



公路边坡生态恢复 及防护技术

BIOENGINEERING
RESTORATION AND PROTECTION TECHNOLOGY
OF HIGHWAY SLOPES



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

冯美军 洪波 左志武 编著

公路边坡生态恢复及防护技术

主 编 冯美军 洪 波 左志武

参 编 王秀海 董浩平 胡 泓 常 颖 班熙宁
刘 伟 杜荣杰 袁 杰 李庆一 翟耐刚
杨杰军 陈 强 李树睿 夏 涛 邢积华

统 稿 洪 波

中国海洋大学出版社

· 青 岛 ·

图书在版编目(CIP)数据

公路边坡生态恢复及防护技术 / 冯美军, 洪波, 左志武编著. —青岛: 中国海洋大学出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5670-0181-7

I. ①公… II. ①冯…②洪…③左… III. ①公路路基—边坡—生态恢复②公路路基—边坡防护 IV. ①U418.5②X171.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 285436 号

出版发行 中国海洋大学出版社

社 址 青岛市香港东路 23 号

邮政编码 266071

出版人 杨立敏

网 址 <http://www.ouc-press.com>

电子信箱 xjzheng1984@126.com

订购电话 0532—82032573(传真)

责任编辑 郑雪姣

电 话 0532—85901092

印 制 青岛正商印刷有限公司

版 次 2014 年 4 月第 1 版

印 次 2014 年 4 月第 1 次印刷

成品尺寸 185 mm×260 mm

印 张 19.75

字 数 456 千

定 价 60.00 元

内容提要

本书依托边坡生态恢复相关研究课题,在收集大量国内外文献资料、综合国内公路边坡生态恢复技术成果基础上,着眼于边坡生态恢复研究工作的深入和技术进展,并结合多年来在边坡工程防护、坡面植被恢复及高速公路生态建设等方面的研究成果和工程经验编写而成。本书较之目前的同类专业书籍具有 3 个特点:一是从生态学和工程学角度对相关惯用语进行了较为规范的表述,以便于阐述技术内涵,明确概念本质;二是强调边坡生态系统与路域生态系统的关联,并基于边坡生态恢复的实现,详细描述了实施途径及要求,同时力求体现生态学、恢复生态学和工程学等基本原理的应用;三是对边坡生态恢复技术体系进行了初步构建,对其中的各个层面分别进行了系统、全面的介绍。

本书可供从事公路生态技术及边坡生态恢复技术的研究、开发以及工程设计、项目规划建设和养护管理等人员使用,也可作为相关专业科研人员、高校师生的参考书。

前言

公路是现代化交通运输体系的重要组成部分,是衡量一个国家和地区经济社会发展水平的显著标志。“经济发展,交通先行”,改革开放 30 多年来,我国不断加大对公路建设尤其是高速公路建设的投资力度,无论是在建设规模还是在建设质量和水平上,都取得了长足进步,公路建设成就令世人所瞩目:“五纵七横”国道主干线、全国高速公路网建设先后完成;截至 2012 年底,全国公路总里程已达 423 万千米,其中高速公路里程已突破 9.5 万千米;“十二五”期间,我国高速公路总里程预计将超过 10 万千米,跃居世界第一。

不可否认,公路建设对公路沿线自然环境和生态系统也会造成一些负面影响,其中由于路基施工需要而形成的高填深挖边坡,就会对原有的地形地貌、自然景观及生态系统功能造成严重破坏。近年来的统计数据表明,随着公路建设规模的不断增大,裸露边坡面积每年以 2~3 亿平方米的速度迅速增长,其中岩石边坡面积占 1 000~1 500 万平方米,这种工程创面对自然生态环境所造成的不利后果是显而易见的,因而在公路交通基础设施建设的同时,加强对公路边坡的生态恢复或重建,已成为公路交通行业实现“绿色发展”及可持续发展的一项重要任务。

