



rotection Technology for Highway Slope

公路边坡 防护技术

蒋鹏飞 李志勇
舒安平 欧阳心和

◎ 编著



人民交通出版社
China Communications Press

公路边坡防护技术

Protection Technology for Highway Slope

蒋鹏飞 李志勇 编著
舒安平 欧阳心和

人民交通出版社

内 容 提 要

本书理论紧密结合工程实践,对公路边坡的防护技术进行研究,主要包括:(1)基础理论,在重点研究边坡变形及相应破坏机理基础上推出了稳定性分析的典型计算式及基于高速公路特征的边坡稳定性评估程序;对边坡推力及软岩边坡中的温度效应算法进行了深入的解析。(2)坡体加固技术,以有限元数值模拟为试验工具,揭示了锚杆不同锚固长度对边坡力学性能的影响和锚索的力学计算方法;分类研究了挡土墙、加筋挡土墙、柱板式锚定板挡土墙的力学分析方法及工程特点。(3)边坡坡面防护,在无机护土技术上,研究了土工合成材料生态防护、喷浆防护、砌石防护的基本原理、适用条件、施工技术;在生态防护上,分别对客土喷播、植生带绿化、液力喷播和土工合成材料网植草等方法的技术特点进行了比较系统的阐述;最后研究了工程与植被相结合的综合防护技术。(4)作为工程实用技术,最后展示了不同边坡防护技术的工程效果。

本书可供从事公路设计、施工的相关人员参考使用,亦可供土木工程专业道路方向等专业高年级本科生、研究生以及岩土工程勘察、设计研究人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路边坡防护技术 / 蒋鹏飞等编著. —北京: 人民交通出版社, 2011.5

ISBN 978-7-114-08904-6

I. ①公… II. ①蒋… III. ①公路路基—边坡—公路养护 IV. ①U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 024446 号

书 名: 公路边坡防护技术
著 者: 蒋鹏飞 李志勇 舒安平 欧阳心和
责任编辑: 王文华 贾秀珍
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 59757969, 59757973
总 经 销: 人民交通出版社发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京交通印务实业公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 16
字 数: 358千
版 次: 2011年5月 第1版
印 次: 2011年5月 第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-08904-6
定 价: 40.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

高速公路的大规模修建,对国家交通及经济建设的发展、人们生活方式的改变及生活质量的提高起到了巨大的推动作用,但高速公路的修建也对各地局部环境造成了改变,其中最典型的表现是路基的填筑、切挖形成了高低、坡度各异的工程边坡,改变了所经之处的原生地质环境,扰动了应力场和原生地貌。根据生成方法,这些边坡可能是构成路基的各类填土、填石或土石混合填筑边坡,也可能是在山体中切挖路基而形成的路堑边坡,或者是半填半挖而形成的山体切削边坡。边坡的稳定性和抗灾能力,不但对当地居民和生态环境具有重大影响,而且对公路运营和行车安全也是无法忽视的影响因素。

由于区域性地形地貌、地质条件的差异,这些边坡的力学性能、排渗水性能、存在状态及自稳能力可能差异很大。例如,山区公路的高填路堤边坡的稳定性主要决定于填筑材料和填筑工艺,半填半挖路基山体切削边坡的稳定性不但与施工工艺有关,其关键稳定性影响因素还涉及原生地形坡度、浅部地层地质结构及地质体的力学物理性能及水理性质。同时,在许多情况下,边坡的防护技术和对策还需要考虑工作场地狭窄、运输条件艰苦等因素。因此,在高速公路边坡的防护方案选用、设计及施工中,不同的边坡需要有针对性地探索不同的加固和支挡防护技术。

本书作者从事高速公路的科研、设计和施工管理工作多年,本书是作者关于高速公路防护技术领域多年科学研究和工程实践工作的初步总结。全书内容共分为八章,按体系可分为基本理论、坡体加固技术、坡面防护技术及工程实践四部分。

第一部分包括第1、2章,主要是概括性的基本理论。第1章研究了边坡稳定评估方法,主要针对高速公路边坡,特别是山区高速公路边坡的特点,分别介绍了边坡的类型,岩质边坡中岩体结构、边坡的破坏模式。在重点研究边坡变形机制及相应的破坏机理基础上,推出了稳定性分析的典型计算式及基于高速公路特征的边坡稳定性评估程序。第2章研究高速公路边坡的处治理论与技术基础。首先系统总结了目前高速公路边坡防护对策,然后从边坡本身内部结构因素(边坡几何要素、排水条件、岩体结构等)改良,对边坡外部强力抑制措施及坡面表层和浅层防护技术提出相应见解;其次,针对高速公路边坡的力学分析,抓住关键的受力分析问题,对边坡推力的算法进行了深入的解析;最后针对公路土质、软岩风化机制,特别是软岩边坡中的温度效应进行了深入分析。本章的研究为后面的工作奠定了理论基础。

