

Guidelines for Slope Stabilizing on Highway

公路边坡加固技术指南

王安惠 崔建恒 邓卫东 编著
范文 赵永国 张永刚



人民交通出版社
China Communications Press

公路边坡加固技术指南

王安惠 崔建恒 邓卫东 编著
范文 赵永国 张永刚

人民交通出版社

内 容 提 要

本指南根据西部交通建设科技项目成果总结提炼而成,主要阐述了公路边坡加固方面的内容,主要包括边坡勘察,边坡稳定性评估,加固方案,加固工程设计与施工,边坡加固检测、监测和安全性评估等内容,是一本指导性很强的技术指南。

本书可供公路设计与施工人员使用,也可供相关院校师生及研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路边坡加固技术指南/王安惠等编著. —北京:
人民交通出版社,2012.2

ISBN 978-7-114-09619-8

I. ①公… II. ①王… III. ①公路路基—边坡加固—
指南 IV. ①U418.5—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 011984 号

书 名:公路边坡加固技术指南

著 作 者:王安惠 等

责任编辑:郑蕉林

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:6.25

字 数:152千

版 次:2012年3月第1版

印 次:2012年3月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-09619-8

印 数:0001-2500册

定 价:20.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

公路作为一种线状工程,穿越了各种各样的地形地貌和地质单元,出现了多种多样的边坡、路堑边坡、路堤边坡、隧道洞口边坡和仰坡等。在山区公路建设中常出现高数十米甚至百米以上的高边坡,如土质边坡、类土质边坡、岩质边坡和二元结构边坡等。早期受技术和经济条件限制,少有边坡加固工程,待边坡变形发生了病害后,才进行被动的病害治理。改革开放以来,随着我国经济技术的大发展以及山区高速公路的建设,为保证公路运输安全畅通,边坡预加固防止变形发生已成为边坡设计的重要内容,也成为一种新的设计理念。实践证明,边坡加固已取得巨大的社会效益和经济效益。

由于边坡是将地质体的一部分改造成为人为工程,因此其稳定性在很大程度上取决于地质条件的优劣。边坡的坡形坡率设计及排水和加固工程设计只有符合地质条件,才能保证长久稳定,否则就会发生变形破坏。由于地质条件的复杂性,边坡设计也千变万化,即使是同一个边坡,在不同段落、不同地质条件下,其设计和加固工程也是有区别的。

边坡开挖或堆填后可能发生的变形类型、破坏模式和范围的预测、判断以及正确的稳定性评价是边坡加固工程设计的基础。变形类型主要有滑坡、崩塌、坍塌、倾倒和错落等,要根据地层岩性、地质构造、坡体结构、水文地质条件及人为改造程度等进行预测和判断。因此,每一个边坡的设计都应有较充分的地质资料作为依据。

边坡的稳定性评价,早期主要借用土力学中的极限平衡理论,根据静力平衡条件计算边坡的稳定性。这对较均质土坡来说效果明显。但对地质结构复杂的岩质边坡来说,由于岩土强度参数难以确定,该方法受到了限制。后来从地质条件、破坏模式、作用因素和变形行迹分析作定性和定量评价,再结合静力平衡条件计算取得了较好的效果。近二十年来,随着计算理论和计算机科学的长足发展,数值模拟技术也广泛应用于边坡稳定性研究。同时,多学科的相互渗透也促进了边坡稳定理论的发展。

边坡加固技术是一种“预加固”理念,即通过合理的坡形坡率设计,结合必要的

地表和地下排水系统以及加固工程措施防止边坡发生过大变形和破坏,同时考虑环境的绿化和美化,与周围环境的协调,已形成了“重视排水、固脚强腰、一次根治不留后患、动态设计、科学施工”的原则和理念,并在实践中取得了良好的效果。

由中交第一公路勘察设计研究院主持完成的“边坡加固技术推广与应用示范”科研项目,紧密结合公路边坡工程实际,整合配套已有研究成果,补充研究了一些尚未解决的问题,建立了边坡加固工程体系,并在大量示范工程中取得了应用和验证,其具有科学性、指导性和实用性。