毋庸置疑,恢复边坡生态功能是解决公路边坡生态问题的必由之路。近年来,随着全国“绿色通道建设”的大力推进,边坡生态恢复工程作为改善路域生态环境的重要举措而得到大规模实施,由此也推动了业内对边坡生态恢复技术的深度研究和开发,并在引进、吸收国外先进技术基础上,催生了一些集成创新或原始创新成果,其中不乏具有自主知识产权的核心技术和关键技术,从而为我国公路生态建设和边坡生态恢复工程提供了重要科技支撑。近年来,边坡生态恢复研究已成为众多领域的热点和重点,边坡生态恢复技术正发展为涉及恢复生态学、植被生态学、土壤生态学、岩土工程学、材料科学、园林园艺学等多学科的综合性工程技术。但也应看到,因起步较晚,目前我国边坡生态恢复技术研究和工程应用仍然处于探索、发展阶段,总体技术水平与发达国家尚有差距,许多制约性问题还有待解决。

本书认为,目前我国边坡生态恢复存在的制约性问题主要表现在:①边坡生态恢复的理论体系尚不成熟。研究内容较为离散、片面,某些阐述及结论与生态学、恢复生态学、植被生态学、景观生态学基本理论以及可持续发展理念有脱节之虞,并缺少工程方法论的支持。②边坡生态恢复的技术体系尚未建立。因目前对坡面植物的固土护坡作用机制及潜能一直缺少系统性的微观研究和定量描述,有人认为边坡生态恢复不过属于一种人工的“技艺”,是建立在常规施工工艺和经验上的“工法”,而不是包含了多种理论依据、科学解释和客观计量的一门工程技术,以致其应有的内涵及技术体系仍未建立起来。③系统性研究不够深入。以往的研究对象不是集中在区域性或点状建设项目上,就是针对工程方法的组合及实施效果,研究结果要么过于宏观、要么囿于单一、要么限于表象,而对于边坡生态环境的影响机理及其受损、演变恢复过程缺少系统、全面的研究;工

程所需的生态规划、生态设计、生态施工及生态管理均无规范性技术标准,工程实施质量及生态效果的评价方法尚不完善。④对工程适应性认识不足。我国地域辽阔,公路线路绵长,边坡处于各种立地条件,且生态环境复杂,但在工程方法的适用上普遍存有一定盲目性,方案缺乏统筹、优化设计,从而导致许多工程结局差强人意,甚至事与愿违。例如,植物选择与配置不合理导致植物群落稳定性差、初期效果好但后期效果差;过于追求景观效果而忽视植被的生态功能,产生了工程防护措施不当、建植及养护成本高等问题。这些问题由来已久并且日渐突出,已对我国公路边坡生态恢复技术发展构成一定的制约。

为了试图从不同的方面、不同的程度有助于上述问题的研究和破解,我们依托山东省交通运输厅“高等级公路生态景观恢复综合技术研究”、“荣乌高速烟威段生态建设和修复试点工程可行性研究”课题,在收集大量国内外文献资料、综合国内公路边坡生态恢复技术成果基础上,着眼于边坡生态恢复研究工作的深入和技术进展,同时考虑到业内相关人员对生态恢复理论及工程技术知识系统性掌握的需求,结合多年来在边坡工程防护、坡面植被恢复及高速公路生态建设等方面的研究成果和工程经验编著而成本书。

本书较之目前的同类专业书籍具有3个特点:一是从生态学和工程学角度对一直未有明确含义的相关惯用语进行了初步表述。例如,“边坡生态系统”、“坡面植被恢复”、“土壤—植被系统”、“植被防护”、“生态防护”等,在规范专业性用语的同时,便于阐述技术内涵,明确概念本质;二是强调边坡生态系统与路域生态系统的关联,并基于最终目标——边坡生态恢复,分步描述实施的途径及要求,即人工植被建植→植物群落形成、演替→坡面植被恢复→边坡生态恢复→植被护坡→路域生态系统改善→生态效果评价,同时力求体现生态学、恢复生态学和工程学等基本原理的应用;三是对边坡生态恢复技术体系进行了初步构建,对其中的关键层面——坡面稳定、土壤重建、植被建植及养护管理分别进行了系统、全面的介绍,以满足边坡生态恢复工程的设计、施工及验收等实际工作的需求。本书可望能对从事公路生态技术及边坡生态恢复技术的研究、开发以及工程设计、项目规划建设和养护管理等人员,从理论与工程实践的结合上提供有益的借鉴和参考作用。

