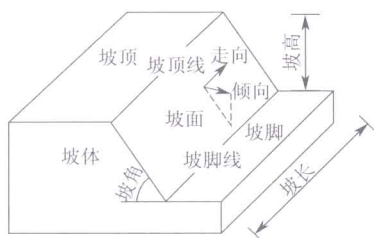


图 1-1 边坡基本要素图

随着边坡工程的发展,国内许多专家学者和工程技术人员广泛开展了边坡工程的理论与实践总结,取得了许多成果和进步,著书立说甚多。但是,对于边坡工程的定义尚缺乏明确的概念和统一的认识。

基于上述边坡的概念,结合边坡工程实践的要求,可以定义边坡工程的概念如下:

“边坡工程”即是指在边坡场地进行人类工程活动、建设或改造的一个工程体系。主要包括边坡或滑坡的地形地质调查、成因机制分析、稳定状态评价、变形规律和发展趋势预测、防护加固设计、安全与风险评估、以及建设与管理等理论研究和工程实践活动。

1.1.2 边坡工程分类

关于边坡分类,由边坡的定义与内涵可以看出,从其物质组成或岩性条件、边坡工程特点或要素、工程类别或研究领域、边坡成因与坡体结构、变形状态与病害性质,以及各种综合因素等方面都可以进行划分和介定。分类指标不同,分类方法各异,常见边坡分类指标和方法见表 1-1。

表 1-1 常见边坡分类汇总表

序号	分类指标	边坡类型
1	物质组成	土质边坡、岩质边坡、二元结构边坡等
2	边坡高度	低边坡、高边坡、特高边坡等
3	边坡坡度	缓坡、陡坡、悬崖、倒坡等
4	工程类别	道路边坡、水电边坡、采矿边坡、建筑边坡等
5	坡体结构	(似)均质结构边坡、类均质结构边坡、分层结构边坡、块状结构边坡、层状结构边坡、碎裂结构边坡、散体结构边坡等
6	使用年限	永久边坡、临时边坡等
7	边坡成因	自然边坡、人工边坡等
8	病害性质	崩塌、滑坡等

(1)按边坡物质组成分类

根据边坡坡体组成物质或岩性条件,边坡可以分为土质边坡、岩质边坡和二元结构边坡三个基本类型。

土质边坡,即边坡主体由土类物质组成的边坡。一般地,按土体的成因或种类又可细分为黏性土边坡、黄土边坡、膨胀土边坡、堆积土边坡和填土边坡等亚类。

岩质边坡,即边坡主体由岩类物质组成的边坡。一般地,按岩石的强度又可细分为硬岩边坡、软岩边坡和风化岩边坡等亚类;按岩体的结构特征又可细分为整体块状或巨块状边坡、块状边坡、层状边坡、碎裂状边坡和散体状边坡等亚类。

二元结构边坡,亦称土石混合边坡,即边坡主体由土石混合组成。一般上部为土类物质,下部为基岩,呈典型的土石二元结构特点。

(2)按边坡的高度分类

基于边坡高度,可以将边坡分为低边坡、高边坡和特高边坡三类。

低边坡,一般认为土质边坡高度小于 20 m 或岩质边坡高度小于 30 m 的边坡为低边坡,其边坡设计与防护可参考相关规范或手册的经验处理。

高边坡,对于土质边坡高度大于 20 m 或岩质边坡高度大于 30 m 的边坡,其边坡高度因素将对边坡稳定性产生重要作用和影响,其边坡稳定性分析和防护加固工程设计应进行个别或特别设计计算,这些边坡常称为高边坡。

特高边坡,边坡高度大于 100 m 的边坡常称为特高边坡。由于其边坡特别高陡,坡体稳定性普遍较差,在相关工程建设中,需要特别重视和研究。

(3)按边坡的坡度分类

根据边坡的坡度陡缓程度可以分为平缓边坡、缓坡、陡坡、陡壁、峭壁和倒坡等边坡类型。平缓边坡:坡度 $<10^{\circ}$;缓坡:坡度 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$;陡坡:坡度 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$;陡壁:坡度 $50^{\circ}\sim 90^{\circ}$;峭壁(直立边坡):坡度为 90° ;倒坡:坡度 $>90^{\circ}$ 。