本指南是整个研究成果的一部分,在理论研究的基础上更侧重于实际应用,从边坡破坏类型和模式的分析判断到边坡稳定性评价,从各类加固工程措施的适用条件到它们结合不同地质条件的组合应用都做了较详细的介绍,具有较强的实用性和可操作性。它对公路边坡加固工程技术的普及和提高有巨大的推动作用,并对其他行业和部门的边坡加固有重要的参考价值,故本人愿为之作序。诚然,由于边坡问题的复杂性,还须同行专家在实践中不断研究探索,进一步完善和提高技术水平。

王恭先
2012年2月

前 言

我国地域辽阔,自然条件复杂多变,人口众多,环境非常脆弱的地方也有公路运输服务需求。世界上没有哪个国家像我们这样在崇山峻岭中大规模地修筑公路。随着我国社会经济的快速发展,公路边坡安全问题日渐凸现。几乎所有的山区公路都不同程度地受到边坡病害的威胁。边坡滑塌造成的交通中断和人员财产损失十分严重,许多山区公路建设项目因为边坡问题出现投资控制困难的问题。

经过几十年的山区公路建设实践,我国边坡工程技术有了很大的进步,建成了许多成功的范例。西部交通建设科技项目也有一系列关于边坡的专题研究成果。然而,边坡安全形势依然严峻。目前存在的问题是:第一,滑坡研究多,塌方研究少,还存在着认识上的盲点;第二,专题研究多,系统研究少,受自然地质条件复杂性和多样性制约,成功的边坡范例不能复制。为了落实科学发展观,促进科技成果及时转化为生产力,交通部运输部安排了“公路边坡加固技术推广与应用示范”项目。

边坡加固技术是稳定分析、结构工程和安全评估等多项技术的综合应用。项目实施紧密结合公路工程实际,总结吸收了公路建设实践中行之有效的经验和方法,整合配套了既有专题研究成果并进行了二次开发,补充研究盲点问题,形成了具有科学性、指导性和实用性的边坡加固技术体系,以示范工程为载体进行了应用验证。

通过对大量的边坡破坏实例和加固工程案例进行验证性模拟分析,抓重点、找规律,经过专家论证,提出了“以工程加固为目的的边坡破坏分类方案”。通过这个分类,把边坡稳定分析技术和结构工程技术联系起来。根据边坡破坏类型,可以选择适当的稳定计算模型和加固工程措施。为了明确边坡加固工程措施的使用条件和实际效果,项目组跟踪调查了一百五十个公路边坡工程,归纳总结出“公路边坡加固工程措施适宜性评价标准”和“公路边坡安全性能评价标准”,为公路边坡加固方案设计和维修养护提供了依据。

本指南概括了几十年的工程实践经验,是对公路边坡加固技术相关研究成果实用转化的探索和尝试。第1章介绍了边坡加固的特点和技术准则;第2章介绍了边坡勘察的目的、内容和方法,以及边坡破坏类型的识别和预测;第3章介绍了边坡稳定性分析方法;第4章介绍了边坡加固原则和方案设计;第5章介绍了边坡加固工程使用条件和设计施工要点;第6章介绍了边坡加固工程检测、检测 and 安全性评估。

“边坡加固技术体系”作为推广平台,随着边坡工程技术的进步不断得到补充和完善,相信对边坡加固技术的普及和提高有所裨益。

作 者
2012年2月

目 录

第 1 章 导则	1
1.1 概述	1
1.2 边坡勘察和加固工程设计的衔接	2
1.3 设计准则	3
1.4 设计安全标准和岩土作用	5
第 2 章 边坡勘察	7
2.1 概述	7
2.2 边坡勘察的内容和方法.....	11
2.3 边坡破坏类型的识别和预测.....	13
第 3 章 边坡稳定性评估	17
3.1 概述.....	17
3.2 滑动稳定性分析.....	24
3.3 崩塌稳定性评价.....	35
3.4 坍塌稳定性分析.....	39
第 4 章 加固方案	41
4.1 概述.....	41
4.2 滑动体加固.....	43
4.3 坍塌体加固.....	46
4.4 崩塌体加固.....	48
4.5 坡面加固.....	50
4.6 补强加固.....	51
第 5 章 加固工程设计与施工	53
5.1 边坡排水工程.....	53
5.2 挡土墙.....	56
5.3 抗滑桩.....	58
5.4 锚固工程.....	61
5.5 注浆.....	65
5.6 挂网.....	73