本书由山东省交通运输厅公路局、中国海洋大学以及山东省有关地市公路管理局、浙江天台交通工程监理所的研究、技术和管理人员共同编写,由洪波完成统稿。编者长期从事相关领域的科学研究、技术开发、工程应用和建设管理工作,具有深厚的理论基础和丰富的实践经验。本书编写过程中,孙钟野、张民生做了部分章节数据资料的整理、校核工作;朱世峰为相关章节做了大量的图件绘制工作,张杨、洪乐为刘连肖、辛令芄同学做了大量文献资料的整理、翻译工作,在此一并表示衷心感谢。本书相关内容参考、引用了国内外许多专家和学者的理论研究成果及数据资料,在此特表诚挚感谢。

目前我国边坡生态恢复技术研究和应用尚处于“初级阶段”,总体水平有待提升,许多关键问题尚需深入研究。受作者理论水平、实践经验所限,本书不足之处在所难免,而且有些观点和问题值得进一步探讨和商榷,敬请各位读者不吝斧正、赐教,以使本书更臻完善。

编 者

2014年2月

目 录

第一章 边坡概述及稳定性	(1)
第一节 边坡的概念及成因	(1)
第二节 边坡的分类	(2)
第三节 边坡稳定性及评价	(8)
第二章 公路边坡病害及立地条件	(17)
第一节 公路边坡的形成及相关工程标准	(17)
第二节 公路边坡常见病害	(21)
第三节 公路边坡立地条件特征	(28)
第三章 生态恢复理论基础及边坡生态恢复	(37)
第一节 生态恢复的概念及特点	(37)
第二节 生态学理论基础	(38)
第三节 恢复生态学理论基础	(43)
第四节 景观生态学理论基础	(44)
第五节 公路边坡生态恢复的实施	(46)
第六节 公路边坡生态恢复与“生态型公路”建设	(54)
第四章 坡面植被恢复原理及实现模式	(59)
第一节 坡面植被恢复原理及要求	(59)
第二节 坡面植被恢复实现模式	(66)
第三节 坡面植被恢复的难点问题	(67)
第五章 坡面稳定与土壤重建技术	(71)
第一节 坡面稳定技术	(71)
第二节 坡面土壤重建	(75)
第三节 人工土壤的组分及配置要求	(83)
第六章 坡面植被防护及建植设计	(95)
第一节 坡面植被防护原理	(95)
第二节 坡面土壤—植被系统理论	(104)

第三节	坡面植物群落的营建	(107)
第四节	乡土植物及其应用	(133)
第七章	坡面植被建植施工及养护	(138)
第一节	坡面植被建植技术	(138)
第二节	坡面植被建植施工准备	(188)
第三节	坡面植被的养护管理	(191)
第八章	边坡生态防护工程实施	(198)
第一节	边坡生态防护工程型式	(198)
第二节	常见坡面植生材料	(226)
第三节	边坡生态防护工程设计程序及内容	(243)
第九章	边坡排水工程及雨水回用灌溉	(250)
第一节	坡面水运动与边坡稳定性	(250)
第二节	边坡排水措施	(252)
第三节	坡面雨水收集及回用微灌	(273)
第十章	坡面植被恢复工程生态效果评价	(279)
第一节	生态效果评价体系的建立	(279)
第二节	评价方法及流程	(286)
附录	专业术语中英文对照表	(290)
参考文献		(298)

第一章 边坡概述及稳定性

边坡是自然边坡和人工边坡的统称。前者是由自然地质作用形成且未经人工改造的边坡;后者是经开挖(或堆积)等人为作用所形成的边坡。在重力或其他外力作用下,有的边坡能够长期保持稳定,有的则处于不稳定的状态;其中,人工边坡的不稳定问题尤为突出。边坡受内部因素或外部因素的影响,极易发生滑坍等多种地质灾害,对人们的生命安全和基础设施造成严重威胁和损害,因此有必要对不稳定边坡采取相应的工程整治措施,以保障边坡稳定和设施安全。

第一节 边坡的概念及成因

一、边坡的概念

在穿越山区、丘陵地区的铁路、公路两侧,随处可见到各种类型的边坡。“边坡”这个名词的出现已经有很长时间了(至少有上百年),但却一直没有一个准确且能被工程领域普遍接受的定义。

