

普通高等教育教材

边坡工程

Bianpo Gongcheng

主 编 叶万军

副主编 王贵荣 刘 慧

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

普通高等院校规划教材

边坡工程

主 编：叶万军
副 主 编：王贵荣 刘 慧
编写人员：张志沛 汪板桥
 李金华 刘 平
 吴 迪

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书针对边坡工程问题,紧密结合相关国家规范及行业标准,详细阐述了边(滑)坡的概念、边坡的类型及其破坏特征、边坡工程地质勘查、边坡稳定性分析、坡率法与削坡减载、重力式挡土墙、抗滑桩、锚杆、预应力锚索、边坡排水工程、边坡绿化等内容。

本书可作为土木工程、水利工程、矿业工程、地质工程、交通运输工程等专业本科生及研究生教材,也可作为高等院校相关专业教师以及科研院所和工程部门的科研人员、工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

边坡工程/叶万军主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2017.6

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3460 - 5

I. ①边… II. ①叶… III. ①边坡—道路工程 IV. ①U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 026181 号

书 名 边坡工程

主 编 叶万军

责任编辑 黄本斌

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 387 千字

版次印次 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

在建筑、交通、铁路、矿山、水利、电力等工程建设中,场地的开挖、填筑或者整平,不可避免地会遇到边坡问题。由于受到地质条件、自然条件、人为因素的影响,边坡的失稳和破坏已成为一种常见的工程灾害。这些工程灾害不仅影响工程的工期,造成人力和财力的浪费,甚至会导致灾难性的事故,并造成重大的人员伤亡和经济上的重大损失。因此,如何满足工程需要而对边坡进行改造,是岩土工程必须解决的重要课题之一。对边坡进行满足工程需要的改造称为边坡工程,其是土木工程建设的重要组成部分。边坡处治是一项技术复杂、施工难度大的灾害防治工程。边坡工程的设计、施工和维护,是土木工程专业学习不可缺少的重要内容。

针对边坡工程,不少专家学者对此开展了广泛的研究,人们对边坡的了解更深入、处治措施更加多样化、更趋于经济、安全,取得了较为丰富的研究成果,陆续出版了一些有关边坡工程方面的著作,而作为国家土木工程专业本科生教材的《边坡工程》一书,到目前为止,还不多见。鉴于上述情况,我们编写了本教材。

本教材的编著的基本指导思想是适应教育教学改革和课程建设的发展需要,以企业需求为导向,着力提高学生的土木工程专业素养,培养学生解决边坡工程中的工程地质勘察、边坡稳定性分析、治理设计等工程实践能力、工程设计能力和工程创新能力,体现科学性、系统性和新颖性,使得学生通过本课程的学习,具备运用科学的方法去解决边坡问题的能力,及从事边坡工程应用的能力。本书在编写时注重理论联系实际,简明扼要,重在实用,以利于广大土木工程专业本科生学习之用。

本书共分10章,包括绪论、边坡工程勘察、边(滑)坡稳定性分析、坡率法与削坡减载、重力式挡土墙、抗滑桩、预应力锚索、锚杆、边坡排水工程及边坡绿化等内容。

本书第1章由叶万军编写;第2章由王贵荣编写;第3章由李金华编写;第4章由刘慧编写;第五章由叶万军和王贵荣编写;第六章由叶万军和汪板桥编写;第七章由张志沛编写;第八章由刘平编写;第9章由叶万军和吴迪编写;第10章由刘慧和吴迪编写。全书由叶万军统稿,董西好、刘宽、谢卓吾、王岩、李长清、彭瑞奇、刘忠祥也参加了资料整理和清绘插图等工作。

本书得到了西安科技大学教材建设资金资助。编写中参阅了大量的相关文献资料,在此向这些资料的作者表示感谢!

限于水平,难免有欠妥之处,敬请读者指正。

作者

2016年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 边坡与滑坡	1
第二节 边坡工程	9
第三节 边坡工程研究的基本内容和方法	14
思考题	18
第二章 边坡工程地质勘查	19
第一节 边坡工程地质勘查的基本技术要求	19
第二节 边坡工程地质勘查方法	20
第三节 勘查资料的分析与整理	35
思考题	39
第三章 边(滑)坡稳定性分析	40
第一节 边坡稳定性的判别	40
第二节 工程地质类比法	43
第三节 刚体极限平衡法	44
第四节 其他边坡稳定性分析方法	61
思考题	62
第四章 坡率法与削坡减载设计	64
第一节 概述	64
第二节 坡率法与削坡减载的使用条件	65
第三节 坡率法设计	66
思考题	79
第五章 重力式挡土墙	80
第一节 概述	80
第二节 重力式挡土墙的构造和布置	81
第三节 重力式挡土墙的设计计算	84
思考题	102

