



BIANPO GONGCHENG CHUZHI JISHU

边坡工程处治技术

赵明阶 何光春 王多垠 编著

1



人民交通出版社

China Communications Press

边坡工程处治技术

BIANPO GONGCHENG CHUZHU JISHU

赵明阶 何光春 王多垠 编著



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

边坡工程是工程中最常见的工程形式,边坡工程中遇到的滑坡问题是全球性三大地质灾害之一。边坡处治,在公路、铁道、水利、市政、土建、水运、矿山等工程中占有重要的地位,特别在公路、铁路工程建设中,边坡处治问题十分突出,也是工程建设中比较棘手的问题。本书汇集了边坡工程处治最新技术,结合工程应用,比较系统地介绍了边坡工程处治的各类方法。其主要内容包括:边坡处治基本理论及稳定性分析,坡率法与减重设计,抗滑挡土墙的设计与施工,抗滑桩的设计与施工,锚杆(索)设计与施工,格架加固边坡的设计与施工,加筋边坡和加筋土挡墙的设计与施工,注浆加固边坡的设计与施工,边坡排水工程设计与施工,边坡工程监测,边坡工程与环境。本书可供从事公路、铁道、水利、市政、土建、水运、矿山等工程的设计、施工、检测和科研人员以及高等院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

边坡工程处治技术/赵明阶,何光春,王多垠编著.
北京:人民交通出版社,2003.9
ISBN 7-114-04821-1

I.边... II.①赵...②何...③王... III.边坡—
道路工程—工程施工 IV.U416.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第083413号

边坡工程处治技术

赵明阶 何光春 王多垠 编著

正文设计:彭小秋 责任校对:宿秀英 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:19.5 字数:475千

2003年10月 第1版

2003年10月 第1版 第1次印刷

印数:0001—4000册 定价:38.00元

ISBN 7-114-04821-1

前 言

边坡是人类工程活动中最为常见的一种自然地质环境,边坡处治是一项技术复杂、施工难度大的灾害防治工程,随着大型重点工程项目的日益增多,使得边坡处治在公路、铁路、水利、市政、土建、矿山等工程中占有极其重要的地位。特别是在地质条件复杂、人工边坡和自然边坡环境较为恶劣的西部地区,各类工程建设遇到的边坡问题尤为突出。如何准确分析边坡的稳定性、提出既经济又安全的最优处治方案,是人们长期以来不断探索的关键技术问题。

随着工程建设与科学技术的迅猛发展,各种新技术、新方法、新理论源源不断地用于边坡工程的处治当中,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。边坡处治过程不但注重边坡本身的安全,更加注重对环境的保护和美化。然而在当今边坡处治工程日新月异的进程中,却缺少一本系统介绍边坡处治设计、计算和施工的参考书。鉴于上述情况,为满足现代工程建设的需要,编著了本书。本书基本包含了目前边坡工程处治的各种新技术、新方法,在撰写时注重理论联系实际,简明、扼要,重在实用,力求解决边坡处治工程中的实际问题。

全书共分为 13 章,内容包括绪论、边坡处治基本理论及稳定性分析、坡率法及减重设计、抗滑挡土墙的设计与施工、抗滑桩的设计与施工、锚杆(索)设计与施工、格构加固边坡的设计与施工、加筋边坡和加筋土挡墙的设计与施工、注浆加固边坡的设计与施工、边坡排水工程设计与施工、边坡工程监测、边坡工程与环境以及工程实例等内容。

本书第 3 章、第 6 章、第 7 章、第 9 章、第 11 章、第 12 章由赵明阶完成,第 2 章、第 5 章、第 8 章由何光春完成,第 4 章、第 10 章由王多垠完成,第 1 章由赵明阶(1.1、1.4)和林新(1.2、1.3)完成,第 13 章由王多垠(13.1)、何光春(13.2)和赵明阶(13.3)合写。全书由赵明阶统稿。