5.7	骨架护坡·····	75
5.8	植被防护·····	76
5.9	圻工封面·····	80
第 6 章	边坡加固检测、监测和安全性评估·····	81
6.1	概述·····	81
6.2	加固工程工后检测·····	82
6.3	现场动态监测·····	84
6.4	边坡安全性评估·····	88
参考文献	·····	91

第 1 章 导 则

1.1 概 述

1.1.1 公路边坡加固技术的规范化、系统化

随着公路建设规模的扩大和技术等级的提高,边坡加固技术有了巨大的进步,其中既有本行业的原创技术,也有借鉴和引用国内外其他领域的技术。由于不同类型的边坡各有其不同的特点,变形破坏的形式和机理各异,具体的加固方法也有特定的适用范围和作用原理,在工程实践中还存在着许多混乱之处和盲点。本指南试图归纳、整合边坡稳定分析及加固技术,提出较为系统的工作程序和方法,以达到规范公路边坡加固技术的目的。

1.1.2 边坡加固技术的特点

边坡加固工程的作用对象是边坡岩土体,其目的是防止边坡变形破坏危及公路工程和交通安全。明确边坡岩土体本身的稳定程度、变形破坏的形式和作用特点,是边坡加固的基本问题。因此,边坡加固技术是包括岩土勘察、边坡变形破坏类型识别和预测、边坡稳定分析和作用力计算、加固工程设计计算等在内的涉及不同学科的复合技术。

边坡设计工程师的职责不是去进行精确的计算,而是进行正确的判断。面对地质报告提供的岩土参数,如何处理它们,怎样确定岩土体和结构面的力学性质,均需要认真地阅读地质报告、研究场地地质条件背景,最大限度地利用可以利用的资料,作出正确的判断。

地质工程师应该少用些时间进行计算,多用些时间进行野外观察。岩土工程中经常出现的一个错误是,从详细研究钻孔的岩芯开始工作。尽管这些岩芯提供了基本的资料,但必须将这些基本地质资料和拟建工程场地所在的整个地质环境联系起来。能够导致边坡发生局部破坏的构造不连续面是与该地区的区域构造形式有关的。虽然野外调绘获得的资料中多数不能在稳定性计算中定量地使用,但是有助于判断最可能的破坏模式和确定岩体的合理强度和性质。因此,边坡勘察应该从工作区的地质调查和测绘开始。

在工程实践中,有些从业人员在知识结构、实践经验等方面存在欠缺,缺乏统筹应用相关学科理论和方法的逻辑思路,从而出现一些技术失误。本指南通过总结归纳以往实践经验、整合各种边坡稳定分析的理论和方法,给出了从边坡岩土结构类型划分、变形破坏类型判别、稳定分析计算到加固工程设计的步骤和方法。

1.1.3 适用范围

边坡加固工程既包括新开挖边坡和因安全标准提高的预防性加固工程,也包括对已经变形破坏的边坡进行的病害整治性加固工程。预防性加固工程和病害整治性加固工程的作用机理与设计依据是一样的。其区别在于:预防性加固工程是在边坡尚未发生变形和破坏的情况下进行的,技术关键点是边坡变形破坏类型的预测;病害整治性加固工程是在变形破坏已经发

生的情况下进行的,重要的是根据变形迹象正确地识别破坏类型。

1.1.4 相关技术标准的引用

边坡加固涉及岩土勘察、边坡几何形状和工程结构设计与施工,公路工程相关技术标准中已有的相关原则性规定和要求可以引用和参照。本指南注重引导分析和解决问题的逻辑思路、阐述关键环节的工作方法,对于可以引用和参照的内容则应遵循相关技术标准的规定。

1.2 边坡勘察和加固工程设计的衔接

1.2.1 边坡定性勘察和加固方案设计

边坡定性勘察和加固方案设计的任务,一方面是证实和确认对边坡稳定性的基本判断、加固对策;另一方面是通过布置测绘、勘探和必要的现场监测工作,明确边坡破坏的规模和性质、成因和类型、目前的稳定程度和影响因素,拟定可行的加固工程方案,提出相应的工程预算和实施计划。

加固工程方案的可靠性是以边坡失稳的范围和规模确定、内部岩土结构和变形破坏类型明确、稳定程度和影响因素清楚为基础的。边坡加固方案设计必须在查明边坡岩土结构、确认变形破坏类型、明确相应工况的稳定系数的基础上进行。