第六章 抗滑桩	103
第一节 概述.....	103
第二节 抗滑桩设计与步骤.....	106
第三节 滑坡推力计算方法.....	109
第四节 地基系数的确定.....	112
第五节 抗滑桩内力计算.....	114
第六节 抗滑桩结构设计.....	135
第七节 例题.....	142
思考题.....	150
第七章 预应力锚索	152
第一节 概述.....	152
第二节 预应力锚索的结构及其工程特性.....	154
第三节 锚索的设计与计算.....	162
第四节 预应力锚索板、梁的设计	171
第五节 算例.....	172
思考题.....	174
第八章 锚杆	175
第一节 概述.....	175
第二节 锚杆的设计与计算.....	178
第三节 锚杆的构造设计.....	185
第四节 锚杆的施工.....	188
第五节 锚杆的试验与观测.....	190
第六节 锚杆材料.....	193
第七节 锚杆加固工程案例.....	195
思考题.....	196
第九章 边坡排水工程	197
第一节 概述.....	197
第二节 水文和水力学计算.....	197
第三节 排水管渠水力学计算.....	199
第四节 坡面排水.....	202
第五节 地下排水.....	203
思考题.....	207

第十章 边(滑)坡绿化.....	209
第一节 概述.....	209
第二节 边坡绿化美化设计的原则.....	209
第三节 植物护坡.....	213
第四节 骨架植被护坡.....	218
思考题.....	236
参考文献.....	237

第一章 绪 论

第一节 边坡与滑坡

一、边坡

(一) 边坡的概念

从广义上讲,地球表面具有倾向临空面的地质体称为边坡,包括自然斜坡和人工边坡,主要由坡顶、坡面、坡脚及下部一定范围内的坡体组成。

狭义而言,把一切由于工程建设而开挖、改造或填筑的斜坡,统称为边坡。

典型的边坡(斜坡)如图 1-1 所示。坡面与坡顶面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,坡面与水平面的夹角称为坡面角(简称坡角)或坡倾角,坡肩与坡脚间的高差为坡高。

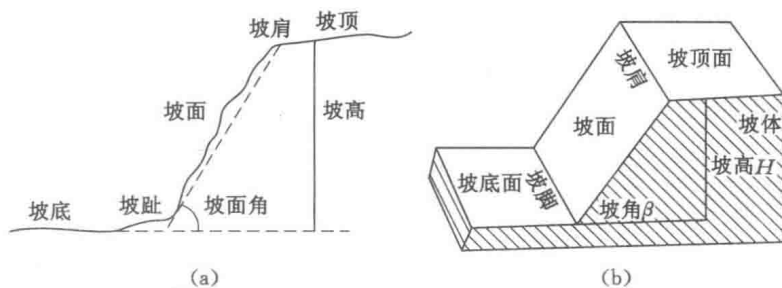


图 1-1 边坡示意图

(a) 平面图;(b) 立体图

(二) 边坡的类型

边坡按不同的分类指标分为多种类型。

1. 按构成边坡的物质种类分

(1) 土质边坡——整个边坡均由土体构成,按土体种类又可分为黄土边坡、膨胀土边坡、填土边坡等。

(2) 岩质边坡——整个边坡均由岩体构成,按岩体的强度又可分为硬岩边坡、软岩边坡和风化岩边坡等,按岩体结构又可分为整体状(巨块状)边坡、块状边坡、层状边坡、碎裂状边坡、散体状边坡。

(3) 岩土混合边坡——边坡下部为岩层,上部为土层,即所谓的二元结构边坡。

2. 按边坡的高度分

(1) 一般边坡——岩质边坡总高度在 30 m 以下,土质边坡总高度在 20 m 以下。

(2) 高边坡——岩质边坡总高度大于 30 m, 土质边坡总高度大于 20 m。容易发生变形破坏的边坡多为高边坡, 因此高边坡是研究与防治的重点。

3. 按边坡的工程类别分

- (1) 路堑边坡, 路堤边坡。
- (2) 水坝边坡, 渠道边坡, 坝肩边坡, 库岸边坡。
- (3) 露天矿边坡, 弃渣场边坡。
- (4) 建筑边坡, 基坑边坡。

4. 按坡体结构特征分

- (1) 类均质土边坡——由均质土体构成的边坡, 如图 1-2(a) 所示。
- (2) 近水平层状边坡——近水平层状岩土体构成的边坡, 如图 1-2(b) 所示。
- (3) 顺倾层状边坡——由倾向临空面(开挖面)的顺倾岩土层构成的边坡, 如图 1-2(c) 所示。
- (4) 反倾层状边坡——岩土层面倾向山体内部的边坡, 如图 1-2(d) 所示。
- (5) 块状岩体边坡——由厚层块状岩体构成的边坡, 如图 1-2(e) 所示。
- (6) 碎裂状岩体边坡——边坡由碎裂状岩体构成, 或为断层破碎带, 或为节理密集带, 如图 1-2(f) 所示。
- (7) 散体状边坡——边坡由破碎块石、砂砾构成, 如强风化层。