我们衷心希望本书能够成为相关专业的工程技术人员、科研人员以及高等院校师生使用的一本实用的参考书。由于作者水平有限,书中难免有不妥与错谬之处,敬请读者批评指正。

编著者

2003 年 6 月 18 日

目 录

第1章 绪论	1
§ 1.1 概述	1
§ 1.1.1 边坡失稳与滑坡	1
§ 1.1.2 边坡形态与分类	2
§ 1.1.3 边坡稳定性研究的发展	5
§ 1.1.4 边坡处治技术的发展	6
§ 1.2 边坡工程的地质勘探	7
§ 1.2.1 边坡勘察中的地质测绘	7
§ 1.2.2 边坡工程地质勘探手段	7
§ 1.2.3 边坡工程地质试验	8
§ 1.2.4 边坡变形观测	9
§ 1.2.5 边坡滑动面的地质勘探	9
§ 1.3 边坡设计的基本资料	9
§ 1.3.1 设计基本资料	9
§ 1.3.2 常用设计参数	10
§ 1.4 边坡设计的基本原则	13
§ 1.4.1 边坡处治的常用措施	13
§ 1.4.2 边坡工程设计的基本原则	15
§ 1.4.3 边坡处治方案比选及优化	17
§ 1.4.4 边坡处治设计的程序	17
第2章 边坡处治基本理论及稳定性分析	19
§ 2.1 概述	19
§ 2.1.1 边坡稳定性概念	19
§ 2.1.2 影响边坡稳定性的因素	19
§ 2.1.3 边坡稳定性分析基本理论和假定	20
§ 2.2 瑞典圆弧法	22
§ 2.2.1 基本假定	22
§ 2.2.2 计算公式	22

§ 2.2.3	渗流影响	23
§ 2.2.4	稳定计算分析	24
§ 2.3	Bishop 条分法	25
§ 2.3.1	基本假定和计算公式	25
§ 2.3.2	稳定计算方法	26
§ 2.3.3	注意问题	26
§ 2.4	Janbu 条分法	27
§ 2.4.1	基本假定	27
§ 2.4.2	计算公式	27
§ 2.4.3	计算步骤	29
§ 2.4.4	王复来改进条分法	30
§ 2.5	不平衡推力传递系数法	31
§ 2.6	边坡稳定分析有限元法	32
§ 2.6.1	有限元法概述	32
§ 2.6.2	弹性非线性模型	33
§ 2.6.3	双屈服面弹塑性模型	37
§ 2.6.4	非线性有限元计算	40
§ 2.6.5	土单元的破坏模式及应力迁移	43
§ 2.6.6	有限元计算成果和安全判定准则	45
§ 2.7	边坡大变形的流形元法	46
§ 2.7.1	数值流形方法的位移	46
§ 2.7.2	大变形流形方法的基本方程	47
§ 2.8	快速拉格朗日法(FLAC 法)	49
§ 2.8.1	FLAC 法简述	49
§ 2.8.2	FLAC 法基本原理	49
§ 2.8.3	FLAC 法计算过程	51
§ 2.9	边坡工程的反分析法	51
§ 2.9.1	反分析法简述	51
§ 2.9.2	反分析基本原理	52
§ 2.9.3	参数反演的优化法	54
§ 2.10	其他方法简介	56
§ 2.10.1	遗传进化算法	56
§ 2.10.2	神经网络算法	57
§ 2.10.3	模糊测度理论	58
§ 2.10.4	灰色系统理论	59
第 3 章	坡率法与减重设计	63
§ 3.1	概述	63
§ 3.1.1	坡率法与减重的概念	63
§ 3.1.2	坡率法与减重的适用范围	63

