



普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

边坡工程

主编 朱大勇 姚兆明
主审 邓建辉



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

边坡工程

主 编 朱大勇 姚兆明
副主编 徐士良 卢坤林 黄 铭
主 审 邓建辉



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

边坡工程/朱大勇,姚兆明主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.10

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

ISBN 978-7-307-14006-6

I. 边… II. ①朱… ②姚… III. 边坡—道路工程—高等学校—教材
IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 182100 号

责任编辑:孙 丽 李嘉琪

责任校对:王亚明

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉科源印刷设计有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:17.5 字数:487千字 插页:2

版次:2014年10月第1版 2014年10月第1次印刷

ISBN 978-7-307-14006-6 定价:35.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

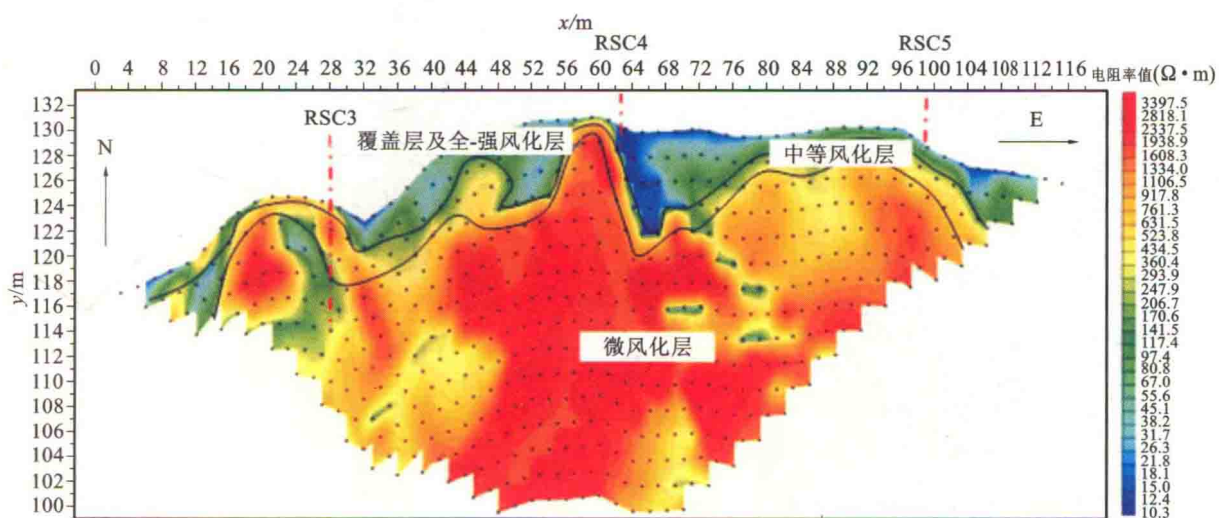


图 1 高密度电法反演成果(苏兆锋等,2011)