从边坡分类和边坡防护的角度出发,并考虑到边坡与人类的关系,本书认为,作为一个常用专业术语,“边坡”应有如下含义:边坡,又称斜坡、坡体或坡面,一般是指由自然作用或人为作用(工程活动)形成的、具有倾斜临空面的岩土体,其位移和变形往往对周边环境造成不良影响。它是人类工程活动中最基本的一种地质环境,也是公路工程建设中最常见的路基工程形式之一。

边坡的简化外形和构成要素(图 1-1)。

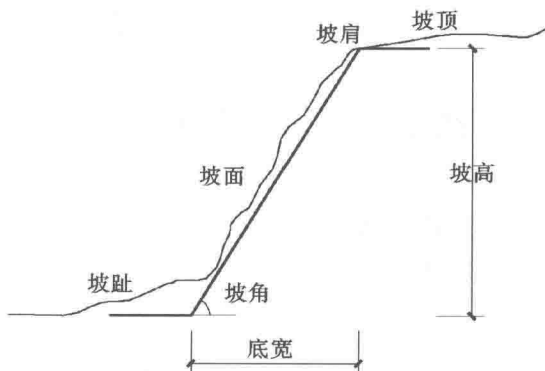


图 1-1 边坡外形和构成要素简图

二、边坡的基本属性

(一) 坡质

坡质即边坡的组成物质,对边坡的各种性质具有决定性影响。边坡工程中涉及的岩质边坡、岩质土边坡和土质边坡(俗称)就是根据坡质进行分类的。

(二) 坡度

坡度是指边坡陡缓的程度,对边坡的稳定性有直接影响,也决定着地表侵蚀作用和水土流失的强度、土层厚度及植物生长适应程度等。边坡工程中常用坡度或坡比参数描述边坡,可表达为:

$$\text{边坡坡度(或坡比)} = H(\text{坡高}) / B(\text{底宽})。$$

为方便比较,该比值在工程中经常换算为 $1:k$,其中, $k=B/H$ 称为坡度系数或坡率。实际应用中很少对坡度和坡率加以区分。

边坡工程中,一般将坡度小于 15° 、 $15^\circ \sim 45^\circ$ 、 $45^\circ \sim 60^\circ$ 、大于 60° 的边坡分别称为缓坡、中坡、陡坡和急坡。

(三) 坡面粗糙度

坡面粗糙度是指边坡表面的粗糙程度,在很大程度上影响着土壤和基质的附着。计算时,采用坡面倾斜线上两点的坡面距离与两点的直线距离比值乘以坡面上最低点到最高点的距离(高差),可表达为:

$$k(\text{坡面粗糙度}) = w(\text{坡面倾斜线上两点的坡面距离}) / L(\text{两点的直线距离}) \times d(\text{最低点到最高点的距离})。$$

(三) 边坡的成因

边坡的成因可分为自然成因和人为成因。自然成因是指在自然界的各种地质构造运动、火山岩浆运动、侵蚀堆积运动(如崩塌、滑坡、泥石流、蠕动)等作用下所形成的地表倾斜,这种边坡称为自然边坡(图 1-2)。人为成因则是指由于人类生活和生产活动(挖掘、堆积、回填等)所形成的地表倾斜,这种边坡称为人工边坡(图 1-3)。

未经人类改造,即使有少量的人类活动,也不足以改变其根本性状的边坡,才能称为自然边坡。自然边坡若经过人类改造,形态和性状发生了显著改变,则应称为人工边坡。

第二节 边坡的分类

为了从不同的角度认识边坡的性质和存在的问题,进而采取适当的工程措施防治边坡病害以确保边坡稳定,有必要从不同方面对边坡进行分类。



图 1-2 常见自然边坡



图 1-3 常见人工边坡

一、边坡的一般分类方法

按形成原因,可将边坡分成自然边坡和人工边坡(如前所述)。但实际工程中,按坡面物质分类最为常见,即可将边坡分为岩质边坡、岩质土边坡和土质边坡。除此之外,还可按边坡形态(坡高、坡长、坡度、坡向、坡面形态和起伏程度)和状态(稳定性和水文情况),将边坡分成不同类型(表 1-1)。