包含边坡所处的地形地貌形态、水文地质和工程地质内容的综合平面图是最基本的资料,可以说明边坡所处的自然环境、落实边坡失稳的范围和分析今后可能的发展范围。有勘探证据支持的边坡纵横断面图能够表明边坡的内部岩土和结构面的形状,是边坡破坏类型分析、稳定性计算的基础资料之一。相应的岩土参数也是边坡稳定性计算必不可少的资料。有时,为了查明滑坡移动的现状和地下水的变化规律,还要进行动态监测。

1.2.2 定量勘察和加固工程施工图设计

定量勘察和加固工程施工图设计的任务,一方面是进一步查明边坡细部结构和定量资料,补充勘察新出现的变形迹象和问题,另一方面要根据批准的加固工程方案,取得工程设计所需地质资料,落实各项工程的实施条件,做出施工设计图和工程预算。

如果说定性勘察侧重于边坡失稳的范围和规模、性质和岩土结构的宏观判断,那么定量勘察就是要查明边坡各部分的定量数据,以便落实各项工程的具体位置和尺寸。不同的工程,落实各项工程实施条件的资料不同。

(1)地面截排水工程计算设计流量需要量测汇水面积、沿途纵坡和地面变形情况、基坑开挖条件等。要特别注意滑缝处采取可靠措施,以免沟道损坏渗漏形成集中渗水。

(2)地下截排水工程布置,要在地下水等高线图和含水层分布图上研究滑坡内外的地下水补给关系、各层地下水的水力联系和水量,从而选择和拟定截排地下水工程的位置、结构类型和尺寸。滑坡外围的截水盲沟设计,需要有沿沟中线且有足够勘测点支持的地质纵断面图和若干控制性横断面图。盲洞设计需要有沿洞中线的地质纵断面图。滑坡范围的树枝形盲沟和支撑盲沟需要含水层和滑带等高线图。

(3)抗滑支挡工程包括重力式抗滑挡土墙、抗滑桩。除了滑坡推力之外,重力式抗滑挡土

墙设计需要计算墙后主动土压力、墙前被动土压力和地基承载力、基底摩擦力,因此要取得必要的地质资料和岩土参数;抗滑桩设计需要计算桩的荷载及其分布、桩周岩土的强度和嵌固段的抗力,要取得全桩段的地质资料和岩土参数。

(4)锚固工程则需要了解锚固端的岩土性质和参数。

1.2.3 补充勘察和动态设计

施工阶段的勘察主要是施工开挖的地质编录或施工超前预报,核对和补充前期资料。一种情况是应急性病害防治工程,为了避免病害进一步恶化或满足工期需要,必须立即采取工程措施控制边坡变形,同时安排勘察和补充设计。另一种情况是对于边坡的认识受客观条件的限制,设计所依据的资料与实际情况有出入,或者工程施工受自然条件限制,达不到稳定边坡的目的。

1.2.4 动态监测

为了避免意外情况的发生,同时作为勘察资料的补充,自勘察工作开始到工程竣工后一段时间的动态监测是十分必要的。

动态监测的目的,一方面是为了掌握滑坡变形情况,另一方面是为了保证人身财产安全、调整修改设计,还可以为工程验收和后评估提供依据。

动态监测一般是边坡位移检测和地下水监测,特定情况下还有岩土应力监测和孔隙水压力监测。具体工作中,应根据工程实际情况确定检测项目和方法。

1.3 设计准则

1.3.1 边坡工程的功能要求

岩土工程可以按容许应力法设计,也可以按极限状态法设计。无论采用哪种方法,都应该有足够的储备满足既定的功能要求。

- (1)能够承受正常施工和正常使用期间可能出现的各种作用;
- (2)在正常使用期限内,工程各部分具有良好的工作性能;
- (3)在正常维护下具有足够的耐久性;
- (4)在发生偶然事件或局部失效时,仍然能够保持必需的整体稳定性。

1.3.2 容许应力法

采用容许应力法设计,在正常使用条件下,比较荷载作用和岩土抗力,要求强度有一定的安全储备,变形要满足正常使用要求。荷载、抗力和安全度的取值都建立在经验的基础上。

容许应力法设计的安全储备用安全系数表达。

1.3.3 极限状态法

将岩土及相关结构置于极限状态进行分析,确定达到某种极限状态时的岩土抗力。整个工程或者其中一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的功能要求,这个特定状态就是该功能的极限状态。