(4)按边坡的工程类别分类

按照边坡工程所属的行业类别进行分类,一般可以分为道路边坡、水电边坡、采矿边坡和建筑边坡等基本类型。

道路边坡,又可细分为公路边坡和铁路边坡。

水电边坡,又可细分为水坝边坡、坝肩边坡、库岸边坡和渠道边坡等。

采矿边坡,又可细分为露天矿边坡、尾矿坝边坡、弃碴场边坡或排土场边坡等。

建筑边坡,又可细分为场地边坡和基坑边坡。

(5)按边坡的坡体结构分类

基于组成边坡的岩土体结构特征进行分类,一般可以分为均质结构边坡、类均质结构边坡、分层结构边坡、块状结构边坡、层状结构边坡、碎裂结构边坡和散体结构边坡等。

均质结构边坡、类均质结构边坡和分层结构边坡多属于土质边坡,即体现土质边坡的坡体结构特征;块状结构边坡、层状结构边坡、碎裂结构边坡和散体结构边坡则多属于岩质边坡,即体现岩质边坡的坡体结构特征。

(6)按使用年限分类

按照使用年限分类,可以将边坡分为永久边坡和临时边坡。

永久边坡,即边坡使用年限两年以上的边坡(《建筑边坡工程技术规范》2002),亦称长期处于临空状态或工作状态的边坡。

临时边坡,即边坡使用年限两年以内的边坡,亦称仅在短时间或工程施工期处于临空状态或工作状态的边坡。

(7)按边坡的成因分类

按照边坡的形成原因进行分类,一般可以分为自然边坡和人工边坡。

自然边坡,即天然存在的、由自然营力形成的边坡。自然边坡也包括自然营力形成的滑坡和岩堆等重力堆积边坡。

人工边坡,即因人类工程活动改造而形成的边坡。人工边坡常包括开挖边坡和堆填边坡,如道路工程建设中形成的路堑边坡和路堤边坡。

(8)按边坡的病害性质分类

按照边坡是否产生变形和破坏,可以分为未变形边坡和变形边坡。基于边坡变形产生坡体病害的性质不同,变形边坡又可分为崩塌、坍塌、倾倒、错落和滑坡等。

此外,如果按照边坡稳定程度分类,边坡还可分为稳定边坡、基本稳定边坡、欠稳定边

坡和不稳定边坡等。如果按照安全等级分类,边坡还可分为一级边坡、二级边坡和三级边坡等。

1.1.3 边坡变形破坏

由于边坡的地质环境不同,失稳孕育条件各异,触发因素多样,因此边坡的变形破坏性质、规模和危害常常是各有特点和多种多样的。为了确定边坡的变形破坏类型,首先需要从坡体的物质组成、坡体结构特征、不利结构面发育状态、地下水赋存条件与运移规律,以及各种自然的或人为的诱发因素对其边坡稳定性的作用和影响程度等条件出发,分析边坡常发各种变形破坏现象的运动学特征,明确相关病害现象描述的概念和意义。总结归纳常见边坡变形破坏的运动学特征有剥、落、倒、崩、塌、错、滑、坍、溜、流等,如图 1-2 所示。根据边坡变形破坏运动特征,总结归纳边坡常见病害类型有风化剥落、流石流泥、掉块落石、崩塌、倾倒、溃屈、坍塌、溜坍、坍滑、滑坡、错落等共 11 大类。

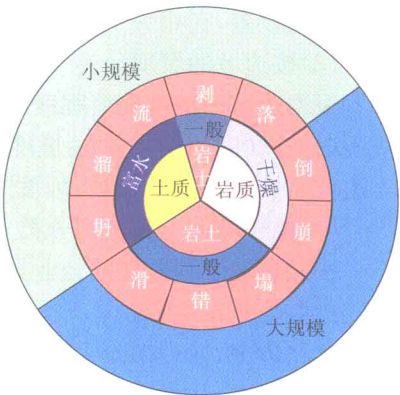


图 1-2 边坡变形破坏运动特征

(1) 风化剥落

指坡面裸露的岩体在岩石物理风化和水理作用下逐渐演变成碎屑物质剥离底层岩面而形成坠落的病害现象,如图 1-3 所示。风化剥落是较为常见的岩质路堑边坡病害类型,硬质岩剥落较缓慢,而软质岩则相对较严重。岩石特征、气候和地形条件是控制岩石风化的主要因素。不同的岩石具有不同的矿物组成和结构构造,不同矿物的溶解性差异很大。节理、层理和孔隙的分布状况和矿物的粒度,又决定了岩石的易碎性和表面积。