不同坡体结构的岩土形成的边坡其稳定性是不同的, 尤其是含有软弱层和不利结构面的坡体, 常常出现边坡失稳滑塌。

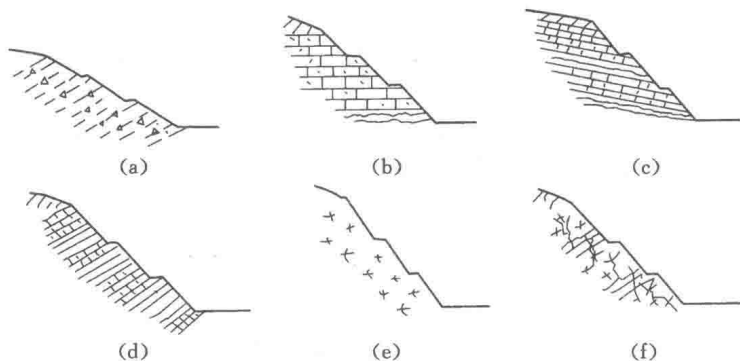


图 1-2 不同坡体结构的边坡示意图

5. 按边坡使用年限分

- (1) 临时边坡——只在施工期间存在的边坡, 如基坑边坡。
- (2) 短期边坡——只存在 10~20 年的边坡, 如露天矿边坡。
- (3) 永久边坡——长期使用的边坡。

有些只分临时边坡和永久边坡, 《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013) 作如下规定:

临时边坡——工作年限不超过 2 年的边坡。

永久边坡——工作年限大于 2 年的边坡。

6. 按边坡成因分

(1) 人工边坡——由施工开挖或填筑而形成的边坡。

人工边坡又可分为:

挖方边坡:由山体开挖形成的边坡,如路堑边坡、露天矿边坡等。

填筑边坡:填方经压实形成的边坡,如路堤边坡、渠堤边坡等。

(2) 自然边坡——在工程范围内,有可能影响工程安全的小规模自然斜坡。

(三) 边坡的特征

1. 边坡的自然特征

人工边坡是将自然地质体的一部分改造为人工构筑物,因此其特征和稳定性很大程度上取决于自然斜坡的地形地貌特征、地质结构和构造特征。自然斜坡由于其地层岩性、地质构造、地下水分布和风化程度的不同,在自然营力作用下形成了不同的形态,如有直线坡、凸形坡、凹形坡、台阶状坡等,且其坡高和坡率也千差万别,坡面的冲沟发育和分布密度、植被状况等也不相同,这是设计人工边坡的地质基础和设计的参照对象。

土质边坡由于土体强度较低,保持不了高陡的边坡,一般都在 20 m 以下,只有黄土边坡因其特殊的结构特征,可保持较高陡的边坡。较高陡的边坡必须设置支挡工程才能保持稳定。由于坡面容易被冲刷,常需要设置坡面防护工程。对地下水发育的边坡,更应设置疏排水工程才能保持稳定。

当不同土层的分界面倾向临空面且倾角较大,相对隔水时,容易沿此面发生滑塌。当边坡底部有软弱土层分布时也易发生沿软弱土层滑动。

由于地层结构的复杂性,岩质边坡比土质边坡要复杂得多。首先,由于岩体强度较高,常可保持较高陡的边坡,所以高边坡几乎都是岩质边坡。其次,岩质边坡的稳定性主要取决于其岩体结构、坡体结构,即不同岩性的岩层及构造结构面,特别是软弱结构面在坡体上的分布位置、产状、组合及其与边坡走向、倾向和倾角之间的关系。当软弱结构面或其组合面(线)倾向临空面,倾角缓于边坡角而大于层面间摩擦角时容易失稳破坏。当下伏软岩的结构体强度较低或受水软化时也易发生失稳变形。第三,岩质边坡的稳定性还受控于其风化破碎程度,同种岩层风化程度不同所能保持的边坡高度和坡度也不同,如坚硬的花岗岩可保持高陡的边坡,但其风化壳则不能保持高陡边坡。不同岩层的差异风化也影响边坡的稳定性。第四,地下水对边坡的稳定性有重要影响。地下水的分布、水量、水力坡度及其变化特征,以及自然斜坡的汇水条件都对边坡稳定性有重要影响。

在边坡设计时,必须考虑岩体的强度、构造面、风化程度、地下水情况等设计不同的坡形、坡率和相应的加固、防护和排水设施,才能保持边坡的稳定。

2. 边坡的滑面特征与坡体特征

无论是土质边坡还是岩质边坡,在坡体没有开挖或填筑之前,坡体中不存在滑面,即使坡体中存在软弱土夹层或软弱结构面,也不能视作滑面,因为它们没有滑动的趋势。这正是边坡与滑坡的不同之处。由于不存在实际滑面,因而滑面必须通过分析的方法才能确定,不能采用钻探观察等方法确定。

在边坡开挖或填筑前,坡体没有滑动或滑动趋势,因而坡体不会出现变形与滑动迹象。但边坡开挖与填筑后,坡体就可能出现变形与滑动迹象,甚至出现边坡滑塌。由于边坡开挖或填筑引起其滑动的范围有限,所以边坡滑塌的规模与滑坡相比通常较小。由于工程开挖