§ 3.2 坡率法的设计	64
§ 3.2.1 设计的内容与一般规定	64
§ 3.2.2 岩质边坡的削坡坡率	65
§ 3.2.3 土质边坡的削坡坡率	67
§ 3.2.4 边坡稳定性验算	69
§ 3.3 削坡减重的设计	75
§ 3.3.1 一般规定	75
§ 3.3.2 滑坡超重计算	75
§ 3.3.3 滑坡稳定性验算	75
第 4 章 抗滑挡土墙的设计与施工	76
§ 4.1 概述	76
§ 4.1.1 抗滑挡土墙类型、特点和适用条件	76
§ 4.1.2 抗滑挡土墙布置原则	77
§ 4.1.3 抗滑挡土墙的设计程序	78
§ 4.2 抗滑挡土墙设计与计算	79
§ 4.2.1 抗滑挡土墙上力系分析与荷载确定	79
§ 4.2.2 抗滑挡土墙平面尺寸与高度的拟定	82
§ 4.2.3 基础的埋深	83
§ 4.2.4 基底应力及地基强度验算	83
§ 4.2.5 抗滑挡土墙的稳定性及强度验算	84
§ 4.3 抗滑挡土墙的施工	86
§ 4.3.1 填料选择	86
§ 4.3.2 墙身材料选择	87
§ 4.3.3 施工注意事项	87
第 5 章 抗滑桩的设计与施工	89
§ 5.1 概述	89
§ 5.1.1 抗滑桩类型、特点及适用条件	89
§ 5.1.2 抗滑桩设计要求和设计内容	90
§ 5.1.3 抗滑桩的设计计算程序	91
§ 5.2 抗滑桩设计荷载的确定	92
§ 5.2.1 滑坡推力的确定	92
§ 5.2.2 地基反力的确定	92
§ 5.3 抗滑桩的计算方法	94
§ 5.3.1 刚性桩与弹性桩的区分	94
§ 5.3.2 刚性桩的计算	94
§ 5.3.3 弹性桩的计算	96
§ 5.4 抗滑桩的设计	113
§ 5.4.1 抗滑桩的布设	113

§ 5.4.2	桩型选择	114
§ 5.4.3	桩的内力和变位计算	114
§ 5.4.4	桩的配筋计算和构造设计	116
§ 5.5	抗滑桩的施工	116
§ 5.5.1	施工一般程序	116
§ 5.5.2	设桩工艺选择	117
§ 5.5.3	施工机具	118
§ 5.5.4	施工质量控制	119
§ 5.5.5	施工中应注意的问题	120
第 6 章	锚杆(索)设计与施工	123
§ 6.1	概述	123
§ 6.1.1	岩土锚固技术的发展与应用	123
§ 6.1.2	锚杆(索)的结构与分类	123
§ 6.1.3	锚杆(索)在边坡处治中的应用	125
§ 6.2	锚杆(索)的设计与计算	128
§ 6.2.1	锚杆(索)设计的基本原则	128
§ 6.2.2	锚杆(索)的设计程序	128
§ 6.2.3	锚杆(索)锚固设计荷载的确定	130
§ 6.2.4	锚杆(索)锚筋的设计	130
§ 6.2.5	锚杆(索)的锚固力计算与锚固体设计	132
§ 6.2.6	锚杆弹性变形计算	135
§ 6.2.7	锚杆(索)的锁定荷载和锚头设计	135
§ 6.2.8	锚杆(索)的防腐设计	136
§ 6.3	锚杆(索)的构造设计	137
§ 6.3.1	锚杆的一般构造要求	137
§ 6.3.2	锚杆挡墙的构造	137
§ 6.3.3	锚板支护结构的构造	138
§ 6.3.4	锚钉边坡的构造	138
§ 6.4	锚杆(索)的施工	139
§ 6.4.1	施工前的准备工作	139
§ 6.4.2	造孔	140
§ 6.4.3	锚杆制作与安装	140
§ 6.4.4	注浆施工	141
§ 6.4.5	锚杆的张拉与锁定	141
§ 6.5	锚杆(索)的试验与观测	142
§ 6.5.1	锚杆(索)的性能试验	142
§ 6.5.2	锚杆(索)的验收试验	143
§ 6.5.3	锚杆(索)的蠕变试验	143
§ 6.5.4	锚杆(索)的长期观测	144