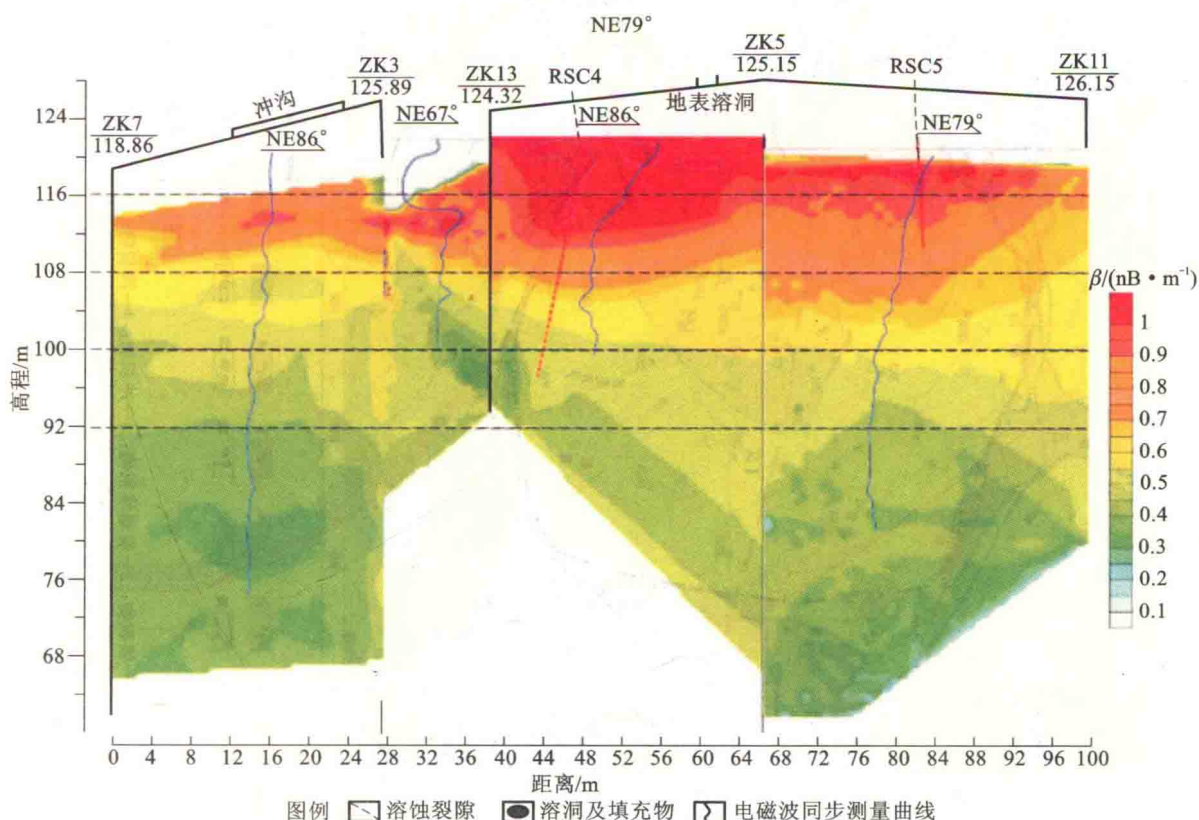


图 2 ZK7-ZK3-ZK13-ZK5-ZK11 电磁波层析成像剖面(苏兆锋等,2011)