图 1-3 风化剥落

边坡风化剥落对道路安全影响不大,但是由于长期风化剥落,可能使边坡软质岩体形成较大的凹崖腔,使上部硬质岩体形成危岩,同时堵塞排水沟,影响工程安全使用。

(2) 流石流泥

指坡面岩土在坡面径流或暴雨的冲刷作用下产生泥石流流失的现象(规模较大时可产生坡面泥石流)。

这种病害在施工期十分常见,在运营期也时有发生,对于普通防护的低等级山区公路则更为普遍,见图 1-4。

(3) 掉块落石

南方花岗岩地区常发育砂土状全、强风化层,颗粒较粗,黏粒含量很少,易崩解,抗冲刷能力很差,因此在雨季期间流石流泥现象十分严重,大量坡面冲刷物流向碎落台或路面,堵塞排水沟,常在坡面形成密集的冲刷沟槽,并导致喷播草子流失而影响坡面绿化效果。

的作用下从坡顶或坡面掉落的病害现象,见图 1-5。



图 1-4 流石流泥



图 1-5 掉块落石

落石的物质来源一种是坡顶或坡面由于风化破碎、植物根劈形成的碎石或崩塌残留物,另一种是由于结构面切割形成的小型楔体;土块的来源通常为坡顶覆盖层的解体物质。掉块落石的体积较小,其破坏力也不高,但高边坡的掉块落石,其能量也不可低估,常构成较大的安全隐患。

(4) 崩塌

坡体上部分岩土体在重力作用下突然脱离坡体向下坠落、翻滚、甚或碰撞并堆积于坡脚的坡体病害现象。大小不等,零乱无序的岩块(土块)呈锥状堆积在坡脚的堆积物称崩积物,也可称为岩堆或倒石堆,见图 1-6。

崩塌一般具有突发性,破坏力强,常造成较大的危害。崩塌可以分为滑移式崩塌、倾倒式崩塌和错断式崩塌三种类型。崩塌按物质可分类土崩、岩崩及雪崩(自然坡体)。规模大者称为山崩,河库岸边称为崩岸,此外还有堤崩等。

(5) 倾倒

倾倒变形是在河谷下切或人工开挖作用后,经应力重分布,坡体上部岩体向外回弹松弛,并向临空方向作悬臂弯曲,逐渐向坡内发展,同时岩层之间发生错动并伴有拉裂,最后形成坡体突发失稳现象,见图 1-7。

倾倒常见于反倾或陡倾层状结构边坡岩体中。这种破坏模式在沉积岩和变质岩地区的反倾地层中较为多见,在似层状构造的火成岩中也有发现。

(6) 溃屈

溃屈破坏主要发育在等坡顺倾层状岩石边



图 1-6 崩塌

坡中。岩层倾角与坡角大致相近时,坡脚岩层因剪切变形而呈鼓起状,同时产生层面拉裂、脱层等现象,见图 1-8。



图 1-7 倾倒变形



图 1-8 溃屈变形

(7) 坍塌

坍塌一般是指土质边坡或破碎岩石边坡,在降雨或地下水等触发因素的作用下,由于坡脚软化失去支撑,致使其上覆相应部分岩土崩解、坍落,并散堆于坡脚的坡体病害现象,见图 1-9。

坍塌具有富水性和突发性,在路堑边坡工程中常见。

(8) 溜坍

溜坍是指坡面土体在强度软化和动静水压力等作用下产生浅表层沿某些沟槽溜滑并坍塌堆积于坡脚的病害现象,多发生在降雨期,一般具塑流性质,见图 1-10。



图 1-9 坍塌破坏

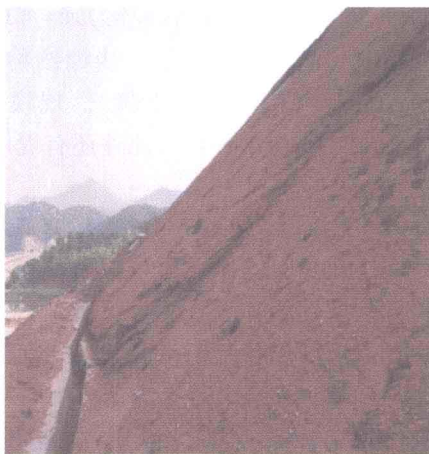


图 1-10 溜坍破坏

根据非饱和土力学理论分析,坡面岩土体的强度是由黏聚力、摩擦角和基质吸力三者共同组成的。一旦降雨使坡面岩土饱和时,基质吸力急剧消失,岩土强度降低,并产生动静水压作用,容易形成溜坍病害。