引发的大规模山体滑坡,如古滑坡复活等,一般称为工程滑坡,不再列入人工边坡范围之内。

3. 边坡的施工特征

岩土工程的一个特点是与施工过程密切相关,即使设计合理,如果施工过程不当,也会导致岩土失稳坍塌,造成工程失败。为了减少边坡工程事故,边坡的开挖或填筑、支护等施工程序,必须科学地规划。通常只有十分稳定的坡体,允许在不支护情况下开挖;对比较稳定的坡体采取开挖一段、支护一段的办法。施工过程采用逆作法,即从上向下进行。对很不稳定的坡体需要边开挖边支护,支护紧跟开挖或在开挖前就预先进行支护。坡体施工过程中有时要求进行实时监测以便对施工过程的安全做出及时预报。

(四) 边坡灾害

随着国民经济的发展,大量铁路、公路、水利、矿山、城镇等工程的修建,特别是在丘陵和山区建设中,人类工程活动中开挖和填筑的边坡数量会越来越多,高度将越来越大。随着我国西部开发的进展,大量民用与工业建筑不断兴起,数量众多的建筑边坡应运而生,成为我国边坡工程的重要组成部分。由于地质条件复杂,加之人类改造自然的规模愈来愈大,设计施工方法若不当,高边坡开挖后发生变形和造成灾害的事故将频繁发生。这既增加工程投资,又延误工期,还给运营安全留下隐患。边坡失稳与破坏的形式很多,从地质上分,主要有滑坡、崩塌、落石、滑塌、错落、倾倒等。边坡不仅在失稳破坏阶段造成重大灾害,而且有时在变形阶段也会造成重大损失。因为边坡变形会引发附近建筑物破裂与倒塌,导致建筑物不能正常使用。

二、滑坡

(一) 滑坡的概念

滑坡是边坡破坏的一种形式,是指斜坡上的岩土体,受河流冲刷、地下水活动、雨水浸泡、地震及人工切坡等因素的影响,在重力作用下,沿着一定的软弱面或者软弱带,整体地或者分散地顺坡向下滑动的自然作用或现象。

由自然原因引发的正在蠕动或滑动的自然斜坡发生的滑坡,称为自然滑坡;由于边坡开挖或填筑而引发古老滑坡复活或自然滑坡加剧,从而引发大规模的滑坡,称为工程滑坡。

(二) 滑坡的类型

滑坡的分类是认识滑坡的基础。按照不同的分类指标有多种分类,如表 1-1 所列。

表 1-1 滑坡单一指标分类

序 号	分类指标	类 型
1	按滑体物质组成	土质滑坡——黏性土滑坡,黄土滑坡,堆积土滑坡,堆填土滑坡
		岩质滑坡——层状岩体滑坡,块状岩体滑坡,破碎岩体滑坡,坡脚软岩滑坡
2	按滑体受力状态	牵引式滑坡
		推移式滑坡
3	按滑坡发生时代	古滑坡(全新世以前发生的)
		老滑坡(全新世以来发生,现未活动)
		新滑坡(正在活动的)
4	按主滑面与层面的关系	顺层滑坡(主滑面顺层面)
		切层滑坡(主滑面切割层面)

续表 1-1

序 号	分 类 指 标	类 型
5	按滑坡的规模	小型滑坡(<10 万 m^3)
		中型滑坡(10 万~50 万 m^3)
		大型滑坡(50 万~100 万 m^3)
		特大型(巨型)滑坡(>100 万 m^3)
6	按滑体含水状态	一般滑坡
		塑性滑坡
		塑流性滑坡
7	按滑体的厚度	浅层滑坡(厚度 $H<6$ m)
		中层滑坡($6\text{ m}<H<20$ m)
		厚层滑坡($20\text{ m}<H<50$ m)
		巨厚层滑坡($H>50$ m)
8	按滑面剪出口位置	坡体滑坡(剪出口在边坡上出露)
		坡基滑坡(滑动面在边坡脚以下)
9	按滑坡滑动速度	缓慢滑坡
		间歇性滑坡
		崩塌性滑坡
		高速滑坡
10	按滑坡发生与工程活动关系	自然滑坡
		工程滑坡

(1) 按滑坡体物质组成的分类是最普遍使用的一种分类。能直观地了解发生滑动的物质是什么,它可能沿着什么面(带)滑动。土质滑坡中又分黏性土滑坡、黄土滑坡、堆积土(崩积、坡积、洪积、冲积、冰碛等)滑坡、堆填土(包括堤坝填土及弃渣堆积)滑坡。岩质滑坡是指各种岩体的滑动,包括层状岩体的顺层面滑动,块状岩体顺构造面滑动,破碎岩体顺构造面滑动及坡脚软岩的挤出性滑动。

(2) 按滑坡的受力状态分为牵引式滑坡和推移式滑坡。

牵引式滑坡是具有滑动条件的斜坡,由于河流冲刷、海浪侵蚀或人工开挖,削弱了坡脚的支撑力,使斜坡下部块体沿潜在滑面先行滑动,而后斜坡中、上部因下部滑动失去支撑而跟着发生第二、第三块滑动,国外称其为后退式滑坡。此种情况若采取工程措施及时稳定了第一块滑体,第二、三块滑动将不会发生。