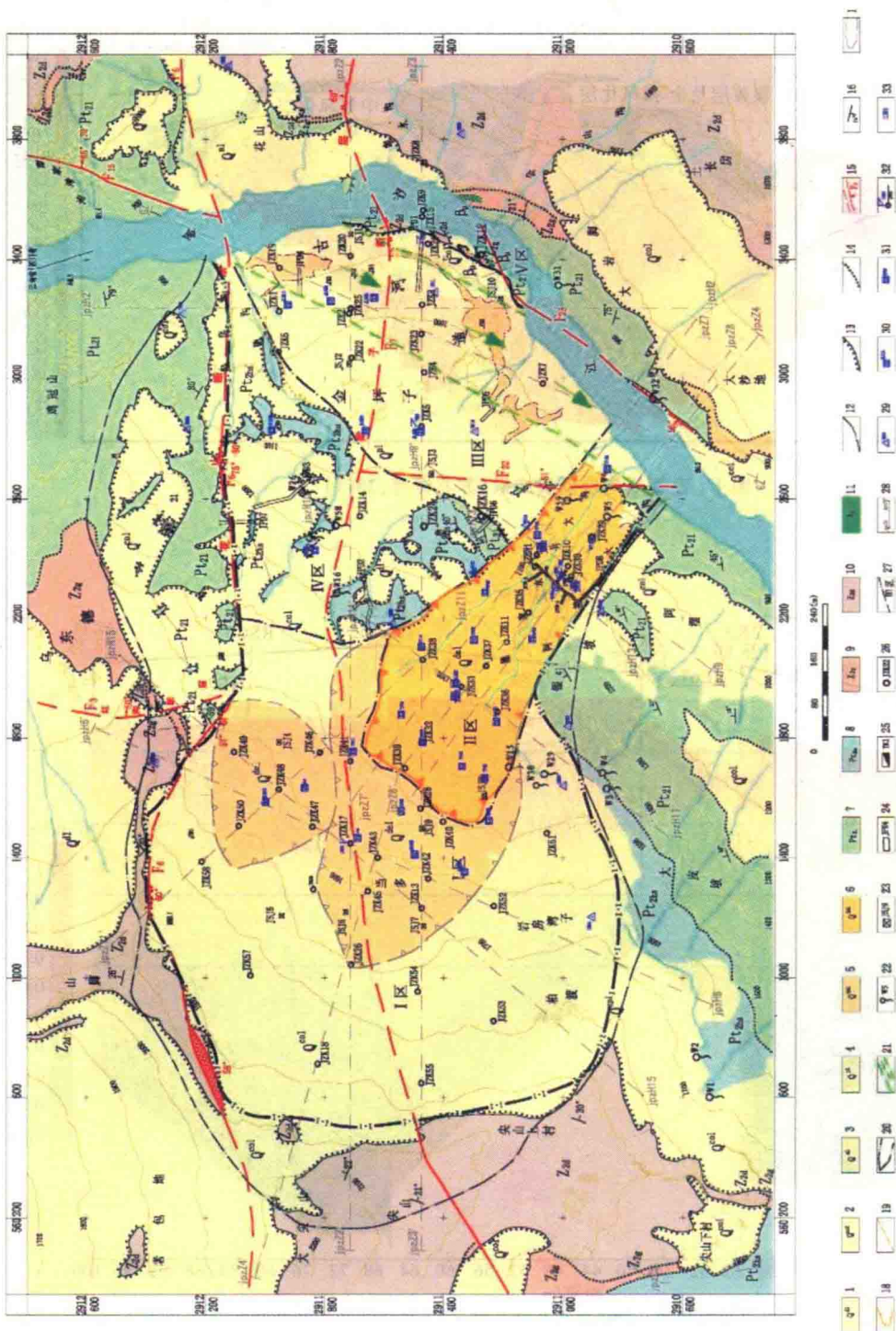


图3 金坪子滑坡工程地质图

1—堆积物; 2—崩塌堆积物; 3—冲积物; 4—洪积物; 5—古滑坡堆积层; 6—II区滑坡堆积层; 7—落雪组; 8—厚层灰岩、变质灰岩; 9—观音岩组; 10—灯影组; 11—辉绿岩脉; 12—斜坡轮廓线; 13—不整合界线; 14—整合界线; 15—断层、推测断层; 16—岩层产状; 17—稳定古滑坡边界线; 18—蠕变滑坡范围线; 19—滑坡前剪出口线; 20—分水岭; 21—古河道; 22—最点及编号; 23—竖井及编号; 24—平洞及编号; 25—坑槽及编号; 26—钻孔及编号; 27—斜坡分区线及编号; 28—剖面线及编号; 29—监测基准点; 30—视准基点; 31—地表监测点; 32—钻孔倾斜仪; 33—平洞伸缩仪