另外,边坡还可根据土质和岩石类别进一步细分,通常前者采用《建筑地基基础设计规范》(GBJ 50007—2002)的分类标准(图 1-4);后者采用地质学和《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)的分类标准(表 1-2)。

在边坡工程领域,为了避繁就简,并考虑到可操作性、实用性,可先将地质特征(坡面物质、坡体创面高度和坡度等)作为边坡分类的标准,再按照岩石类别、风化程度以及形态、水文状况、岩石坚硬程度(软质岩、硬质岩)等进一步细分。

二、边坡的其他分类方法

除一般分类方法外,不同国家、不同行业根据区域状况、工程建设或研究需要还有若干其他的分类方法,现概括如下:

1. 按岩石质量分类

国内外代表性的方法有 RMR-SMR 法和 CSMR 法。RMR(Rock Mass Rating),即岩体分类法由 Bieniawski 于 1976 年提出,主要考虑了完整岩石的抗压强度、岩体 RQD、节理间距、节理条件、地下水这几个特征值,作为对岩体质量进行量化描述的依据;SMR (Slope Mass Rating),即边坡岩体分类法,则充分考虑了岩体结构面特征对边坡稳定的影响,对工程边坡最常见的滑动、倾倒和楔形破坏这三类都给予了适当的考虑,将计算获得的 SMR 值 20、40、60,分别作为确定边坡破坏、基本稳定、稳定情况良好的判断依据。

表 1-1 边坡一般分类

分类依据	名称	简述
坡面物质	岩质边坡	也称为岩石边坡或石质边坡,由岩石构成,无土壤,又可按岩石类型(岩性)、岩石风化程度、岩体结构、岩层倾向与坡向关系细分成若干亚类,详见表 1-2 岩质边坡分类表
	岩质土边坡	也称为碎石土边坡或土石边坡,由砾石和土混合构成,岩质土中粒径>2 mm 的土颗粒含量超过 50%或略小于 50%(几乎不含有机物,肥力极差)
	土质边坡	也称为土边坡或土坡,由砂土、粉土、黏性土(粉质黏土和黏土)等构成,粒径<2 mm 的土颗粒含量达 100%(以生土为主,有机物含量低,肥力较差),按土质可分为砂土边坡、粉土边坡和黏性土(粉质黏土和黏土)边坡

(续表)

分类依据	名称	简述
坡高	超高边坡	岩质边坡坡高大于 25 m,土质边坡坡高大于 15 m
	高边坡	岩质边坡坡高 15~25 m,土质边坡坡高 10~15 m
	中高边坡	岩质边坡坡高 8~15 m,土质边坡坡高 5~10 m
	低边坡	岩质边坡坡高小于 8 m,土质边坡坡高小于 5 m
坡长	长边坡	坡长大于 300 m
	中长边坡	坡长 100~300 m
	短边坡	坡长小于 100 m
坡度	缓坡	岩石边坡坡度小于 30°,土质边坡坡度小于 20°
	斜坡	岩质边坡坡度 30°~45°,土质边坡坡度 20°~30°
	陡坡	岩质边坡坡度 45°~90°,土质边坡坡度 30°~45°
	倒坡	岩质边坡坡度大于 90°
坡向	向阳边坡(阳坡)	坡面朝南(北半球,南半球相反)
	阴阳边坡	坡面朝东或朝西,可细分为半阳坡和半阴坡
	背阳边坡(阴坡)	坡面朝北(北半球,南半球相反)
坡面形态	直形坡	坡面平直
	凸形坡	坡面上缓下陡
	凹形坡	坡形上陡下缓
	复合形坡	凹凸相间、坡形多变
起伏程度	平整坡	坡面基本平整,无较大凹凸
	凹凸坡	坡面凹凸不平,有较大坑穴
稳定性	稳定边坡	稳定条件好,不会发生破坏,可以直接进行生态恢复施工
	欠稳定边坡	稳定条件差或已发生局部破坏,必须处理使之达到稳定后才能进行生态恢复施工
	危险边坡	坡面物质极不稳定,随时有坍塌或掉落的可能性
水文情况	干燥边坡	下雨后坡面干燥快,夏天干旱超过 10 天坡面植物缺水
	潮湿边坡	坡面有少量地下水从岩石缝隙渗出,夏天能忍受连续 40 天干旱而坡面植物不枯
	滴水边坡	坡面有较多地下水活动,夏天即使连续干旱 60 天,坡面仍然潮湿
	涌泉边坡	坡面有泉水活动,常年涌水