第二部分包括第3、4章,主要探讨了坡体加固技术。第3章研究了边坡地质体的主动加固技术。首先以有限元数值模拟为试验工具,揭示了锚杆不同锚固长度对边坡力学性能与稳定性的影响;其次探讨了锚索加固的力学原理,研究了锚索的力学计算方法;最后详细分析了抗滑桩原理及机制。此外,还根据多年的工程实践,介绍锚杆、锚索及抗滑桩的施工技术经验。第4章研究边坡的被动拦挡技术,着重介绍挡土墙、加筋挡土墙、柱板式锚定板

挡土墙的特点、类型及力学分析方法、工程施工特点。

第三部分包括第5、6、7章,研究了边坡表层、坡面防护技术。第5章介绍边坡表面及浅层的无机护土技术,重点介绍和研究喷浆防护、砌石防护、土工合成材料防护的基本原理、适用条件、施工技术等方面的内容。第6章是关于坡面生态防护技术的研究和应用,分别对客土喷播、植生带绿化、液力喷播和灌草立体生态建植技术等方法的技术特点、适用范围、主要材料及施工工艺流程等方面的研究成果和工程实践进行了比较系统的阐述。第7章是关于工程与植被结合防护技术。工程与植被结合防护技术是一种边坡综合防护技术,不仅要求对边坡坡体进行加固处理,而且还要求对坡面采取一定的工程和植被防护措施,既保证边坡稳定,又追求生态理念的先进技术。其中,主要论述柔性防护基础上的植被再造和路堑边坡框架梁绿化两种新型技术。

第四部分是第8章,给出高速公路边坡防护技术的工程实例和效果,是作者在长期的科研和技术、施工管理中从事的部分工程介绍。重点展示了:①坡体工程防护;②坡面生态植被防护;③工程与植被综合防护三类实体技术在相应工程中的实施及应用效果。

本书是如下基金资助研究获得的成果:(1)交通运输部西部交通建设科技项目:土工合成材料在边坡处治中的应用研究(编号:200131878528);(2)交通运输部行业联合科技攻关项目:湖南省红砂岩地区高速公路深切方边坡稳定试验研究(编号:95-03-04-06);(3)国家高技术发展863计划项目:山区公路路基边坡地质灾害监测与预警系统研究(编号:2007AA11Z121);(4)交通运输部西部交通建设科技项目:湘西山区公路边坡地质灾害危险源识别与灾害预警研究(编号:200831878542);(5)湖南省重点科技项目:山区公路路基轻型支护技术研究(03JZY3037);(6)湖南省交通科技项目:张家界地区公路软质岩边坡喷浆防护技术研究(编号:200342)。特向上述科学基金资助单位表示感谢。

本书是集体成果,相关作者负责的科研课题组为本书的成果作出了贡献,他们是邓宗伟副教授、岳志平工程师、董城工程师、郑祖恩工程师等。同时,在写作过程中,参考了目前国内外边坡工程方面有关规范、论文和著作。在撰写过程中,还受到了作者所在单位领导和同事们的支持和帮助。人民交通出版社的王文华等同志为本书的出版付出了辛勤的劳动。在此,特向他们表示衷心的感谢!

由于高速公路边坡防护加固技术问题的复杂性,有关理论、方法和技术有待更深入地进一步研究。特别是由于作者的学识、水平和研究深度有限,虽然尽了最大努力,但仍然难免挂一漏万,存在错误和不当之处,恳请各位专家和读者批评指正!

作者

2010年9月

目 录

1 边坡稳定评估方法	1
1.1 概述	1
1.1.1 边坡分类	1
1.1.2 边坡破坏的几种形式	3
1.1.3 边坡危险性评价	5
1.2 边坡稳定性影响因素分析	6
1.2.1 影响因素分析	6
1.2.2 稳定性分析四大必要条件	8
1.3 边坡稳定性评估分析	9
1.3.1 岩质边坡稳定性分析	9
1.3.2 稳定性评估方法与流程	25
2 边坡处治理论与技术基础	33
2.1 边坡防治概述	33
2.1.1 边坡稳定防护	34
2.1.2 边坡坡面防护	40
2.2 防治工程计算理论	43
2.2.1 滑坡推力分析	43
2.2.2 边坡支护后稳定性分析	52
2.2.3 边坡稳定安全系数	54
2.3 边坡防护技术	56
2.3.1 土质边坡防治	56
2.3.2 软质岩边坡风化机理	61
2.3.3 岩质边坡稳定防护	71
3 边坡坡体加固技术	73
3.1 锚杆	73
3.1.1 锚固原理	73
3.1.2 锚杆设计计算	73
3.1.3 锚杆施工	76
3.2 预应力锚索	80
3.2.1 锚索结构	80
3.2.2 预应力设计计算	86