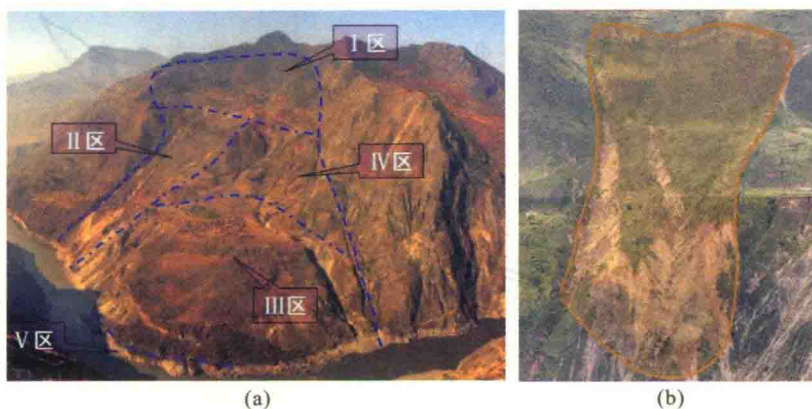


图4 金坪子斜坡现场照片

(a)整体图;(b)II区

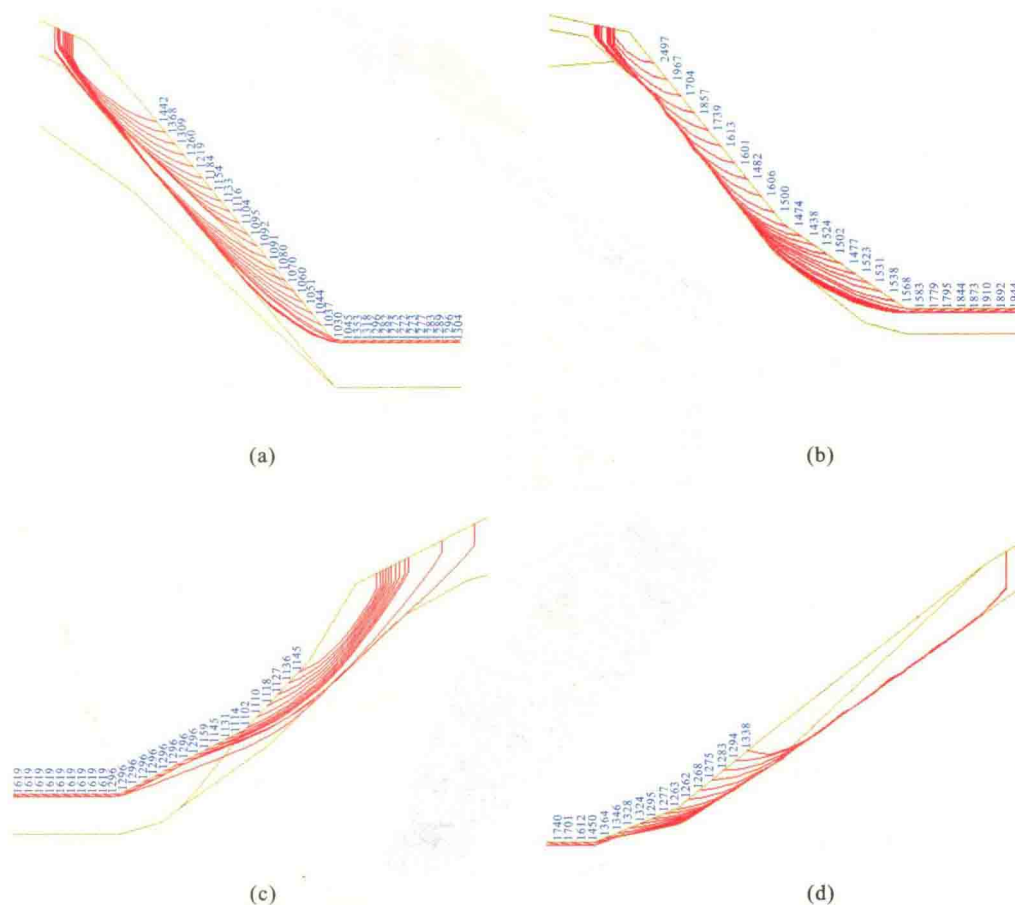


图5 边坡稳定性计算结果

(a)K25+660~K25+710 边坡,安全系数 $K=1.030$;(b)K26+235~K26+280 边坡,安全系数 $K=1.438$;
(c)K25+720~K25+790 边坡,安全系数 $K=1.102$;(d)K27+050~K27+110 边坡,安全系数 $K=1.262$

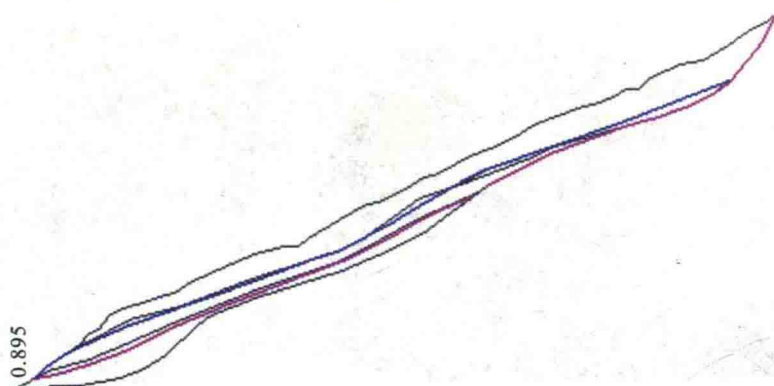
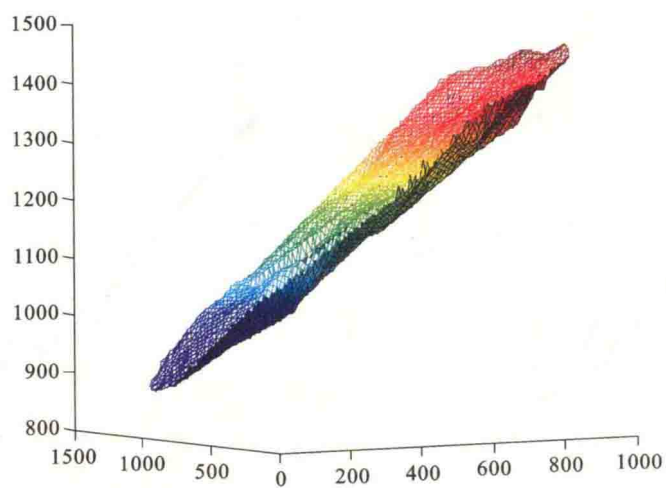
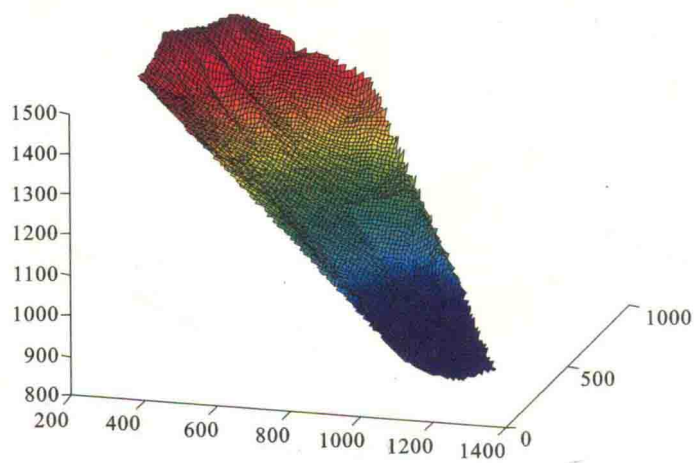


图 6 主滑面二维计算结果



(a)



(b)

图 7 三维分析

(a) 计算模型; (b) 三维滑面

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾问: 干洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程桦 颜事龙