采用极限状态法设计时,要满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。

承载能力极限状态又称破坏极限状态。在整个工程或其中一部分失去平衡、岩土体或结构材料超过强度极限或者变形过大而不能继续承受荷载、工程变成机动体系、岩土体或工程结构失去稳定等情况之一发生时,即认为超过了承载能力极限状态。岩土体的破坏极限状态又分为两类:一类是岩土体中形成破坏机制,如整体滑动、垮塌、结构倾覆等;另一类是岩土体过量变形导致工程发生结构性破坏。

正常使用极限状态,也称功能极限状态,是对应于工程正常使用和耐久性的某种规定。例如,由于岩土变形造成的工程过度倾斜、裂缝,岩土刚度不足而导致影响工程正常使用的振动,地下水渗漏影响工程正常使用等。

需要特别注意的是,工程设计要能承受正常施工和正常使用期间可能出现的各种作用。正常使用期间可能出现的作用,只要采用设计标准且设计计算正确,一般不会存在问题。施工期间可能出现的作用往往被忽略。由于结构类型、施工工艺的不同,工程施工期间的作用有很大的差别。有时,施工期间的作用方式与正常使用期间完全相反。

1.3.4 分项系数表达式

岩土介质的复杂性和不确定性,既有符合概率特征的一面,又有认识欠缺的一面。关于概率分析方法在岩土工程中的应用,国内外都有一定的研究进展。但是在工程实践中,对每项工程都进行概率分析是不现实的。目前,结构工程的极限状态设计采用分项系数表达式。无论是采用概率法还是采用定值法,都要与容许应力法相校核。

概率法将设计变量作为随机变量,安全度用可靠度表达,对作用、抗力、安全度进行概率分析,按失效概率表征工程可靠度。

定值法将设计变量作为非随机变量,其安全度用安全系数表达,以适当增大作用和折减强度作为安全储备。作用力、抗力、安全系数取值都建立在经验的基础上。

1.3.5 实体试验和动态监测

岩土工程影响因素十分复杂,计算模型无不经过较大的简化;地质条件往往难以完全查清楚,岩土参数由于样品的代表性、试验条件和实际的差异性而不容易准确取得;模型试验由于材料和尺寸效应问题,也不十分可靠。鉴于地质条件的复杂性和岩土参数的变异性,对于重要的边坡工程,根据实体试验和动态监测进行优化设计是较为合理、可行的。

1.3.6 反分析的应用

根据实体工程的监测数据反求岩土特征参数的反分析方法,必须具备详细的岩土结构和地下水条件及其变化资料、岩土体初始状态和应力历史数据、施工和运营过程的观测数据、确定的边界条件,并采用合理的数学模型。

不论是为了确定岩土参数,还是查验设计计算的合理性,反分析都是按照一定的数学模型、根据已知参数反求特征参数。计算公式和已知参数必须是确定、可靠的。尽管如此,采用的数学模型也对实际情况进行了简化,或者还需要一定的假设条件。因此,反分析只是一种技术论证方法,而不作为责任查证的手段。

1.4 设计安全标准和岩土作用

1.4.1 边坡安全等级

公路边坡的设计安全等级,根据边坡破坏可能造成后果的严重程度划分为三个等级,见表 1-1。

公路边坡工程设计安全等级

表 1-1

设计安全等级	涉及工程类型
I 级	直接危及修复困难的重点工程的边坡
II 级	高速公路和一级公路上的其他边坡
III 级	二级以下公路上的其他边坡

确定边坡加固的设计目标是必要的。边坡破坏的后果可以归纳为损坏相关工程和影响交通两个方面。参照有关规范的规定,根据边坡破坏对相关工程的危害程度,可以将公路边坡的设计安全等级分为三类:第一类是直接危及修复困难的重点工程,如大桥、特大桥和修复困难隧道、路基、挡土墙等;第二类是涉及的工程容易修复,但阻断交通会造成严重影响,如交通流量大的高速公路和一级公路;第三类是二级以下公路上的边坡。

1.4.2 设计工况

公路边坡设计工况根据地形地质条件,结合主体工程的布置、施工条件,分为持久状况、短暂状况和偶然状况三种工况。

持久状况:即正常使用工况,采用岩土作用力+结构物自重力+正常水压力+结构约束力的基本组合设计。

短暂状况:包括施工期开挖基坑、缺少结构约束或截排水措施的状况、运营期暴雨或久雨以及排水设施失效引起的地下水位升高,采用岩土作用力+结构物自重力+非正常水压力+结构约束力的基本组合设计。