3.2.3	预应力锚索地梁	92
3.2.4	锚索施工	97
3.3	抗滑桩	99
3.3.1	基本原理	99
3.3.2	工程设计与合理性分析	100
3.3.3	施工流程	119
4	边坡挡土墙工程技术	123
4.1	普通挡土墙	123
4.1.1	挡土墙类型	123
4.1.2	挡土墙的构造	123
4.1.3	挡土墙的布置	124
4.2	挡土墙压力计算	125
4.2.1	土压力种类	125
4.2.2	土压力计算	126
4.2.3	挡土墙施工	128
4.3	加筋锚杆挡土墙	129
4.3.1	锚杆挡土墙的设计	130
4.3.2	锚杆挡土墙稳定性分析	141
4.4	柱板式锚定板挡土墙	143
4.4.1	普通锚定板挡土墙	143
4.4.2	组合式锚定板挡土墙	154
5	坡面工程防护技术	157
5.1	柔性防护网	157
5.1.1	被动防护系列	158
5.1.2	主动防护系列	161
5.2	喷浆防护技术	163
5.2.1	滑坡体注浆加固	163
5.2.2	坡面喷浆防护	166
5.3	砌石防护	172
5.4	土工合成材料防护	173
5.4.1	土工合成材料类型	173
5.4.2	土工合成材料生态护坡	175
5.4.3	土工合成材料生态护坡施工技术	176
5.4.4	土工合成材料加筋生态路堑墙技术	179
6	坡面植被防护技术	183
6.1	植被护坡概论	183
6.1.1	公路边坡植被防护的设计理念	183
6.1.2	公路植被护坡的立地条件	186

6.1.3	护坡植物品种与配置技术	190
6.2	客土喷播技术	201
6.2.1	简介	201
6.2.2	技术特长	201
6.2.3	施工材料	202
6.2.4	施工工艺及流程	203
6.2.5	适用范围	205
6.2.6	岩石边坡喷混植生技术	206
6.3	植生带绿化技术	206
6.3.1	植生带生产	206
6.3.2	施工工艺及流程	207
6.3.3	适用范围	208
6.4	液力喷播技术	209
6.4.1	简介	209
6.4.2	技术特长	209
6.4.3	施工材料	210
6.4.4	施工工艺及流程	211
6.4.5	适用范围	211
6.5	其他技术	212
6.5.1	灌草立体生态建植技术	212
6.5.2	预制生态砖植草技术	212
6.5.3	垂直坡面绿化技术	215
7	工程与植被结合防护技术	217
7.1	基于柔性防护上的植被再造技术	217
7.1.1	技术特点	217
7.1.2	施工流程	217
7.1.3	适用范围	218
7.2	路堑边坡框架梁绿化技术	218
7.2.1	技术特点	218
7.2.2	施工流程	220
7.2.3	适用范围	221
8	工程应用实例	222
8.1	坡体工程防护	222
8.1.1	锚杆加固工程实例	222
8.1.2	预应力锚索工程实例	224
8.1.3	锚索桩板墙工程实例	227
8.1.4	锚杆挡土墙工程实例	229
8.1.5	锚定板挡土墙加固工程	230

8.2 坡面客土喷播植被防护	231
8.2.1 南方湿润地区客土喷播绿化工程	231
8.2.2 半干旱地区客土喷播绿化工程	237
8.3 土工合成材料生态护坡	239
8.4 工程与植被综合防护	241
8.4.1 柔性防护网基础上植被再造工程	241
8.4.2 路堑边坡格构内植草绿化工程	242
参考文献	245

1 边坡稳定评估方法

1.1 概述

1.1.1 边坡分类

公路工程中边坡的存在形态多种多样,边坡分类与边坡的稳定性分析、边坡设计、综合治理等方面密切联系,可根据边坡形成的形式、构成边坡的介质材料、边坡的用途等进行分类。

1.1.1.1 分类标准

公路边坡的分类标准很多,根据边坡的成因、岩性、坡高等分类依据,边坡分类如表 1-1 所示。在公路边坡工程中,往往是同时按多个标准分类,如岩石高边坡、失稳土质边坡、开挖陡坡等。相对于其他用途的边坡而言,公路边坡根据路面与天然地面的相对位置,将路基边坡划分为路堤边坡和路堑边坡。当路基面高于天然地面时,用土石方填筑起来的路基斜坡称为路堤边坡;当路基面低于天然地面时,将天然地面挖开做成的路基斜坡称为路堑边坡。