推移式滑坡是具有滑动条件的斜坡,因中上部崩塌堆载或人工填筑、堆料加载等引起斜坡整体向下滑动,一般不再带动上部山体发生大规模滑动。如长江北岸的新滩滑坡因上部高百米的广家崖石灰岩崩塌加载造成滑坡周期性滑动。牵引式滑坡常有多个滑坡平台,而推移式滑坡常只有一个滑坡平台,如图 1-3 所示。

(3) 按滑坡发生年代分为古滑坡、老滑坡和新滑坡。

古滑坡指全新世以前发生的滑坡,即河流一级阶地形成期及以前发生的滑坡,现河流冲刷对其稳定性不再起作用,如分布在一、二、三级阶地后缘的滑坡。

老滑坡指发生在全新世以来的滑坡,目前处于稳定状态,即发生在河流岸边(或压埋河床卵石层)暂时稳定的滑坡,河流的冲刷对其稳定性仍然有影响。如南昆铁路八渡老滑坡,其前缘压埋南盘江河床卵石层 40~80 m 宽,该段 200 m 宽的河床被挤压到 120 m。1997 年南盘江发生大洪水,冲刷滑坡前缘抗滑段,造成老滑坡复活。

新滑坡是指目前正在活动的滑坡,一般指新发生的滑坡。

(4) 按主滑动面与层面的关系分为顺层滑坡和切层滑坡。一般滑坡的滑动面都分主滑段、牵引段和抗滑段。主滑段是首先产生失稳蠕动的部分。主滑段滑面沿岩层层面或堆积界面滑动者称为顺层滑坡,主滑段滑面切穿岩层层面者称为切层滑坡,如图 1-4 所示。

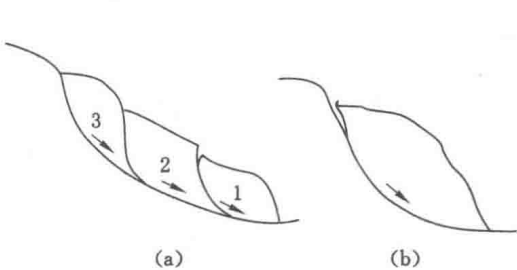


图 1-3 牵引式滑坡与推移式滑坡示意图
(a) 牵引式滑坡;(b) 推移式滑坡

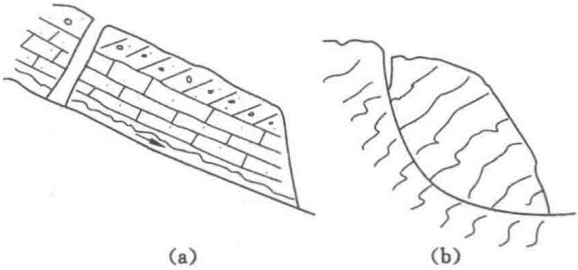


图 1-4 顺层滑坡和切层滑坡示意图
(a) 顺层滑坡;(b) 切层滑坡

(5) 按滑面剪出口在边坡上的位置分为坡体滑坡和坡基滑坡。前者指滑动面在坡脚以上坡面剪出,后者指滑动面在坡脚以下一定深度,从坡脚以外剪出。

其他一些分类比较容易理解,不再赘述。

铁路部门为全面反映滑坡的性质及便于滑坡治理,于 20 世纪 70 年代提出一个综合分类表(表 1-2),它突出了主滑动面的成因。

滑坡综合分类表		
按滑体物质分	按主滑动面成因分	按滑体厚度分
黏性土滑坡	层面滑坡	浅层滑坡(<6 m)
黄土滑坡	堆积面滑坡	中层滑坡(6~20 m)
堆积土滑坡	构造面滑坡	厚层滑坡(20~50 m)
堆填土滑坡	同生面滑坡	巨厚层滑坡(>50 m)
岩石滑坡		
破碎岩石滑坡		

(三) 滑坡的要素

一个发育完全的正在活动的滑坡具有图 1-5 所示的要素。

(1) 滑坡体:滑坡发生后,与稳定坡体脱离而滑动的部分岩土体叫滑坡体,简称滑体。

(2) 滑坡周界:滑坡体与其周围不动体在平面上的分界线叫滑坡周界。它圈定了滑坡的范围,在多个滑坡构成的滑坡区内,它可以是不同滑动块体的界线。

(3) 滑坡壁:滑坡体上部与不动体脱离的分界面露在外面的部分,高数米至数十米,特大型滑坡也有高数百米以上者,坡度 55°~80°,似壁状,故称为滑坡壁。在平面上它多呈圈