CSMR(Chinese system for SMR),即中国边坡岩体分类体系,是边坡岩体质量(RMR)系统的一种应用。1997 年,在执行国家“八五”科技攻关项目时,中国水利水电边

坡工程登记小组将边坡岩体分类体系做了进一步的发展。它是在 RMR-SMR 体系的基础上,引入高度修正系数和结构面条件修正系数,提出的一种边坡岩体质量评价方法。由于它考虑了各种结构面对边坡岩体质量的影响,同时也考虑了坡体开挖高度、开挖方式的影响,因而对大中型边坡设计更有指导作用。

表 1-2 岩质边坡分类

分类依据	亚类名称	简述
岩石类型	岩浆岩边坡	由岩浆岩构成,可细分为侵入岩边坡和喷出岩边坡
	沉积岩边坡	由沉积岩构成,可细分为碎屑沉积岩边坡、碳酸盐岩边坡、黏土岩边坡、特殊岩(夹有岩盐、石膏等)边坡
	变质岩边坡	由变质岩构成,可细分为正变质岩边坡和副变质岩边坡
岩石风化程度	未风化边坡	坚硬岩石,岩质新鲜,偶见风化痕迹,浸水后基本无吸水反应
	微风化边坡	坚硬岩石,岩石结构基本未变,仅节理面有渲染或略有变色,有少量风化裂隙,浸水后大多无吸水反应
	中(弱)风化边坡	较坚硬岩石,岩石结构部分破坏,岩节理面有次生矿物,风化裂隙发育,岩体被切割成岩块。用镐难挖,岩芯钻方可钻进,浸水后有轻微吸水反应
	强风化边坡	较软岩石,岩石结构大部分破坏,矿物成分显著变化,风化裂隙很发育,岩体破碎,用镐可挖,干钻不易钻进,浸水后可用指甲刻出印痕
	全风化边坡	极软岩石,岩石结构基本破坏,但尚可辨认,有残余结构强度,可用镐挖,干钻可钻进,浸水后可用手捏成团
	残积土边坡	岩石组织结构全部破坏,已风化成土状,锹镐易挖掘,干钻易钻进,具可塑性
岩体结构	整体结构边坡	边坡岩体节理裂隙不发育,由巨块状岩浆岩、变质岩或巨厚层沉积岩构成,整体性好,岩体稳定,可视为均质弹性各向同性体,破坏时局部滑动或坍塌
	块状结构边坡	边坡岩体成块状结构,由厚层状沉积岩、块状岩浆岩或变质岩构成,完整性较好,岩体基本稳定,结构面互相牵制,接近弹性各向同性体,破坏时局部滑动或坍塌
	层状结构边坡	边坡岩体成层状结构,由多韵律薄层、中厚层状沉积岩或副变质岩构成,结构体多为层状或板状,有层理、片理、节理,常见层间滑动,变形和强度受层面控制,可视为各向异性弹塑性体,稳定性较差,可沿结构面滑塌,软岩可产生塑性变形
	碎裂结构边坡	又称网状结构边坡,由构造影响严重的破碎岩层构成,岩体成碎裂状结构,结构体多为碎块状,断层、节理、片理、层理发育,整体强度很低,并受软弱结构面控制,呈弹塑性体,稳定性很差,易发生规模较大的岩体失稳,地下水加剧失稳

(续表)

分类依据	亚类名称	简述
岩体结构	散体结构边坡	边坡岩体成散体状结构,由断层破碎带、强风化及全风化带的极易破碎岩体构成,结构体多为碎屑状,且多充填黏性土,构造和风化裂隙密集,结构面错综复杂,完整性遭极大破坏,稳定性极差,接近松散体介质,易发生规模较大的岩体失稳,地下水加剧失稳
岩层走向、倾向与坡面走向、倾向关系	顺向边坡	又称顺层边坡,二者基本一致
	反向边坡	二者走向基本一致,但倾向相反
	斜向边坡	二者走向成较大角度($>45^\circ$)相交
	直立边坡	二者走向接近垂直