(9) 坍滑

坍滑是指坡面岩土在饱水的状态下产生浅表层部分岩土整体坍移滑动的坡体病害现象。大多因暴雨触发,呈流塑状,见图 1-11。



图 1-11 坍滑破坏

(10) 错落

错落来源于国内铁路部门的坡体变形分类,这种破坏与滑坡在发生条件、破坏机制和防治对策上均有所区别,因此有必要将其作为一种独立的类型来考查。错落是指被陡倾的构造结构面与后山完整岩体分开的风化破碎岩体,一般具有软弱的岩土基座,易于压致变形和破坏。河岸边坡常因坡脚受冲刷诱发,路堑边坡常因人工开挖诱发,从而引起坡体以垂直下错为主的变形破坏现象,见图 1-12。

在一定的结构面组合下,如变形体的后缘是沿一组陡而深的结构面发育时,往往变形体比不动体破碎。由于变形体在压力增大的条件下,先自行下错压密,同时挤压中前部,直到形成向临空面倾斜的底部破碎带。

(11) 滑坡

滑坡是指斜坡上的部分岩土体由于各种原因在重力作用下沿一定的软弱面(或软弱带)整体地向下滑动,并以水平运动为主的坡体地质病害现象,见图 1-13。

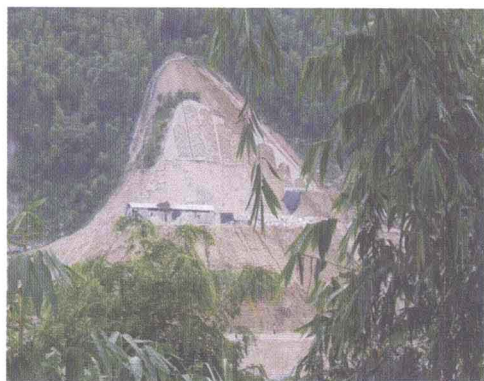


图 1-12 错落破坏



图 1-13 滑坡破坏

滑坡是边坡工程常见的和重要的病害现象之一。滑坡一般性质复杂、规模相对较大、灾害后果严重、治理工程投资和难度也相对较大。

1.2 边坡工程实践

1.2.1 山区道路建设

山区一般是指山地、丘陵和崎岖的高原的总称,其面积约占我国国土总面积的 2/3 以上。按山区的景观,可分为高寒山区、密林山区、荒山区等;按距离城市和交通线的远近,可分为深山区、浅山区;按山区的地面组成物质,可分为石山区、土山区等;按山区的高度,可分为高山区、中山区、低山区、丘陵区 and 台原区。

在各种山区地形地质条件下,由于国民经济建设的需要和社会的进步与发展,人们为其生产、生活以及国防建设等广泛开展公路和铁路等道路工程建设。

公路工程建设遍布各大小山区,特别是改革开放以来,我国公路建设发生了翻天覆地的变化,由 1979 年的 88 万公里发展到 2001 年的 170 万公里,再到 2007 年约 200 万公里。根据规划,至 2020 年,我国公路通车里程将达到 300 万公里。

同样,近年来我国铁路工程建设快速发展,路网规模快速扩大,现已覆盖全国各省、自治区和直辖市。至 2009 年,全国铁路营业里程达到 8.6 万公里,路网密度达 89.1 公里/万平方公里,较新中国建国初期增长约 3 倍,居亚洲第一位,世界第二位。一个横贯东西、沟通南北、干支结合的具有相当规模的铁路运输网络已基本形成并逐步趋于完善。

山区地形条件困难,经常呈现山脉相连、高低起伏、坡大沟深以及山崖陡峭等情况。伴随着大小水系分布着大小河流及山间谷地,山区河流具有河床纵坡大、流量小、流速快,形成山区地形山高谷深、垂直切割明显的特点。山区道路工程路线布设在平、纵、横三个方面均将不同程度地受到限制,迫使其路线平、纵断面转折频繁。