主任委员: 丁克伟 徐颖 高飞

副主任委员: 戈海玉 方达宪 孙强 杨智良 陆峰 胡晓军

殷和平 黄伟

委员: 马芹永 王睿 王长柏 王佐才 韦璐 方诗圣

白立华 刘运林 关群 苏少卿 李长花 李栋伟

杨兴荣 杨树萍 肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞

张洵 张速 张广锋 陈燕 邵艳 林雨

周安 赵青 荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华

钱德玲 倪修全 郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑: 曲生伟

秘书长: 蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录 www.stmpress.cn 下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

前言

边坡是自然或人工形成的斜坡,是人类工程活动中最基本的地质环境之一,也是工程建设中最常见的一种工程形式。边坡工程是研究各种不同类型边坡的稳定性及其有效防治技术的科学。

国际上将滑坡(崩塌)、泥石流、火山、地震并列为全球性地质灾害。全球范围内,凡是有人类居住和工程活动的山岭地区,几乎都有滑坡灾害发生,其成为各灾种中频率最高、损失最大的地质灾害类型。我国是亚洲乃至世界上滑坡灾害最为严重的地区之一。我国山区面积 663.6 万平方千米,占整个国土面积的 69%,全国有 56% 的人口生活在山区,由边坡失稳造成的损失不计其数。特别是随着人类活动的加剧(如水利水电工程、道路工程、矿山工程和国防工程等),边坡失稳引起的滑坡、崩塌灾害往往会带来巨大的生命和财产损失。长久以来,工程界和科学界从稳定性评价和治理技术这两大方面开展了一系列的研究探索,并取得了丰硕的成果,但无论哪一种评价方法都有它的适应性和局限性。另外,边坡岩土体是性质极其复杂的地质介质,长期的地质作用使其成为自然界最复杂的材料之一。它的力学特性参数、结构面分布规律、工程性质等都是复杂多变的,并具有强烈的不确定性。这些客观存在的不确定性给边坡稳定分析带来了巨大的困难。

编者在从事岩土工程教学与研究过程中,完成了较多的边坡工程项目,借机将从事边坡工程研究中积累的经验、方法及相关理论编写成书,希望能对从事边坡工程工作的相关人员有所帮助。

本书为住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会“2013 年度高等教育教学改革项目土木工程专业卓越计划专项”立项课题成果之一。

本书编写人员及分工如下:

第 1 章由合肥工业大学朱大勇、卢坤林编写,主要介绍了边坡及边坡工程的基本概念和研究内容,归纳了边坡破坏的主要形式、影响因素以及经常采用的加固措施。

第 2 章由安徽建筑大学徐士良编写,主要介绍了边坡工程的勘察技术,教学重点是边坡工程勘探与取样、室内试验和原位测试技术,教学难点是室内试验与原位测试技术的原理及应用。

第 3 章由合肥工业大学朱大勇、卢坤林、袁海平、姚华彦、王国体编写,主要

介绍了边坡稳定性分析的基本方法,包括工程类比法、刚体极限平衡法及数值分析方法,还介绍了临界滑动场法和三维极限平衡稳定性分析方法。临界滑动场法的首要贡献是能准确、迅速、方便地定出边坡临界滑面位置,并且不需要初始滑面,能避开局部极值问题,由于不需要计算者有过多的计算经验,因而更易于推广到工程应用中。它可将所有可能危险滑动范围同时显示出来,比单一的临界滑面更能反映边坡整体或局部的稳定性,这是别的方法难以比拟的。现有三维边坡极限平衡计算方法即条柱法,不能考虑所有重要的平衡条件,计算过程复杂,且计算精度得不到足够的保证,在工程推广应用上受到了很大的限制。编者应用滑面正应力修正方法,首次得到满足所有 6 个平衡条件的三维边坡严格极限平衡解答,与满足 3 个力平衡和 2 个力矩平衡条件的三维边坡准严格极限平衡解答。三维边坡严格极限平衡方程组可化为关于三维安全系数的 6 次代数方程,通过调节滑动方向和转动系数可得到最终有意义的解答。

第 4 章由安徽理工大学姚兆明、缪海波、杜晓丽编写,主要介绍了边坡工程经常采用的治理措施,包括截排水、挡土墙、抗滑桩、锚杆(索)、加筋挡土墙、注浆加固以及生态护坡。传统护坡方法的优点是护坡能力强,但是不利于生态环境的保护,在外观上与周边景观不协调,与注重保护生态环境的发展趋势相违背。因此,此类护坡方法在今后工程建设中将会受到越来越多的限制。强调生态护坡的生态环境效益与景观改善功能,综合形成既具有护坡功能,又具有优美、和谐、美学价值的坡面生态景观将成为今后边坡治理工程的趋势。因此,边坡工程工作者在重视边坡稳定与维护功能的同时,还应注重保护生态和谐。