边坡分类表

表 1-1

分类依据	名称	简 述
成因	自然边坡	由自然地质作用形成地面具有一定斜坡的地段,按地质作用可细分为剥蚀边坡、侵蚀边坡、堆积边坡
	人工边坡	由人工开挖、回填形成地面具有一定坡度的地段
岩性	岩质边坡	由岩石构成
	土质边坡	由土质构成
坡高	超高边坡	岩质边坡坡高大于 30m,土质边坡坡高大于 15m
	高边坡	岩质边坡坡高 15 ~ 30m,土质边坡坡高 10 ~ 15m
	中高边坡	岩质边坡坡高 8 ~ 15m,土质边坡坡高 5 ~ 10m
	低边坡	岩质边坡坡高小于 8m,土质边坡坡高小于 5m
坡长	长边坡	坡长大于 300m
	中长边坡	坡长 100 ~ 300m
	短边坡	坡长小于 100m
坡度	缓坡	坡度小于 15°
	中等坡	坡度 15° ~ 30°
	陡坡	坡度 30° ~ 60°
	急坡	坡度 60° ~ 90°

续上表

分类依据	名称	简 述
稳定性	稳定坡	稳定条件好,不会发生破坏
	不稳定坡	稳定条件差或已发生局部破坏,必须处理才能稳定
	已失稳坡	已发生明显的破坏

1.1.1.2 土质边坡

土质边坡是公路建设过程中开挖或回填形成的,以当地土壤类型为主的边坡类型,其土质特征由当地土壤决定。根据我国的土壤分类系统,可将主要土壤类型分为红壤、棕壤、褐土、黑土、栗钙土、漠土、潮土(灌淤土)、水稻土、湿土(草甸、沼泽土)、盐碱土、岩性土和高山土 12 个系列。公路土质边坡分类主要根据土壤的黏性和胀缩性划分为五种类型,包括黄土边坡、砂性土边坡、黏性土边坡、软土边坡、膨胀土边坡。

1) 黄土边坡

黄土一般呈棕黄色或淡黄色,具多孔性,孔隙比一般为 40%~50%,成分以粉粒为主,质地均一,无层理、柱状节理和垂直节理发育,天然状态下含水甚少,干燥时甚坚固。直立边坡遇水容易剥落或遭受侵蚀。

2) 砂性土边坡

砂性土边坡是指主要由砂或砂性土组成的边坡,以结构较疏、黏聚力低为特点,作为工程边坡,一般透水性较大,饱和含水的均质砂土边坡,在振动力作用下,易于液化产生液化边坡。

3) 黏性土边坡

黏土以颗粒细密为其主要特征,但由于生成环境的不同,各类黏土的组织结构、物理力学特性等差别较大,对边坡稳定性的影响也不一样,但一般都具有干时坚硬开裂,遇水膨胀分解呈软塑性状的特点。

4) 软土边坡

软土边坡是指由淤化、泥变、淤泥质土以及其他抗剪强度极低的土组成的边坡。软土由于其抗剪强度极低,流变特征显著,对边坡稳定性极为不利。

5) 膨胀土边坡

膨胀土具有特殊的物理力学特性,因土中富含蒙脱石等易膨胀矿物,干湿效应特别明显。

1.1.1.3 石质边坡

在各种开挖的公路边坡工程中,多以岩土混合类边坡和岩石类边坡最为常见,岩石类边坡的主要分类标准见表 1-2。

石质边坡分类表

表 1-2

分类依据	亚类名称	简 述
岩石类别	岩浆岩边坡	由岩浆岩构成,可细分为侵入岩边坡及喷出岩边坡
	沉积岩边坡	由沉积岩构成,可细分为碎屑沉积边坡、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、副变质岩边坡

续上表

分类依据	亚类名称	简 述
岩体结构	块状结构边坡	边坡岩体呈块状结构,岩体较完整,由岩浆岩体、厚层或中厚层沉积岩或变质岩结构
	层状结构边坡	边坡岩体呈层状结构,由层状或薄层状沉积岩或变质岩构成
	碎裂结构边坡	边坡岩体呈碎裂结构,由强风化或强烈构造运动形成的破碎岩体构成
	散体结构边坡	边坡岩体呈散体结构,由全风化或大断层形成的极破碎岩体构成
岩层走向、倾向与坡面走向、倾向的关系	顺向坡	两者基本一致
	反向坡	两者的走向基本一致,但倾向相反
	斜向坡	两者的走向成较大角度($>45^\circ$)相交