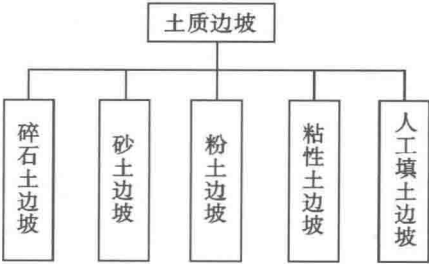


图 1-4 土质边坡分类框图

2. 按边坡变形和破坏形式分类

通常从物质类别、运动方式、变形速度、变形发展阶段和破坏类型等某一或几个方面进行。

瓦姆斯(D. Vames)按运动方式将斜坡分为:崩落边坡、倾倒边坡、滑动边坡、侧向扩离边坡和流动边坡 5 种基本类型。

我国铁道部门则将变形边坡分为:滑坡、崩塌、岩堆、错落、坠石、剥落、蠕动、坡面泥石流等。

美国的夏普(C. F. S. Sharpe)等把边坡岩土体顺坡向下的一切运动统称为滑坡,再按岩土体的移动方式、相对速度和物质组成,将其分为:缓慢流动类、快速流动类、滑动类和沉陷类等 4 大类 12 小类。

捷克的扎留巴(Q. Za. Ruba)则按物质类别、滑面形状和移动类型,将边坡变形分为:地表堆积物斜坡移动、泥质岩滑坡、坚硬岩层斜坡移动和特殊类型斜坡移动等 4 大类 13 小类。

张悼元等又根据斜坡的最终破坏形式,将其归并为:崩落(塌)边坡、滑落(坡)边坡和(侧向)扩离边坡 3 种基本类型。

日本的渡正亮,按滑坡的发展阶段将滑坡分为:幼年期滑坡、青年期滑坡、壮年期滑坡和老年期滑坡。

第三节 边坡稳定性及评价

边坡稳定性问题是边坡工程实施中的一个重要研究内容。边坡失稳往往具有严重的安全隐患,带来巨大的财产损失,甚至危及人身安全。实际工程中,需要分析影响边坡稳定性的主要因素,并对进行系统性评价,为工程处治对策提供参照依据。

一、边坡稳定性的概念

边坡稳定性是指边坡岩土体在一定坡高和坡角条件下的稳定程度。特别对于人工开挖或填筑的坡体在本身重量及其他外力作用下,整体都有从高处向低处滑动的趋势,如果其内部某一个面上的滑动力超过坡体抵抗滑动的能力,就会发生滑坡。研究边坡稳定性的目的,在于预测边坡失稳的破坏时间、规模,以及危害程度,事先采取处治措施,预防或减轻地质灾害,使人工边坡达到安全、经济的目的。

二、边坡稳定性影响因素

边坡的稳定性受内部因素和外部因素影响,内部因素包括组成边坡的应力状态、岩土类型、岩层产状、地质构造、水文地质条件等,外部因素包括边坡形态、风化作用、坡面植被、地震、人为工程活动等。

1. 边坡形态

边坡形态即边坡的地形、地貌,是指坡高、坡长、边坡的剖面形态和平面形态以及临空条件等。它对边坡的稳定性有着直接的影响。对均质岩土边坡来说,坡度越陡,坡高越大,边坡就越易变形和失稳。当边坡的稳定受同向缓倾滑动面控制时,边坡的稳定性与边坡坡度关系不大,而主要决定于坡高。此外,边坡的临空条件也对边坡的稳定性有很大的影响,例如,凹形坡较凸形坡稳定,而同是凹形边坡,边坡等高线曲率半径越小,边坡就越稳定。

2. 应力状态

地应力是控制边坡岩体节理裂隙发育及边坡变形特征的重要因素,开挖边坡会改变边坡的形态,使边坡岩体的初始应力状态发生改变,坡趾出现剪应力集中带,坡顶与坡面的一些部位可能出现张应力区;在新构造运动强烈的地区,开挖边坡会使岩体的残余构造应力得以较快释放,直接引起边坡变形破坏。