第 5 章由合肥工业大学黄铭、朱大勇,安徽理工大学夏艳华编写,主要介绍了边坡工程的监测方法,数据处理与预测、预警的相关理论。除了介绍大地测量、变形监测、应力监测、地下水监测等传统的监测方法外,还介绍了一些工程监测新技术,如数字化摄影、三维激光扫描技术、3S 技术、声发射技术、时域反射技术及光纤传感技术。

本书由朱大勇、姚兆明担任主编,徐士良、卢坤林、黄铭担任副主编;全书由朱大勇和卢坤林统稿,合肥工业大学研究生刘拴奇、吴迎雷、纪伟参与了部分绘图及例题计算;中铁西北科学研究院有限公司王劲松提供了部分实例资料;四川大学邓建辉担任本书主审。

本书在编写过程中得到了许多人员的大力支持和帮助,在此致以诚挚的谢意。由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

2014 年 6 月

目录

1 绪论	(1)
1.1 边坡及边坡工程的概念	(2)
1.2 边坡的工程分类	(2)
1.3 影响边坡稳定的主要因素和破坏类型	(3)
1.4 常见的边坡加固措施	(6)
1.5 边坡工程研究的历史沿革	(7)
1.6 边坡工程的基本研究内容	(9)
1.7 边坡工程设计的一般原则	(10)
知识归纳	(11)
独立思考	(11)
参考文献	(11)
2 边坡工程勘察技术	(12)
2.1 概述	(13)
2.2 边坡工程勘察的一般要求	(13)
2.3 边坡工程地质调查与测绘	(20)
2.4 边坡工程勘探与取样	(21)
2.5 边坡工程室内试验与原位测试	(32)
2.6 边坡工程勘察报告	(45)
知识归纳	(49)
独立思考	(49)
参考文献	(49)
3 边坡工程稳定性评价及分析方法	(51)
3.1 概述	(52)
3.2 安全系数与工程允许安全系数	(53)
3.3 工程地质类比法	(55)
3.4 刚体极限平衡法	(59)
3.5 最危险滑面搜索	(79)
3.6 三维极限平衡稳定性分析方法	(91)
3.7 数值法在边坡工程中的应用	(103)
3.8 边坡稳定应力状态方法	(110)
3.9 典型案例分析	(116)
知识归纳	(128)
独立思考	(128)

参考文献	(128)
4 边坡工程的治理技术	(130)
4.1 概述	(131)
4.2 排水工程设计	(133)
4.3 抗滑挡土墙	(140)
4.4 锚杆(索)技术	(151)
4.5 锚杆(索)挡土墙	(158)
4.6 抗滑桩	(161)
4.7 加筋土挡土墙	(178)
4.8 注浆加固边坡	(188)
4.9 生态护坡简介	(205)
4.10 典型案例分析	(212)
知识归纳	(232)
独立思考	(232)
参考文献	(233)
5 边坡工程的监测与预测、预警	(234)
5.1 概述	(235)
5.2 边坡工程监测的依据、内容和原则	(236)
5.3 边坡工程监测仪器	(238)
5.4 边坡工程常用监测方法	(243)
5.5 边坡工程监测数据处理	(252)
5.6 边坡工程预测、预警	(262)
5.7 典型案例分析	(266)
知识归纳	(271)
独立思考	(271)
参考文献	(271)

绪 论

课前导读

□ 内容提要

本章主要包括边坡及边坡工程的基本概念、边坡的工程分类、边坡的破坏类型和加固措施、边坡工程的基本研究内容和设计基本原则。

□ 能力要求

通过本章的学习，学生应了解边坡及边坡工程的基本概念、边坡的工程分类、边坡的破坏类型及加固措施，熟悉边坡工程的基本研究内容和设计基本原则。

1.1 边坡及边坡工程的概念

边坡是指自然或人工形成的斜坡,是人类工程活动中最基本的地质环境之一,也是工程建设中最常见的一种工程形式。图 1-1 所示为一典型边坡示意图,图中标注了其组成要素和相关术语。坡面与坡顶相交的部位称为坡肩,与坡底面相交的部位称为坡趾或坡脚;边坡与水平面的夹角称为坡面角或坡倾角;坡肩与坡脚间的高差称为坡高。

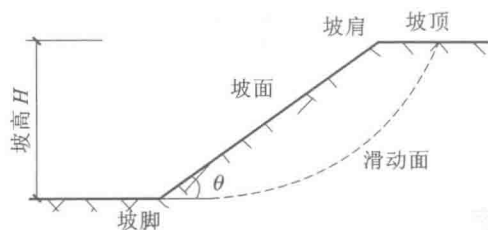


图 1-1 土坡各部位名称

称为坡面角或坡倾角;坡肩与坡脚间的高差称为坡高。

边坡工程是指为满足工程需要而对自然边坡进行的改造,或对由于工程原因而开挖或填筑的人工斜坡进行的防护。边坡工程研究的核心内容是确保出于工程需要而形成人工边坡的稳定。其主要研究内容包括:全面认识、掌握边坡,合理分析、评价边坡,恰当改造、利用边坡,有效防治、防护边坡和全程监测边坡。