1.1.2 边坡破坏的几种形式

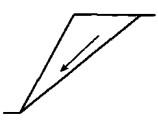
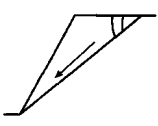
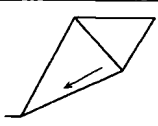
受外界不利因素的影响,自然边坡、人工开挖或者填筑的边坡,都有可能发生滑动、倾倒等形式的失稳性破坏。边坡失稳不仅会毁坏坡面植被,还会因严重的工程事故而造成巨大的经济损失,甚至危及人身安全。因此,修筑公路边坡,首先要判断边坡稳定情况,并对潜在的失稳破坏边坡采取必要的工程或生态防护措施,保证边坡稳定和行车安全。

1.1.2.1 深层破坏

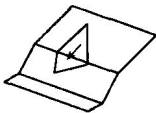
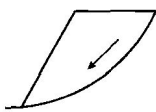
公路岩质边坡和土质边坡的失稳形式各不相同,表 1-3 是岩质边坡破坏类型。其中,平面破坏、楔形破坏和曲面破坏是一种深层失稳破坏,一般是在坡面 2m 以下深处沿滑移面产生剪切滑移破坏,滑移面是平面、楔形面或曲面,这种破坏因滑下的土石方量大,有时可达数万方,造成的危害极大。公路土质边坡深层破坏一般是圆弧滑动模式。

岩质边坡破坏类型

表 1-3

破坏类型	示意图	特 征	
平面破坏		主要结构面的走向、倾向与坡面基本一致,结构面的倾角小于坡角且大于其摩擦角,产生顺层滑坡形式的破坏。滑面是层状岩层层面或不同岩组之间的各种接触面,特别是岩层中夹有易滑的软弱层,如页岩、泥岩、泥灰岩等,而当地天然侵蚀或人工开挖基面又与软弱层分布部位邻近时,更易产生顺层滑动	一个滑动平面和一个滑动块体
			一个滑动平面和一条长裂隙
			若干滑动平面和横节理
			一个主要滑动平面和主动、被动两个滑动块体

续上表

破坏类型	示意图	特 征
楔形破坏		两组结构面的交线倾向坡面,交线的倾角小于坡角且大于其摩擦角
曲面破坏		碎裂结构、散体结构边坡中,因岩体发育破碎而出现的滑移破坏,滑面是圆弧或非圆弧的其他曲面
倾倒破坏		岩体被陡倾结构面分割成一系列岩柱,当为软岩时,岩柱产生向坡面弯曲;当为硬岩时,岩柱可再被正交节理切割岩块,向坡面翻倒

公路边坡破坏基本上分为滑体整体旋转运动和非整体旋转运动两类。在这个意义上,可以将公路边坡失稳类型分为圆弧状滑动或平板状滑动。不论是圆筒状滑动还是平板状滑动,除了后缘开明缝以外,还必然存在左右两侧侧壁裂缝。圆弧状滑动易发生在由均质土和风化岩构成的边坡或节理细而发育的岩石边坡等处。地层中存在节理、断层、层理等构造软弱线,或者存在软弱夹层或古滑移面等不连续面,且呈顺坡倾向临空面时,则沿不连续面易发生平板状滑动。

1.1.2.2 浅层破坏

公路边坡浅层破坏,一般发生在坡面的表层或坡面下不足2m的范围内。虽然滑下的土石方量很小,但它严重破坏了坡面的植被,对于这种破坏也应有足够的认识。边坡的浅层破坏形式如图1-1所示。