偶然状况:主要是指遭遇地震的状况,采用岩土作用力+结构物自重力+水压力+结构约束力+地震作用的偶然组合设计。

1.4.3 设计安全系数

具体边坡工程所采用的安全系数,应根据对边坡与建筑物关系、边坡工程规模、工程地质条件复杂程度以及边坡稳定分析的不确定性等因素的分析,在表 1-2 所给的范围内选取。

公路边坡工程设计安全系数

表 1-2

安全等级	持久状况	短暂状况	偶然状况
I 级	≥ 1.30	1.25~1.15	1.15~1.10
II 级	1.30~1.25	1.20~1.15	1.15~1.10
III 级	1.25~1.20	1.15~1.10	1.10~1.05

稳定系数与安全系数是两个不同的概念。安全系数的定义是极限应力与容许应力之比,包括不确定因素和工程重要性的安全储备。稳定系数的定义为极限强度与实际应力之比,是刚体静力平衡的概念。由于岩土介质的复杂性,尚未达到极限平衡状态的边坡,也往往会有一定的变形,并且影响到工程安全和正常使用。稳定系数 1.10 并不意味着有 10% 的安全储备。根据大量工程经验,稳定系数 1.10 是滑坡蠕动变形的临界点。只要滑坡滑动变形不波及保护对象,较低的稳定系数不会对工程造成危害。而对于滑坡范围内的工程,如果滑坡变形会导致工程结构损坏或者正常使用,就不允许滑坡变形,应该有较高的稳定系数。

1.4.4 设计作用分项系数

采用分项系数法设计时,加固工程设计作用按式(1-1)计算。

$$P = K_s \sum \lambda_i P_i \quad (1-1)$$

式中: K_s ——设计作用安全系数,根据保护对象的重要程度,取 1.25~1.5;

λ_i ——作用分项系数,按表 1-3 取用;

P_i ——作用荷载。

设计作用分项系数

表 1-3

作用因素	分项系数	作用因素	分项系数
岩土及结构重力	1.00	变动水压力	1.20(1.10)
岩土侧向作用	1.40	活动作用	1.50(1.25)
正常水压力	1.00		

注:括号内的值相应于短期或作用重复组合的情况。

1.4.5 岩土作用分项系数

边坡岩土作用根据边坡破坏类型,按照相应的计算模型计算。在试验频度满足要求的情况下,应通过统计方法确定计算采用的岩土参数,相应的分项系数按表 1-4 确定。

岩土作用计算的分项系数

表 1-4

计算参数	分项系数	计算参数	分项系数
重力	1.0	黏聚力 c	0.7
水压力	2.0	摩擦角 φ	0.5

不论是稳定性计算,还是作用力计算,都必须选用符合边坡破坏模式的计算模型。整体滑动稳定性和滑动推力计算按照滑动模型计算,没有滑动条件的边坡,就不能盲目地按照滑动模型计算;均质黏性土边坡按圆弧法进行滑动验算,层状结构的边坡就不能按圆弧法验算。

影响边坡稳定的诸多因素参数中,不确定性最大的是地下水条件。不论是勘察时的地下水状况和取样试验条件与最不利状况的差异,还是初次破坏时峰值强度到残余强度的落差,水压力和 c 、 φ 值都应该有较大的安全储备。在工程实践中,往往不容易取得准确的岩土参数,可根据取样试验、工程类比、反分析等方法,结合以往的经验综合确定。

第2章 边坡勘察

2.1 概 述

2.1.1 边坡勘察的基本任务

边坡加固工程设计,要明确实施的位置、加固方案、工程种类和规模以及预期的效果。对于拟开挖边坡的勘察,预防边坡失稳破坏,查明边坡所在地段的工程地质条件、分析坡体岩土结构并预测边坡失稳的可能性及其变形破坏类型是主要任务。对于既有边坡病害的勘察,区分破坏基本类型、预测其发展趋势和影响范围是主要任务。

以工程加固为目的的边坡勘察基本任务是:

(1)确定滑坡变形的范围。正在活动且变形明显的区块容易判断,在边坡变形进一步发展的情况下,要对相邻区块变形的可能性作出判断是不容易的。预测可能发生的边坡破坏类型需要更专业的方法和经验。边坡变形范围的最终确定,仅仅通过地表勘察,往往难以作出正确的结论,必须借助有效的勘探手段,弄清边坡的岩土类型、优势结构面的位置和空间形态。

(2)查明边坡的内部结构和变形破坏边界面的空间形态。所谓内部结构,既包括岩土结构,也包括变形范围内部的分段、分级、分块。已经发生的变形破坏的边坡,根据表现出的变形迹象和勘察证据可以辨别其破坏类型;可能发生的边坡破坏要以边坡岩土结构类型为基础,按照边坡坡率和优势结构面方位所决定的应力分布规律预测其破坏类型。

(3)提供破坏界面岩土的 c 、 φ 值和变形块体岩土的 γ 等参数。根据边坡破坏类型选择合适的计算模型是边坡稳定性和工程设计计算的重要内容。无论采用何种计算模型,破坏面的强度参数和块体重力参数都是必不可少的。

(4)掌握影响岩土物理力学参数的地下水活动情况。地下水活动是影响岩土强度和重力参数的重要因素。根据地下水活动规律确定最不利条件下的岩土参数,也是边坡加固设计的基本条件之一。

2.1.2 边坡勘察的基本要求

边坡勘察的基本要求是,查明边坡所在地段的地貌形态、坡体岩土结构和影响边坡稳定的因素,判断边坡失稳破坏的可能性及其破坏类型,取得边坡加固方案设计和工程结构设计计算所需的资料 and 参数。

所谓的地貌形态是指边坡所在地段的微地貌及其形态,如堆积的阶地、洪积台地、坡积裙或者剥蚀裸露的岩石山坡,既间接地反映了坡体物质构成,也形成了原始临空条件。

所谓的坡体岩土结构是指构成坡体的岩土类型及其组合关系。构成坡体的岩土体呈单一成分或者由各种结构面分割成不同性质的块体。岩土体和结构面性质是决定边坡稳定与否和产生不同破坏形式的物质基础。

所谓的结构面是指坡体内部存在的各种原生的或者次生的层面、层理、节理、断裂等分离

面。在多数情况下,这些分离面也是软弱面,产状与边坡开挖面的组合关系往往是决定边坡稳定与否及其破坏形式的主要因素。

2.1.3 边坡破坏变形方式和岩土结构类型

(1) 边坡破坏变形方式

边坡变形方式包括拉裂和蠕滑。

发生在边坡顶部的拉张带内的拉裂变形,是坡率较陡的边坡内部应力调整造成的,多与其他变形方式一起形成组合变形。

卸荷回弹和地应力释放发生的拉裂变形,会使岩土体内部产生卸荷裂隙。卸荷带的宽度和深度又与临空条件(坡高、坡度和形状)、坡体岩土性质有关,在垂直结构面控制的硬质岩石边坡,如产状陡立的层状岩石和垂直裂隙切割的块状岩体,通常发生崩塌破坏;松散土、风化带和破碎岩石边坡常常发生坍塌破坏。

受最大剪应力面控制的蠕滑,一般见于均质土边坡、构造带内呈似散体状的破碎岩石边坡、巨厚的全风化带的边坡(如南方某些地区的巨厚花岗岩全风化土)。如果没有层状地下水影响,通常会发生所谓的圆弧滑动。

受软弱结构面控制的蠕滑,常见于层状结构和节理切割的块体结构。其地质模型可分为沿软弱结构面滑动的层状结构(包括层状松散堆积土、具有层状结构的沉积岩和变质岩、厚度不大的风化带)以及节理分割成楔形块滑动的块状结构。

受软弱基座控制的蠕滑,常见于有一定厚度的软弱下卧层(如黏土岩、煤系地层、淤泥质软土等)边坡,最终的破坏类型往往是上覆硬岩的崩塌、错落和滑动。软土地区的路基滑动破坏也属于此种类型。

(2) 边坡岩土结构类型

基于上述分析,归纳边坡变形地质模型包括:类均质松散结构、层状结构、块体结构、软弱基座(表 2-1)。由于厚层的散体状风化层和破碎岩石不具备由优势结构面控制变形的特点,其变形破坏基本上取决于坡体应力分布和整体强度,故将其与均质松散土归于一类。膨胀土的干缩湿胀特性,形成地下水聚集在大气影响深度的底界,是这类边坡变形破坏的原因,故将其归入层状结构类型。