1.2 边坡的工程分类

按照不同标准,可对边坡进行如下分类。

1.2.1 按成因划分

按成因,可将边坡划分为自然边坡和人工边坡。

- ①自然边坡:由于自然地质作用而形成的地面具有一定斜度的地段,形成时间一般较长。
- ②人工边坡:由于人工开挖或填筑施工而形成的与地面成一定斜度的地段。

1.2.2 按物质组成划分

按边坡的物质组成,可将边坡划分为土质边坡、岩质边坡和岩土混合边坡。

- ①土质边坡。土层结构决定边坡的稳定性,其破坏形式主要为圆弧滑动和直线滑动。按边坡组成土的类型不同,可将土质边坡划分为黏性土边坡、碎石土边坡及黄土边坡等类型。
- ②岩质边坡。边坡主要由岩石构成,其稳定性取决于岩体主要结构面与边坡倾向的相对关系、土岩界面的倾角等。其破坏形式主要为滑移型、倾倒型和崩塌型。
- ③岩土混合边坡。边坡下部为岩石,上部为土体,即所谓的二元结构边坡。

1.2.3 按高度划分

按边坡的高度,可将边坡划分为一般边坡和高边坡。

- ①一般边坡:岩质边坡总高度在 30m 以下,土质边坡总高度在 15m 以下。
- ②高边坡:岩质边坡总高度大于 30m,土质边坡总高度大于 15~20m。

1.2.4 按工程类别划分

按工程类别,可将边坡划分为路堑边坡和路堤边坡,水坝边坡、库岸边坡、渠道边坡和坝肩边坡,露天矿边坡和弃土场边坡,建筑边坡和基坑边坡。

1.2.5 按坡体结构特征划分

- ①类均质土边坡:由均质土体构成的边坡。
- ②近水平层状边坡:由近水平层状岩土层构成的边坡。
- ③顺层边坡:由倾向临空面的顺倾岩土层构成的边坡。
- ④反倾边坡:由倾向边坡内的岩土层构成的边坡。
- ⑤块状岩体边坡:由厚层块状岩体构成的边坡。
- ⑥碎裂状岩体边坡:由碎裂状岩体构成的边坡,或为断层破碎带,或为节理密集带。
- ⑦散体状边坡:由碎裂块石、砂构成的边坡,如强风化层。

1.2.6 按使用年限划分

按使用年限,可将边坡划分为临时边坡、短期边坡和永久边坡。

- ①临时边坡:只在施工期间存在的边坡,如建筑基坑边坡。
- ②短期边坡:只存在 10~20 年的边坡,如露天矿边坡、一般公路边坡。
- ③永久边坡:长期使用的边坡。

1.3 影响边坡稳定的主要因素和破坏类型

1.3.1 影响边坡稳定的主要因素

影响边坡稳定的因素很多,其中最主要的是边坡岩土的性质和结构、水文地质条件、风化、水的作用、地震及人类活动等。图 1-2 中列举了影响边坡稳定的若干因素。各种因素都从两个方面影响着边坡的稳定:一方面是改变边坡的形状,使边坡应力状态发生变化,增大边坡的下滑力,如河流冲刷、人工开挖等;另一方面是岩土体遭受风化、降雨入渗、地下水的的作用等,使岩土体强度降低,削弱了抗滑力。边坡的下滑力增加或者抗滑力降低都会引起边坡失稳破坏。