第7章 格构加固边坡的设计与施工	145
§ 7.1 概述	145
§ 7.1.1 格构的作用、特点及适用条件	145
§ 7.1.2 格构的结构型式及其布置	145
§ 7.2 边坡格构加固设计	146
§ 7.2.1 格构加固设计的一般要求	146
§ 7.2.2 锚固荷载的计算	147
§ 7.2.3 格构的结构设计与计算	149
§ 7.2.4 格构的构造要求	150
§ 7.3 格构的施工	151
§ 7.3.1 浆砌块石格构的施工要点	151
§ 7.3.2 现浇钢筋混凝土格构的施工要点	151
§ 7.4 国外格构加固技术简介	151
§ 7.4.1 PC 格构加固技术简介	151
§ 7.4.2 QS 格构加固技术简介	153
第8章 加筋边坡和加筋土挡墙的设计与施工	155
§ 8.1 概述	155
§ 8.1.1 加筋土结构的特点	155
§ 8.1.2 加筋土工作基本原理	156
§ 8.1.3 加筋土技术应用概述	159
§ 8.2 加筋材料	161
§ 8.2.1 加筋材料种类	161
§ 8.2.2 加筋材料试验	164
§ 8.2.3 加筋材料指标选用及注意问题	166
§ 8.3 加筋边坡	167
§ 8.3.1 加筋边坡形式	167
§ 8.3.2 加筋边坡的设计	168
§ 8.3.3 加筋边坡的施工	170
§ 8.4 加筋土挡墙	171
§ 8.4.1 加筋土挡墙形式	171
§ 8.4.2 加筋土挡墙构造	171
§ 8.4.3 加筋土挡墙设计计算	175
§ 8.4.4 加筋土挡墙的施工	181
第9章 注浆加固边坡的设计与施工	189
§ 9.1 概述	189
§ 9.1.1 注浆加固技术概念	189
§ 9.1.2 注浆法的分类	189

§ 9.1.3 注浆加固技术在边坡处治中的应用	190
§ 9.2 注浆材料及浆液的性质	191
§ 9.2.1 注浆材料及其性能	191
§ 9.2.2 注浆浆液的性质	193
§ 9.3 注浆理论	196
§ 9.3.1 渗入性注浆理论	196
§ 9.3.2 劈裂注浆理论	199
§ 9.4 注浆加固设计	200
§ 9.4.1 设计内容与设计程序	200
§ 9.4.2 注浆方案与注浆标准的确定	200
§ 9.4.3 注浆材料及配方设计原则	201
§ 9.4.4 浆液扩散半径的确定及注浆孔平面布置	201
§ 9.4.5 灌浆压力确定	202
§ 9.5 边坡注浆加固施工	203
§ 9.5.1 注浆施工前期工作	203
§ 9.5.2 注浆施工管理	204
§ 9.5.3 注浆施工的常用方法	204
§ 9.5.4 边坡注浆施工的一般要求	207
§ 9.6 注浆效果评价与边坡稳定性验算	207
§ 9.6.1 声波测井法	208
§ 9.6.2 CT评价方法	208
§ 9.6.3 注浆后的边坡稳定性验算	209
第10章 排水工程设计与施工	210
§ 10.1 概述	210
§ 10.1.1 滑坡中的水及其对稳定性的影响	210
§ 10.1.2 排水工程在滑坡处治中的地位和作用	210
§ 10.1.3 滑坡处治中常见的排水措施	211
§ 10.2 地表排水工程设计与计算	212
§ 10.2.1 地表水汇流量的确定	212
§ 10.2.2 地表排水体系设计及结构形式	215
§ 10.2.3 地表排水沟过流量的验算	218
§ 10.2.4 地表排水工程设计原则和要求	218
§ 10.3 地下排水工程设计与计算	220
§ 10.3.1 地下水渗透流量的确定	220
§ 10.3.2 地下排水体系设计	223
§ 10.3.3 排水隧洞的设计	233
§ 10.4 排水工程的施工	236
§ 10.4.1 地表排水体系施工	237
§ 10.4.2 地下排水体系施工	238