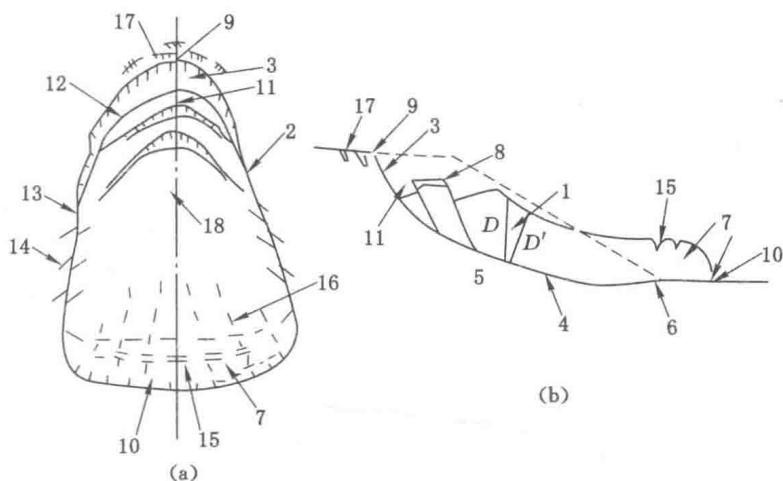


图 1-5 滑坡要素平、剖面示意图

(a) 滑坡要素平面图; (b) 滑坡要素剖面图

- 1——滑坡体; 2——滑坡边界; 3——滑坡壁; 4——滑动面; 5——滑坡床;
6——滑坡剪出口; 7——滑坡舌与滑坡鼓丘; 8——滑坡台阶; 9——滑坡后缘;
10——滑坡前缘; 11——滑坡洼地(滑坡湖); 12——拉张裂缝; 13——剪切裂缝;
14——羽状裂缝; 15——鼓胀裂缝; 16——扇形张裂缝; 17——牵引性张裂缝; 18——主滑线

椅状(环谷状、马蹄状), 岩体滑坡中也有呈直线或折线状者。其中最上部高陡部分称为主滑壁, 两侧称为侧壁。发生不久尚未坍塌的滑坡壁上常留下清晰的滑动擦痕。

(4) 滑动面、滑动带和滑动擦痕: 滑坡体滑动时与不动体间形成的分界面并沿其下滑, 此分界面称为滑动面。许多滑坡滑动时在滑动面以上形成一层结构因剪切揉皱而破坏的软弱带, 厚数毫米至数米, 称为滑动带。滑动擦痕是滑动面上动体与不动体间因相互摩擦而形成的痕迹, 它指示滑坡滑动的方向。

滑动面一般呈光滑镜面, 多有擦痕。其形状在均质土中多为弧线或曲线状, 在堆积土中多呈折线或直线与曲线组合状, 在岩石滑坡中呈直线、折线或曲线状。

滑动带一般含水率较其上、下土层高, 软弱, 可塑或软塑状, 黏土颗粒含量也较多, 色杂, 揉皱严重。由于受滑体滑动力与滑床阻滑力一对剪力偶的作用, 在滑动带中常形成由张扭性和压扭性结构面构成的网状裂缝, 有时在压性结构面上也形成擦痕。在岩石顺层滑坡中由于受构造作用影响, 可在滑动带上、下形成两个滑动面。

(5) 滑坡床: 滑动面以下的不动岩、土体称为滑坡床, 简称滑床。

(6) 滑坡剪出口: 滑动面最下端与原地面相交剪出的破裂口叫滑坡剪出口, 简称滑坡出口。在滑坡大滑动之前它表现为地面隆起、翘出, 或建筑物被剪断, 大滑动之后常被埋入滑坡体之下。

(7) 滑坡舌与滑坡鼓丘: 滑坡体从滑坡剪出口滑出后伸入沟、壑、河道或台地上形似舌状的部分称为滑坡舌。国内也有称为滑坡头部(类似泥石流的龙头)的, 由于滑动面反翘或滑坡体前部受阻, 该部分常形成垂直滑动方向的一条或数条土垄, 称为滑坡鼓丘。

(8) 滑坡台阶和滑坡平台: 滑坡体在滑动中因上下各段的滑动次序和速度的差异, 在其上部常形成一些错台, 每一错台形成一个陡壁, 称为滑坡台阶。宽大的台面叫做滑坡平台,

有时该平台具向山缓倾的反向坡,叫反坡平台,是滑坡的一个典型地貌特征,尤其是沿弧形面旋转滑动的滑坡。

(9) 滑坡后缘:主滑壁与山坡原地面的交线称为滑坡后缘。

(10) 滑坡前缘:滑坡舌前部与原地地面线的交线叫做滑坡前缘,其最突出的地点叫舌尖。

(11) 滑坡洼地和滑坡湖:滑坡滑动后,滑坡体与主滑壁之间拉开成沟槽或陷落成“地堑”状,相邻土楔向山反倾形成四周高、中间低的洼地,称为滑坡洼地。当滑坡壁向外渗水或地表水汇集于洼地中形成渍泉湿地或水塘时,称为滑坡湖。

(12) 滑坡裂缝:

① 拉张裂缝与主裂缝:位于滑体上部因滑坡体下滑而张开的长数十米至数百米、方向与滑坡壁吻合或大致平行的裂缝称为拉张裂缝,其中与主滑壁重合的一条称为主裂缝。

② 剪切裂缝:位于滑坡中下部的两侧,因滑坡体与两侧不动体间发生剪切位移而形成的裂缝叫做剪切裂缝,它形成滑坡的两侧边界。

③ 羽状裂缝:滑坡体两侧剪切裂缝尚未贯通前,因动体与不动体间相对位移剪切而形成的呈羽状(雁行状)排列的张裂缝称为羽状裂缝。

④ 鼓胀裂缝:滑坡体下部因下滑受阻挤压隆起形成垣垅(鼓丘),在其上形成垂直滑动方向的鼓胀裂缝。

⑤ 放射状(扇形)张裂缝:滑坡体下部因下滑受阻而形成的顺滑动方向的压张裂缝,在滑坡主轴部位大致平行滑动方向,两侧呈放射状(扇形状)分布。在滑坡大滑动前,它先于鼓胀裂缝和滑坡剪出口出现,是抗滑段受挤压的标志。滑坡滑动后,滑体向两侧扩展也可形成张裂缝,在舌部呈放射状分布,故称为放射状张裂缝或扇形张裂缝。

⑥ 牵引性张裂缝:主滑壁以外因失去侧向支撑而形成的尚未滑动的断断续续的张裂缝,称为牵引性张裂缝。它预示着滑坡可能扩大或主滑壁可能坍塌的范围。

(13) 主滑线(滑坡主轴):滑坡体上滑动速度相对最快的纵向线叫主滑线,也称为滑坡主轴。它代表滑坡整体滑动的方向,可为直线或曲线,位于滑体后缘最高点与前缘最远点的连线、滑坡体最厚、滑坡推力最大的纵断面上。

前述要素是指一个发育完全的简单滑坡所表现出的特征。实际工作中遇到的滑坡很少具备这样完整而清晰的要素特征,或因发育不完全、或因结构复杂相互干扰而缺失某些特征,这就要根据当地的具体地质条件和滑坡的力学属性具体分析去判明那些尚不清楚的特征。

滑坡在平面上的特征多种多样,有长条形、簸箕形、椭圆形、横长形、菱形、楔形等,多受物质组成、古地形及构造条件的控制。一个大滑坡区可能有多条、多级滑坡和多期滑动。

(四) 滑坡灾害

滑坡是常见的一种地质灾害,常常会掩埋村庄、摧毁厂矿、破坏铁路和公路交通、堵塞江河、损坏农田和森林等,从而给人民的生命财产和国家的经济建设造成严重损害。我国是一个滑坡灾害多发的国家。据历史记载,1922年云南禄劝县澜泥沟北岸发生的滑坡,掩埋两个村庄和200多亩良田;1933年8月25日四川茂汶县迭溪地震时,发生一巨型高速滑坡,将迭溪城从100 m高的台地上滑入江中,百里之内皆受重灾,死难者达8800人;1943年2月7日,黄河上游龙羊峡发生一高速滑坡,埋没上、下查纳村,死亡213人;1965年11月22日云南禄劝县老深多发生崩塌性滑坡,埋没4个村庄,死亡440人,毁地1000多亩;另外,

1961年3月6日柘溪水库的塘岩光滑坡,1982年7月17日四川云阳县鸡扒子滑坡,1983年3月7日甘肃东乡县洒勒山滑坡,1985年6月12日长江三峡新滩滑坡,1988年6月10日四川巫溪县发生的中阳村滑坡,1989年7月10日四川华蓥市发生的溪口滑坡,1992年7月12日云南昭通地区发生的头寨沟滑坡,2015年8月12日陕西省山阳县中村镇烟家沟村滑坡和2015年12月20日深圳光明新区渣土受纳场滑坡等,都给人民的生命财产和工农业生产造成严重的损失。总之,我国的滑坡分布极广,滑坡灾害十分严重,应重视研究和防治工作。

三、边坡与滑坡区别

从广义而言,边坡是人工边坡和自然斜坡的统称,滑坡是边坡的一种破坏形式。狭义而言,边坡与滑坡可按下述特征来进行综合区别:

(1) 边坡是指由于工程原因而开挖或填筑的人工斜坡;而滑坡指由于自然原因而正在蠕动或滑动的自然斜坡。

(2) 边坡在工程开挖与填筑前坡体内不存在滑面,但可以存在未曾滑动的构造面,开挖前坡体无蠕动或滑动迹象;滑坡在坡体中存在天然的滑面,坡体已有蠕动或滑动迹象。

(3) 当人工斜坡内存在天然的滑面或引发古老滑坡滑面复活时,称为工程滑坡;当天然斜坡危及工程安全而需要治理时则称为自然边坡。

按此,边坡与滑坡的区别在于:

(1) 滑坡是边坡的一种破坏形式。

(2) 边坡是涉及工程建设的人工斜坡,即使是自然边坡也必须与工程建设有关;而滑坡通常是由自然原因引发的自然斜坡,只有工程滑坡才与工程建设有关。

(3) 边坡坡体的滑面是由于人工开挖与填筑后才形成的,原先并不存在,坡体无蠕动与滑动迹象;而滑坡具有自然的滑面,且坡体有蠕动与滑动迹象。

第二节 边坡工程

一、边坡工程概述

为满足工程需要而对边坡或滑坡进行改造、加固的工程,称为边坡工程或者滑坡工程。根据广义边坡的概念,本书将边坡工程与滑坡工程统称为边坡工程。

边坡稳定问题是工程建设中经常遇到的问题。边坡的失稳,轻则影响工程质量与施工进度,重则造成人员伤亡与国民经济的重大损失。因此,边坡的稳定问题经常成为需要重点考虑的问题。

边坡的稳定性分析是边坡设计的基础,稳定性分析的前提是认识边坡,包括地质条件(区域地质、工程地质、水文地质、地应力水平、地质构造等)、岩土体室内及室外试验(确定岩土体的力学参数)、边坡的受力(边坡承受的荷载,包括恒载与活载)、力学分析等。其中,力学分析是建立符合客观实际条件的物理模型,选用适合特定条件的数学模型,定性分析岩土体的力学动态趋势和进行定量的力学成果分析。力学分析包括稳定性分析与岩土体的应力应变分析,两者缺一不可,稳定性分析是边坡工程稳定的必要条件,应力应变分析是边坡稳定的充分条件。在十分复杂的条件下,还应进行室内地质力学模型试验、离心机模拟试验等。

在稳定分析的基础上,应设计合适的支护措施,进行边坡支护,即为保证边坡及环境的安全,对边坡采取的支挡、加固与防护措施。常用的支护措施分为以下几种:

- ① 挡土墙:承受土体侧压力的墙式构造物。
- ② 抗滑桩:抵抗土压力或滑坡下滑力的横向受力桩。
- ③ 土钉:在土质或破碎软弱岩质边坡中设置钢筋钉以维持边坡稳定的支护结构。
- ④ 预应力锚杆(索):由锚头、预应力筋、锚固体组成,通过对预应力钢筋施加张拉力以加固岩土体使其达到稳定状态的支护结构。
- ⑤ 抗滑洞塞:岩质边坡体内用混凝土回填起抗滑作用的洞塞。
- ⑥ 坡面防护:包括用于土坡的各种形式的护砌和人工植被,用于岩质边坡的喷混凝土、喷纤维混凝土、挂网喷混凝土,以及柔性主动支护、土工合成材料防护等措施。
- ⑦ 喷锚支护:由锚杆和喷射混凝土面板组成的支护。
- ⑧ 减载:采用从边坡顶部开挖、削坡的方法,减少边坡自身荷载,提高边坡稳定性的措施。
- ⑨ 排水和防渗:包括坡面、坡顶以上地面排水、截水和边坡体排水等措施。
- ⑩ 其他措施:边坡压脚、注浆加固等措施。

在边坡设计与施工时,应注重动态设计与信息施工的运用。动态设计法是根据信息施工法和施工勘察反馈的资料,对地质结论、设计参数及设计方案进行再验证,如确认原设计条件有较大变化,及时补充、修改原设计的设计方法。信息施工法是根据施工现场的地质情况和监测数据,对地质结论、设计参数进行验证,对施工安全性进行判断并及时修正施工方案的施工方法。

边坡介质十分复杂,即使经过充分的研究,对它的认识水平也是介于定性和定量之间,因此,对边坡的监测十分重要,用以反馈技术决策的正确性。

要判定一个边坡是否稳定,其可能失稳变形的类型和性质是什么,滑动的范围有多大,滑动的方向和速度怎样,有无大滑动造成灾害的可能,危害范围有多大(远),其失稳滑动与哪些主要作用因素(降雨、地震、河流冲刷、人工开挖坡脚、堆载、水库水位升降,等等)有关系,这些因素的作用机制和变化幅度如何,以及在已有变形的坡体上进行工程施工如何保障施工的安全,加固和治理的边坡或滑坡其效果如何等问题,除了工程地质调查、测绘、勘探、试验和评价外,动态监测是十分重要和不可缺少的手段,尤其是对重要、高大复杂的边坡及大型复杂的滑坡。

监测主要包括裂缝监测、位移监测、滑动面监测、地表水监测、地下水监测、降水量监测、应力监测及宏观变形迹象监测等。

边坡工程监测是边坡研究工作中的一项重要内容,随着科学技术的发展,各种先进的监测仪器设备、监测方法和监测手段的不断更新,边坡监测工作的水平正在不断地提高。

二、边坡工程研究的历史沿革

边坡工程是工程建设过程中一个古老而常新的问题,边坡失稳引起的滑坡、崩塌灾害往往带来巨大的生命和财产损失。因此,国际上将滑坡(崩塌、泥石流)和火山、地震并列为全球性地质灾害。边坡工程学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。可以说,自从人类生存在地球,依山傍水充分利用地形使自己能够安全舒适地生活就是人们的目标。随着物质文明的提高和科技的进步,对边坡的应用和研究也就越发充分和完善。