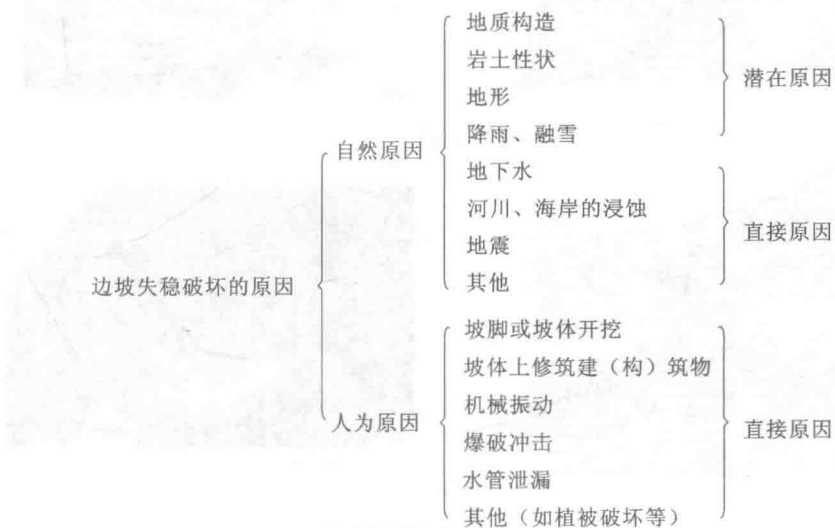


图 1-2 影响边坡稳定的主要因素

1.3.2 边坡破坏类型

边坡破坏类型从形态上可分为坍塌和滑坡两大类。

坍塌是指边坡上部的岩块在重力作用下,突然高速脱离母岩而翻滚坠落的急剧变形破坏现象。这种破坏是边坡表层岩体丧失稳定性的结果,如图 1-3 所示。其特点是在变形破坏过程中并不是沿某一固定面滑动,而是以自由坠落为其主要运动形式,一般发生在既高又陡的岩坡前缘地带。当边坡内部存在一倾角很大的结构面时,坡体被切割成许多相互平行的垂直块体,临近坡面的垂直块体缓慢向临空面弯曲倒塌,此类破坏称为倾倒,如图 1-3(a)所示;当边坡岩土层软硬交互存在时,由于不同土层的抗风化能力不同,局部岩层会出现悬挑,由此会发生局部断裂坍塌和坠落的现象,此类破坏称为局部坍塌和坠落,如图 1-3(b)所示;坡顶或坡面上的岩块由于某种原因发生脱落而翻滚堆积在坡脚的现象称为崩塌,如图 1-3(c)所示。

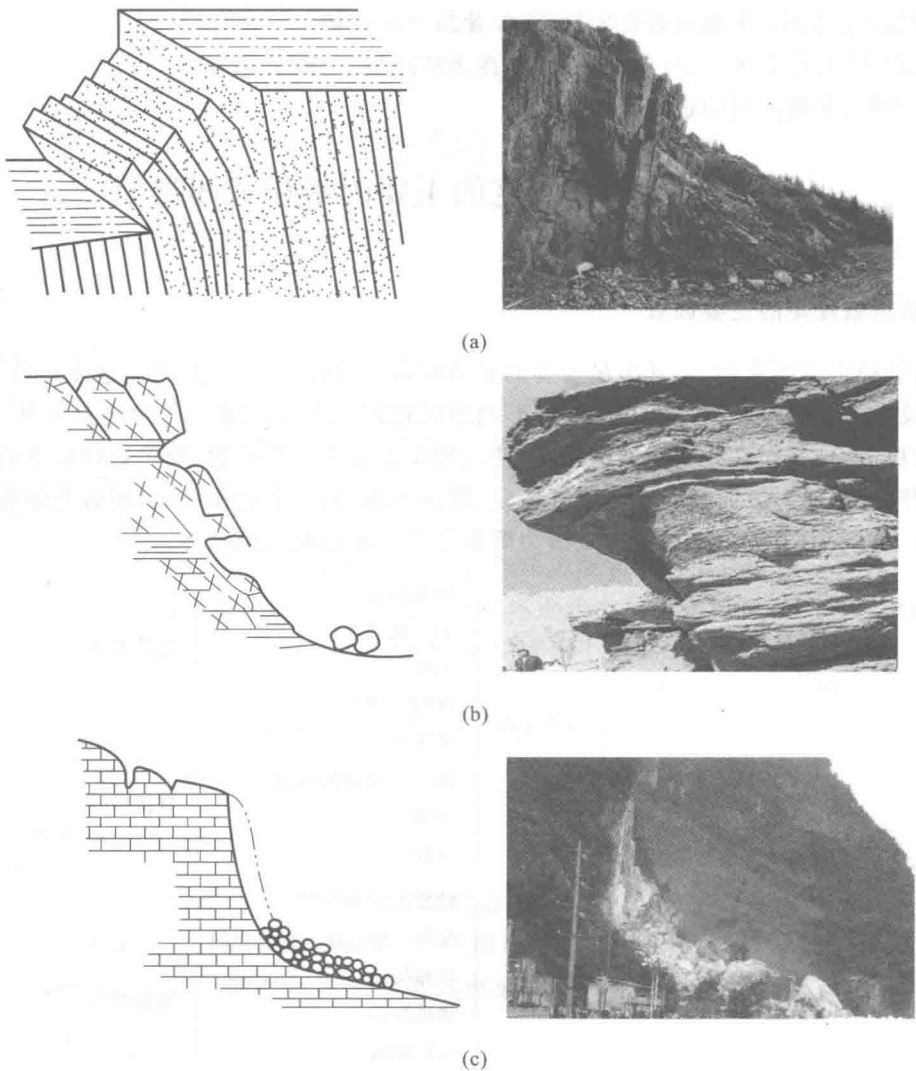


图 1-3 边坡坍塌破坏类型

(a)倾倒破坏;(b)边坡岩土层软硬交互存在时的局部坍塌和坠落;(c)崩塌破坏