第 11 章 边坡工程监测	241
§ 11.1 概述	241
§ 11.1.1 边坡工程监测的意义	241
§ 11.1.2 边坡工程监测的内容与方法	241
§ 11.1.3 边坡工程监测计划与实施	242
§ 11.1.4 边坡工程监测的基本要求	243
§ 11.2 边坡的变形监测	243
§ 11.2.1 地表大地变形量测	243
§ 11.2.2 边坡表面裂缝量测	244
§ 11.2.3 边坡深部位移量测	245
§ 11.2.4 边坡变形量测资料的处理与分析	247
§ 11.3 边坡应力监测	249
§ 11.3.1 边坡内部应力测试	249
§ 11.3.2 岩石边坡地应力监测	250
§ 11.3.3 边坡锚固应力测试	251
§ 11.4 边坡地下水监测	254
§ 11.4.1 地下水位监测	254
§ 11.4.2 孔隙水压力监测	254
第 12 章 边坡工程与环境	256
§ 12.1 概述	256
§ 12.1.1 环境的概念	256
§ 12.1.2 环境岩土工程	256
§ 12.1.3 边坡与环境	257
§ 12.1.4 国内外边坡处治中的环境保护技术发展	258
§ 12.2 边坡处治中的绿化技术	259
§ 12.2.1 边坡绿化的原则	259
§ 12.2.2 边坡绿化的主要方法	259
§ 12.2.3 边坡绿化的植被品种	263
§ 12.2.4 边坡绿化植被的选择	263
§ 12.2.5 边坡绿化播种量的估算	264
§ 12.2.6 边坡绿化的施工	264
§ 12.2.7 边坡绿化的养护与管理	267
§ 12.3 边坡工程美学	267
§ 12.3.1 边坡工程的环境美学	267
§ 12.3.2 边坡工程的景观美学	270
第 13 章 工程实例	274
§ 13.1 重力式抗滑挡墙算例	274

§ 13.1.1	工程概况	274
§ 13.1.2	设计计算	274
§ 13.2	加筋陡坡路堤实例	279
§ 13.2.1	工程概况	279
§ 13.2.2	设计基本资料	279
§ 13.2.3	设计方案	280
§ 13.2.4	工程施工	280
§ 13.2.5	效果及评述	286
§ 13.3	抗滑桩实例	286
§ 13.3.1	工程概况	286
§ 13.3.2	设计基本资料	286
§ 13.3.3	设计方案	287
§ 13.3.4	工程施工	290
§ 13.3.5	效果及评述	290

第1章 绪 论

§ 1.1 概 述

§ 1.1.1 边坡失稳与滑坡

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工程形式。作为全球性三大地质灾害(地震、洪水、崩塌滑坡泥石流)之一的边坡失稳塌滑严重危及到国家财产和人们的生命安全。随着我国基础建设的大力发展,在矿山、水利、交通等部门都涉及到大量的边坡问题,因此对边坡的正确认识,合理地设计、适当的治理,把边坡失稳造成的灾害降低到最低限度,是岩土工程界的学者和工程设计人员必须考虑的问题。

边坡是否稳定受多种因数的影响,主要有:(1)岩土性质的影响,包括岩土的坚硬程度、抗风化能力、抗软化能力、强度、组成、透水性等;(2)岩层的构造与结构的影响,表现在节理裂隙的发育程度及其分布规律、结构面的胶结情况、软弱面和破碎带的分布与边坡的关系、下伏岩土界面的形态以及坡向坡角等;(3)水文地质条件的影响,包括地下水的埋藏条件、地下水的流动及动态变化等;(4)地貌因数,如边坡的高度、坡度和形态等;(5)风化作用的影响,主要体现为风化作用将减弱岩土的强度,改变地下水的动态;(6)气候作用的影响,气候引起岩土风化速度、风化厚度以及岩石风化后的机械、化学变化,同时引起地下水(降水)作用的变化;(7)地震作用除了使岩土体增加下滑力外,还常常引起孔隙水压力的增加和岩土体的强度的降低;另外人类活动的开挖、填筑和堆载等人为因数同样可能造成边坡的失稳。

一个边坡的失稳往往是多种因素的共同作用的结果,我们通常将导致边坡失稳的这些因素归结为两大类。一是外界力的作用破坏了岩土体原来的应力平衡状态。如路堑或基坑开挖、路堤填筑或边坡顶面上作用外荷载,以及岩土体内水的渗流力、地震力的作用等,改变原有应力平衡状态,使边坡坍塌。另一是边坡岩土体的抗剪强度由于受外界各种因素的影响而降低,促使边坡失稳破坏,如气候等自然条件使岩土时干时湿、收缩膨胀、冻结融化等,水的渗入、软化效应、地震引起砂土液化等均将造成强度降低。