主要岩土结构类型

表 2-1

结构类型	常见岩土类型	结构特点	常见地貌单元
类均质松散结构	厚层松散堆积土(膨胀土除外)、散土状风化层、似散体状的破碎岩石	不存在或分不出优势结构面	洪积、堆积台地及巨厚风化带、构造破碎带
层状结构	膨胀土、层状松散土及岩石上覆松散土、不同程度风化带、层状沉积岩、变质岩	沉积层面是分隔不同性质岩土的优势结构面	冲积扇、坡积裙、河流阶地、层状岩石组成山坡
块体结构	穿透性裂面分割的岩体或巨厚岩层	构造裂面、卸荷裂隙将岩体分隔成块体	侵入岩体、厚层沉积岩和变质岩组成的山坡
软弱基座	边坡下面存在软弱下卧地层	强度较高的岩土体下伏软弱岩土层	下卧软弱地层的硬岩山坡、下卧软土的阶地和崩滑堆积体

2.1.4 结构面的性质和影响

边坡稳定性分析中所研究的最主要的因素是坡体中分割岩土体的结构面产状与开挖面的坡度及方向之间的几何关系。它们决定岩土体的各个部分是否滑动或塌落。

第二个重要的因素是潜在破坏面的抗剪强度,此破坏面可以是单一的不连续面,也可以是几个不连续面的组合,而且还包含一些完整岩石的断裂面。定出可靠的抗剪强度值是边坡设计中极为重要的部分。虽然有可能将岩石节理抗剪试验所得结果用于设计沿着与它类似的单一节理面发生破坏的边坡,但这些试验结果却不能直接用于设计破坏过程复杂、涉及几种节理和某些完整岩石的破坏的边坡。

在后一种情况下,应对抗剪强度数据进行某种修正,以考虑试验中的剪切过程与岩体中预期将发生的情况之间的差别。此外,岩面抗剪强度会出现差别,这是由于风化、表面粗糙度、存在着压力水等方面的影响造成的,也是由岩样表面和实际边坡发生破坏的岩石表面之间的尺寸有差别而造成的。

结构面成因类型及其分级见表 2-2、表 2-3。

结构面成因类型

表 2-2

成因类型		地质特征
原生结构面	沉积结构面	沉积过程中形成的层理面、不整合面和软弱夹层
	侵入和冷凝结构面	岩浆岩侵入形成的接触面、蚀变带,冷凝过程中形成的原生节理、流纹、流线
	变质结构面	变质过程中形成的片理、板理、千枚理和软弱夹层
构造结构面		节理、断层、劈理和层间错动
次生结构面		风化、卸荷、爆破裂隙,风化和泥化夹层

结构面分级

表 2-3

分级	地质类型	力学意义	工程意义
I	延伸数十公里、深度切穿构造层、破碎带宽度数米以上的深大断裂带	构成独立的力学介质单元	形成边坡所处的地质环境,是控制边坡稳定的重要条件
II	延伸数公里,宽度在 1~5m 的断层、不整合面、侵入接触面、层面、软弱夹层、风化界面	形成力学介质边界	控制边坡变形的区段
III	延伸数米至上百米、宽度在 0.5m 左右、仅存在于一个层系或一种岩性中的断层、层面和原生软弱面	形成块体分离界面	与临空面组合,控制边坡破坏的类型
IV	延伸数米至数十米、无明显宽度的节理、片理、层理、劈理、风化和卸荷裂隙	形成岩土体力学性质	与其他结构面组合,决定边坡破坏的类型
V	延伸性差的细小或隐蔽裂面及线理	形成散体介质	随机分布,降低岩土体强度

2.1.5 边坡破坏类型

边坡破坏类型的识别和预测的目的,一方面是要建立边坡的稳定分析计算的数学模型,另一方面是要为合理地设计边坡和加固方案提供依据。

不论是宏观定性分析,还是定量数值计算,边坡失稳破坏的基本类型是最基本的出发点。以工程加固为目的的边坡破坏类型划分方案应该遵守以下几个原则:第一,基本类型能够反映边坡变形特点和岩土作用的方式,据此可以选择合适的计算模型、制订加固对策、进行加固方