山区地质条件复杂,一般地表坡度较大,覆盖层薄,植被稀少,坡残积层及全强风化的土石易于冲刷流失。或岩石裸露,岩体破碎,产状多变,褶曲断裂发育等,呈现脆弱的地质环境背景。裂隙水和地下水的长期作用对地质稳定有很大影响,加之气候变化,地表经常存在着一些不良地质现象,如岩堆、错落、崩塌、滑坡、泥石流、岩溶等。山区道路路基的稳定性多取决于其所处地段工程地质条件的稳定性,即受控于其地层岩性、岩层产状、地质构造、不利结构面或软弱夹层情况,以及地下水的作用和影响。

山区气候条件多变,一般温度较低,昼夜温差较大,温度垂直性差异非常明显。夏季多暴雨,往往会伴随着山洪暴发。由于其地形、地貌特征及雨水的作用显著,故沿河路基易受冲刷。

基于山区复杂的地形条件、脆弱的地质背景和多变的气候气象等因素的影响,山区道路工程勘察设计应加强现场调查研究工作,合理选用技术指标,重视工程地质问题,确保工程设施正常使用和运营安全。

交通道路作为建造在大地表面的人工构造物,直接暴露在自然环境中,所经地区的地形、地质、气候、土壤等自然条件差异很大,会遇到各种不同类型的工程地质问题,对路基、桥涵、隧道及其他人工构造物的强度和稳定性有着极大的影响。由于山区地形、地质、气候条件变化急剧,不良地质现象突出,路线通过这些地段将会造成长期的路基病害和繁重的养护工作。在过去的勘察设计中,多注意路线的线型标准,而对沿线地质调查重视不够,往往从解决路基边坡稳定、确定土石成分,以及寻找筑路材料等方面着手,而不从路线布置上研究地质问题。即使做了一些调查亦不够深入,只是简单的目估判断,致使一些项目破土动工后才发现地质情况很

不利,需要变更设计,不仅加大了工程投资,而且也加大了后期使用的养护费用,甚至会由于地质灾害造成交通中断并发生安全事故。事实上,提高标准主要解决通行能力大小的问题,而防治或清除路基病害才能保证道路的畅通。

因此,在山区道路工程勘察设计时,需要加强山区地质的调查研究,贯彻落实“地质选线”的原则,重视边坡与滑坡等路基地质病害问题,一切从实际出发,因地制宜地采用各项技术指标与治理工程措施,坚持经济性原则、可靠性原则和协调性原则,确保道路工程的使用安全。

1.2.2 边坡工程实践

近年来,由于国民经济的发展和路网完善的需求,高速公路和高速铁路等高等级道路逐步进入山区。山区高等级道路由于其路幅宽度大、线形指标高,一般工程艰巨、投资巨大,对山区自然环境的改造大,对其破坏也非常严重。山区一般地形地质条件复杂,地质环境脆弱,地质灾害多发,高等级道路的建设不可避免的要切坡、填沟、打洞,对地质环境造成严重破坏,甚至还会诱发和加剧各种地质灾害,增加工程建设投资,影响工期,并给运营阶段带来严重的安全隐患。其中,路堑边坡工程问题尤为突出。

京福国道主干线福建境内三明—福州高速公路段全长共 200 余公里,高度大于 40 m 的边坡达 180 多处;云南省元江—磨黑高速公路全长 147 km,高度大于 50 m 的边坡有 160 余处;宝成铁路陕西省宝鸡至四川省绵阳段,大部分为深山峡谷区,河道蜿蜒,山坡陡立,自然斜坡一般接近其临界坡度,稳定性较差。据不完全统计,这段铁路的边坡开挖多达 293 处,累计长度 79.7 km,其中接近或超过临界安全坡度的有 123 处,累计长度 42.3 km,占边坡开挖长度的 53%。

水利和矿山建设中的边坡高度更大,范围更广。黄河上的龙羊峡、李家峡、刘家峡、小浪底电站,长江上的三峡、葛州坝电站,其他如小湾、二滩、五强溪、龙滩、天生桥、溪洛渡、锦屏电站等都存在大量的岩石高边坡,有些甚至高达 500 m。矿山工程中露天矿与地下矿的开采都会造成工程边坡。