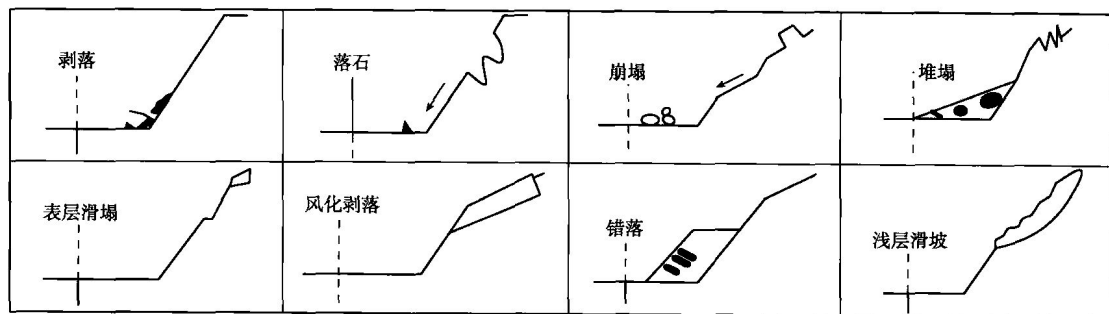


图 1-1 边坡浅层破坏形式

1) 剥落

剥落发生在容易风化的岩土坡面,例如红层岩坡或膨胀土边坡,这些边坡开挖后如果不及及时防护,坡面将发生风化,岩土体风化成散粒状后,将顺坡滑落下来。在这种坡面上植被,如果方法不当,风化的坡面会造成植被的破坏。

2) 落石

落石发生在块状结构、碎裂状结构的岩坡或者土石混合的土坡中。其原因可能是坡面受雨水冲刷或风化作用,浅层岩石局部松动后,在重力作用下从坡面落下所造成的破坏。对

这种坡面应先清除或加固危石。

3) 崩塌

斜坡上的岩体,在重力或其他外力作用下,突然向下崩落的现象,叫做崩塌。崩塌的发生往往与斜坡陡峻、岩性坚硬、地质构造发育有关的地貌地质条件相联系,崩塌落石可以发生在开挖的人工边坡上,也可发生在开挖边坡的自然山坡上,而较大规模的崩塌一般多发生在开挖边坡陡峻的自然斜坡上。对这种坡面首先应找出易崩塌处,然后予以加固。

4) 堆塌

对于碎裂状结构、散体结构的岩坡,易风化的坡面,黏砂性的土坡等,在地表水顺坡流下时,会带走坡面松散、软弱的土颗粒,在坡面形成条条沟状,出现坡面沟蚀,有的地方被淘空后,出现局部滑塌,滑塌和沟蚀冲积物将堆积在坡脚,形成堆塌破坏。另外,对于节理发育或软质、风化的岩体,由于边坡的开挖过陡,在坡顶或边坡外缘产生拉张裂缝,并逐次向山侧发展而发生堆塌。堆塌体多呈半锥体形,堆塌直至稳定的安息角为止。在这些边坡上即使做了植被防护,如果方法不当,也会发生坡面沟蚀,从而破坏已做好的植被。

5) 表层滑塌

坡体表面若分布有软弱岩土体或者一些破碎的硬质岩,在大气风化作用及水的侵蚀作用下,就有可能造成这些表层破碎的岩土体沿局部软弱面滑动坍塌,称为表层滑塌。

6) 风化剥落

风化剥落发生在容易风化的岩土坡面,例如泥岩、砂岩、红层岩坡或土质边坡,这些边坡坡面开挖后,在雨水、日照等自然营力作用下,将发生严重的风化。坡体风化后在坡面形成一定厚度的松散层,在重力和雨水作用下,该松散层将顺坡滑落造成风化剥落破坏。对这种坡面须首先清除风化层或者将风化层稳定于坡面。

7) 错落

斜坡岩体在重力作用下,沿软弱面整体性快速下错的现象称为错落。其整个错动带的形状为折线形,后壁坡度较陡,下部坡度较缓;错动面出现在坡脚临空面以上,其错落体的垂直位移量大于水平位移量。对该类边坡应先找出错落体并予以加固。

8) 坡面浅层滑坡

坡体浅层若分布有较软弱的岩土体或者破碎的硬质岩石,则在自然营力的影响下,易造成这些浅层岩土体在重力作用下沿其下一一定的软弱面或带作整体的以水平位移为主的向下滑动现象,此即坡面浅层滑坡。滑面埋深不大,滑体厚度较小,一般在 2m 以内。浅层滑坡将对坡面植被造成较大范围的破坏。

1.1.3 边坡危险性评价

对公路开挖的路堑边坡或填方的路堤边坡,应评价其危险性(危害性),并确定边坡经防护处理后的风险性,以便选择处理方案和方法。有些边坡破坏严重而加固极为困难,则路线应该避开。大多数情况下,对边坡进行危险性和风险性评价后,可使边坡灾害消除或减小。

1.1.3.1 危险性

危险性是指边坡发生破坏的可能性或破坏概率的大小及可能产生的破坏等级。破坏等级指破坏规模、破坏时运动速度和影响范围大小,它取决于地质、地形和气候条件等有关因素。破坏可能性一般与气候、地震活动、边坡坡度变化以及其他瞬态因素有关,通常可划分