3. 岩土类型

边坡岩土的成因类型、矿物成分、结构和强度是决定边坡稳定性的重要因素。不同岩土类型的力学性质和变形特性存在很大差别,而由它们组成的边坡安全性亦不一样。一般来说,质地坚硬致密、矿物稳定、抗风化能力好、强度较高的岩石可以构成高边坡,整体安全性较好,不易发生大规模滑坡灾害;软弱岩石不易形成高边坡,即使能形成高边坡,其安全性也较差,泥岩、页岩、砂岩等层状构造岩体,容易产生顺层滑动;全风化岩质边坡和土质边坡若经过人工处理且无植被防护,则极易遭受冲刷侵蚀。

4. 风化作用

风化作用不断改造着边坡的形状和坡度,使岩土体的裂隙增多、扩大,抗剪强度降低,透水性增强。沿裂隙风化时,可使岩土脱落或沿坡崩塌、堆积、滑移等。

风化速度对边坡安全性的影响较为显著。根据野外观察和室内试验的结果,当边坡坡向与地层倾向相同时,大气降雨趋于顺地层层面流失,雨水下渗量少,边坡整体风化程度偏低;反之,边坡整体风化程度较高。另外,风化速度还受岩性控制,软质岩边坡容易变形、失稳。

5. 岩层产状

岩层产状与边坡的空间几何关系对于边坡的安全性影响也十分显著:当岩层倾向与边坡坡向相反时,边坡相对较为稳定;当岩层倾向与边坡坡向一致或接近一致时,边坡安全性较差,一般不稳定,岩体易顺层垮塌和滑动,岩层层面构成了控制垮塌和滑坡的主要结构面(图 1-5)。此时若地层倾角较大,岩性较坚硬时,边坡不稳定的破坏方式多表现为大块崩落和垮塌,当岩性松软时,边坡不稳定的破坏方式则多表现为小块散落;若地层倾角较缓,岩石力学性质较弱时,边坡多易发生整体滑坡,且治理难度很大。

当边坡的岩层倾向与边坡坡向相反或接近相反时(此时岩层走向与边坡走向一致或近于一致),虽然局部受节理切割影响易造成零星垮落,但边坡的整体安全性较好,不易发生大规模的滑坡(图 1-6)。

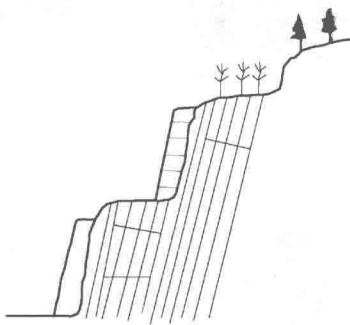


图 1-5 顺层边坡示意图

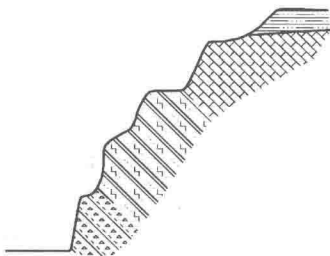


图 1-6 切层边坡示意图

另外,当边坡的岩层倾向与边坡坡向斜交时,边坡的安全性介于上述两种情况之间。边坡以岩层倾向与边坡坡向相同为主,故边坡容易失稳。岩层倾向与边坡坡向一致,边坡安全性差,岩层倾向与边坡坡向相反,边坡安全性好。

6. 地质构造

地质构造主要包括区域构造、边坡地段的褶皱形态、岩层产状、断层和节理裂隙发育情况等,它对岩质边坡的影响十分明显。在区域构造情况复杂、褶皱严重、新构造运动活跃的地区,边坡极易失稳。同时,边坡地段的岩层褶皱形态和岩层产状直接影响边坡变形破坏的形式和规模,断层和节理裂隙对其影响更为明显,某些断层或节理本身就构成滑面或滑坡的周界面。

(1)节理。节理是各种岩体中发育频度最高的一种地质构造,特别是当多组节理频繁交错时,岩体往往被切割得支离破碎,岩体工程地质节理的类型按成因可分为 3 种:岩