在工业与民用建筑方面,我国东南沿海的福建、浙江、广东、广西,以及广大的西部地区,随着国民经济的飞速发展,开展了大量的建筑边坡工程,是我国边坡工程的重要组成部分。如重庆市仅市中心区有记录的建筑边坡有上万处,香港地区有记录的建筑边坡就有 5 万处之多。

在道路边坡工程交通运营过程中,亦有因路堑边坡工程失稳而造成较大规模山体变形和破坏的事例,轻则增加投资、影响交通,重则毁路伤人、损失巨大。

2003 年 5 月 22 日,甘肃省兰州至临洮高速路发生一起山体滑坡事故,共造成 7 人死亡、1 人受伤。

2004 年 12 月 11 日晚 10 时 30 分左右,浙江省甬台温高速公路柳市附近突发大面积山体滑坡事故,60 余米高的山体突然崩塌,近 1.5万 m^3 的岩石倾泻而下,掩盖了整条高速公路,最大的石块达 800m^3 ,致使白鹭屿至乐成镇一段的高速公路双向车道全部瘫痪,如图 1-14 所示。

2005 年雨季,江西遭受了持续的强降雨,自南向北普降大到暴雨。6 月 1 日 10 时 05 分,昌九高速公路九江市德安县境内 79 km 处发生大面积山体滑坡,交通随即被迫中断。

2007 年 6 月 16 日晚 8 时 20 分,兰海高速公路 K1713+150~K1713+300 处、K1734+775~K1734+820 处、K1738+470~K1738+530 处、K1739+700~K1739+750 处、K1744+750~K1744+780 处相继发生大规模塌方,K1752+980 处涵洞伸缩缝断裂,塌方总量达 $67\,000 \text{m}^3$,造成兰海高速公路交通完全中断。

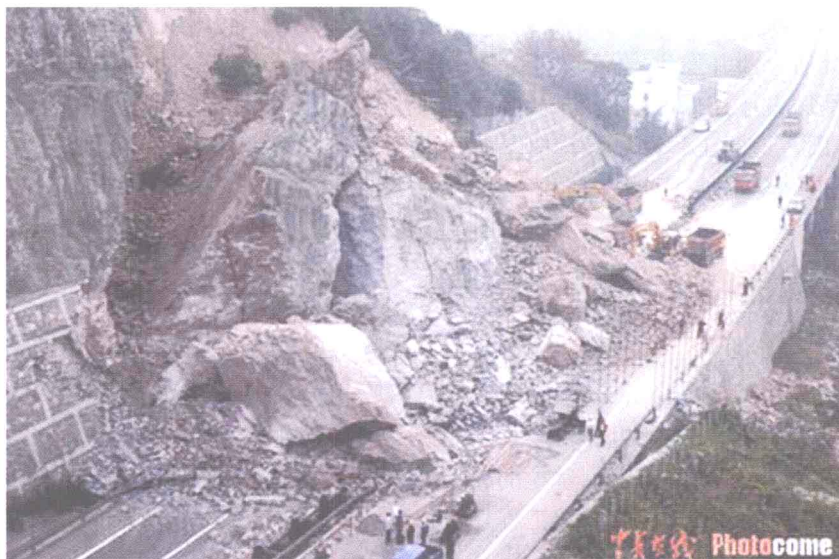


图 1-14 浙江甬台温高速公路山体滑坡

2008 年 5 月 8 日清晨,贵遵高速公路乌江至三合路段发生山体滑坡,大约 $5\,000\text{ m}^3$ 山石堆积在行车道上,贵阳往遵义方向交通中断。

2008 年 6 月 18 日 13 时许,广西平乐—钟山高速公路平乐县路段突发大面积山体滑坡,超过 $40\,000\text{ m}^3$ 的土石将高速公路拦腰截断,广州至桂林的高速路交通被迫中断,如图 1-15 所示。



图 1-15 广西平钟高速公路山体滑坡

1.2.3 边坡工程研究

边坡工程作为岩土工程的一个重要分支,广泛涉及到公路、铁路、水电、采矿等工程行业,边坡的稳定与破坏作为一个普遍的工程问题,历来受到国内外专家学者和广大的工程技术人员关心和重视,并历经了从实践积累到理论归纳、再实践、再归纳并逐步总结提高的过程。