为不可能、可能、一定发生几种情况。危险性一般按破坏等级和发生可能性划分为 5 个档次,见表 1-4。

危险性等级

表 1-4

等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
危险性评价	无危险性	低危险性	中等危险性	高危险性	极高危险性

高速公路边坡工程设计阶段,应避免极高危险性边坡的出现,或者采取其他措施,如隧道、明洞等,同时还应控制高危险性出现的几率,制订处理这类边坡的特殊措施。在施工中,应严格控制高危险性边坡的工程质量、施工方法、施工工艺和施工组织管理,重点加以严格管理。对于中等危险性和部分低危险性边坡,应根据实际情况,采取适当的支挡防护和坡面冲刷防护措施。对于无危险性边坡,可只采取坡面防冲刷措施,如骨架护坡、种草等。

1.1.3.2 风险性

由于路基和路堑边坡稳定受到各种因素影响,边坡的稳定性计算以及所采取的防护措施存在一定的预估性。风险性是指已存在某一等级危险性切方边坡,采取防护措施处理后边坡所承担的风险值。按工程类型和破坏造成的后果常划分为 4 个档次,见表 1-5。

风险性等级

表 1-5

等级	I 级	II 级	III 级	IV 级
风险性评价	无风险	低风险	中等风险	高风险

高风险性边坡将对公路的使用产生严重的危害,因此,公路规划设计过程中必须避免出现高风险值边坡。由于造价等原因,在特殊情况下,经过论证比较后,容许出现极少量的中等风险值边坡,但必须加强观测和预测,加强防范。一般情况下,高速公路的边坡风险值应该定在无风险和低风险档次。边坡的风险值与危险性成正比,与工程造价成反比。

1.2 边坡稳定性影响因素分析

1.2.1 影响因素分析

影响边坡稳定性的因素主要是自然因素和人为因素两类。自然因素包括:岩性、岩体结构、软弱结构面、岩体及结构面的力学性质、天然地震、地下水影响、构造营力及各种外部荷载,如风、雪等多种因素。人为影响因素包括:人工开挖边坡的几何要素(如坡高、坡比、边坡形状、超挖情况等),边坡开挖方式和爆破振动影响等因素。

1.2.1.1 岩石结构特征

根据成因,岩石可分为火成岩、水成岩和变质岩三类。在火成岩中,像花岗岩、玄武岩岩性好,岩块抗压强度大;水成岩又叫做沉积岩,像页岩、砂岩就属于这一类,典型的有红层,沉积岩的层面对岩体强度起控制作用;而变质岩情况比较复杂。

组成岩石的矿物成分对岩性的影响较大,一般火成岩的原生矿物很坚硬,而某些原生矿物如 Na、K、Ca 等化合物易溶于水,成为易风化的不稳定矿物,强度随时间显著减弱。长石类矿物经风化后分解成次生黏土类矿物,其中蒙脱石化矿物 $[(OH)_4Al_4Si_3O_2]$ 吸水性大而透水性小,使岩石具有膨胀性,岩层中这种矿物成分的存在,经常成为滑坡的主要原因。

1.2.1.2 天然地震

在边坡工程实践中,计算地震力时将它简化成等效静载,根据式(1-1)确定地震系数 K_e 的大小。

$$K_e = \beta \frac{a_{\max}}{g} \quad (1-1)$$

式中: β ——动力系数;

$a_{\max}$ ——地震时的最大加速度值;

g ——重力加速度。

按照我国抗震结构设计规范,在八级地震烈度设防的地区, $a_{\max} = 0.2g$,动力系数 $\beta = 0.25$,则 $K_e = 0.25 \times 0.2g/g = 0.05$ 。

1.2.1.3 水对边坡的影响

1) 地下水影响

地下水是影响边坡稳定的一个重要因素,通常与大气降水、地面径流密切相关。它的作用是在岩体裂隙中产生静水压力和动力压力,减小摩擦力和增加岩体的下滑力。此外,地下水沿岩体结构面长期渗流,对于结构面的泥质物起到软化作用,降低岩体强度。

水在岩体中存在的形态有:气态水、结合水(吸附水、薄膜水)、自由水(毛细管水、重力水)、固态水、结晶水及化学结合水等几种。

气态水、结晶水及化学结合水对岩体稳定性影响不大,固态水(冰)体积增大,扩充裂隙,减弱岩体强度。发生渗流的边坡,当出水点冻结后可使边坡内静水压力增加,不利于边坡稳定。

结合水是在岩石颗粒表面上因岩石与水分子的吸引力而结合的水,黏土的结合水很牢固。强结合水或吸附水是颗粒表层或离子吸附层内的水分子。薄膜水与吸附水的区别在于,前者在分子作用下可能移动,在长期荷载作用下,可能部分被挤出,而吸附水则不能。

毛细孔水,即岩石毛细孔内的水(结合水除外),它与重力水相同,可以传递静水压力。

重力水可在重力作用下产生运动,即产生静压和动压,它主要存在于岩石的孔隙裂隙中。重力水可以自然排泄,毛细孔水可部分排泄,而黏土中的毛细孔水则很难排泄。边坡开挖前原地表内的水位线是水平的,开挖后水位线成漏斗形,称为水位降落曲线,常被认为是二次抛物线。随着边坡开挖向深部运行,水位曲线下降,直到稳定的位置。

减少地下水影响的常用措施:用截水沟拦截大气降水的地表径流,用排水沟疏导地表水,用疏水廊道引排地面水流或在边坡表面打水平钻孔排泄边坡内部的积水等。

2) 降雨对边坡的影响

对边坡而言,降雨的不利作用主要表现在降低岩体强度、抬高地下水位和加大边坡内孔隙水压力三个方面。

对于岩石边坡稳定来说,起控制作用的是岩体结构面的强度。水的介入对硬质结构面的强度并无多大影响,主要影响软弱结构面。软弱结构面遇水后,充填的软弱物进一步软化,其抗剪强度则显著降低,从而导致边坡失稳。在强风化带和软弱岩层区,灾害性滑坡常常发生。

一次降雨量使山体地下水位升高的幅度与水文地质条件有密切关系。在有些条件下,

地下水位能大幅度升高,而在另一些条件下,水位升高可能极为有限。一般来说,当岩体不是特别厚,山坡较缓且地下水位在弱风化层以上时,由于岩体孔隙率大,水位上升需要更多水分供给,同样的降雨条件,水位上升幅度小。同时由于裂隙发育,岩石破碎渗透系数大,水位升高后水很容易排走。

降雨使得地下水位上升,使边坡内孔隙压力加大。强度超过入渗率的降雨历时越长,孔隙压力也越大。虽然这一孔隙压力是暂态的,降雨停止后能以较快的速度消散,但如果量值较大,则对边坡稳定的影响不容忽视。

1.2.1.4 人为因素

1) 坡度和坡比

人工开挖的边坡高度越大,边坡角越陡(亦即坡比越大),在其他相同的条件下,边坡稳定性越差,边坡破坏的概率值越高。

2) 开挖方式

路堑边坡开挖方式主要有以下几种情况:

(1) 对冲积、坡积、洪积层或者是强风化岩层,通常用施工机具或人工方式开挖,这种开挖方式对边坡面的振动破坏最小。

(2) 对风化程度较轻微的基岩,通常采用机械设备穿孔和爆破,对边坡会造成一定程度的破坏,其破坏程度主要取决于钻孔孔径大小、装药量的多少以及填充情况、起爆方式等。

3) 爆破振动

爆破使边坡岩体受到强烈振动而产生裂隙。爆破对岩石的破坏作用主要有两种:第一,炮孔的升压作用,即爆破生成的气体升压(膨胀压力);第二,由升压作用在炮孔周围产生的压力脉冲(冲击波)在传播时形成应力等。炸药爆破反应是一个高温、高压和高速的过程,爆破造成的气体温度可达 $3\,000\sim 5\,000^{\circ}\text{C}$,压力为 $4\,000\sim 30\,000\text{MPa}$,升压作用造成岩石破碎。

1.2.2 稳定性分析四大必要条件

稳定性分析必须从质和量两个方面总结其前阶段的所有调查成果,以工程形式将这些成果体现于现场,为评判其利弊得失提供所需的最具体的判断资料。进行稳定性分析前必须知道的四个必要条件如下。

1.2.2.1 基岩面

基岩面定义为“判断为未曾滑动过,今后也几乎不会滑动的地下层面”,换句话说即“判断滑动面只能是与其相贴接或相切而不能穿过它的面”。具体地说,根据用管状应变测定仪等量测的结果,其下无累计位移量,钻孔岩芯呈柱状,加上构成作为地层的连续面,构成地下水的隔水层等情况作出判断的面。实际上,这些条件并不是总能得到充分确认和观察,有时不得不依据其中的若干条件来推定。

1.2.2.2 滑动面形状

稳定性分析一般以滑坡主轴断面为对象。稳定性分析公式也随滑面形状(圆弧形或复合形)的不同而异,因而所得的结果也不同。因此,正确确定滑动面是一项重要工作,但多数情况都存在推定因素。在推定作用于滑动面的孔隙水压力以前,存在必须推定滑动面本身的难题。