边坡在自然与人为因素作用下的破坏形式主要表现为滑坡、滑塌、崩塌和剥落。滑坡(slides)是斜坡部分岩土体在重力作用下,沿一定的软弱面,缓慢地整体向下移动,具有蠕动变形、滑动破坏和渐趋稳定三个阶段,有时也具有高速急剧移动现象。滑塌(slip-slumps)是因开挖、填筑、堆载引起斜坡的滑动或塌落,一般较突然,粘性土类边坡有时也会出现一个变形发展过程。崩塌(fall-slumps)是整个岩土体块脱离母体,突然从较陡的斜坡上崩落、翻转、跳跃、堆落在坡脚,规模巨大的称为山崩,规模较小的称为塌方。剥落(falls)是斜坡岩土长期遭受风化、侵蚀,在冲刷和重力作用下,岩(土)屑(块)不断沿斜坡滚落堆积在坡脚。

边坡失稳破坏产生的滑坡、滑动、沉陷、泥石流、岩崩,这些在表面上看似斜坡岩土体运动

的不同表现形式,但随时都有可能带来严重的破坏,甚至是灾难。如美国的布法罗的煤矿废物泥浆挡坝的倒塌造成 125 人的死亡;1963 年北意大利的 Vaiont 水库左岸滑坡,使得 25 000 万立方米的滑体以 28m/s 的速度下滑到水库,形成 250 多米高的涌浪,造成下游 2 500 多人丧生;1980 年我国湖北运安盐池河磷矿发生山崩,100 万立方米的岩体崩落,摧毁了矿务局和坑道的全部建筑物,造成 280 人死亡;1989 年 7 月 10 日,华莹市溪口镇因崩塌形成的滑坡、泥石流造成 222 人死亡。1994 年宜宾市兴文县久庆镇,因建设切坡脚,诱发滑坡,导致楼房倒塌,赶集村民一次死亡 48 人,伤 40 人。1995 年 10 月,330 国道青田县茅洋村路段边坡崩塌,途经此地至金华大客车被埋,车内 37 人全部身亡,车辆报废。1998 年美姑县乐约乡特大滑坡,导致 150 余人失踪;1999 年,古蔺县滑坡、泥石流灾害死亡 41 人。2001 年 5 月 1 日重庆市武隆县县城江北西段发生山体滑坡,造成一栋 9 层居民楼房跨塌、死亡 79 人,阻断了 319 国道新干道,几辆停靠和正在通过的汽车也被掩埋在滑体中。世界上每年由于人工边坡或自然边坡失稳造成的经济损失数以亿记,如 1978 年 Schuster 收集的资料显示,在美国仅加州由于边坡失稳造成的经济损失每年可达 33 亿美元,除此之外,在美国平均每年至少有 25 人死于这种灾害;1984 年在英国的 Carsington 大坝滑动,使耗资近 1500 万英镑的主堤几乎完全破坏。在我国,据不完全统计,1998 年以来福建省先后发生的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等 21300 多起,涉及 40 多个县(市、区),造成 300 余人死亡,伤 500 余人,毁房 500 余间,经济损失高达 10 多亿元;四川省近 10 年来,每年地质灾害造成的损失达数亿元,死亡人数在 300 人左右;三峡库区的最新统计表明,1982 年以来库区两岸发生滑坡、崩塌、泥石流 70 多处,规模较大的 40 多处,死亡 400 人,直接经济损失数千万。云南省的公路边坡灾害调查数据显示,1990~1999 年,云南公路边坡发生大、中型崩塌、滑坡、泥石流 135~144 次,造成 1 000 余座桥梁被毁,经济损失达 168 亿余元,并对全省 2 220km 公路的运营构成严重威胁。

边坡的治理费用在工程建设中也是极其昂贵的,根据 1986 年 E. N. Bromhead 的统计,用于边坡治理的费用约占地质和自然灾害的 25%~50% 左右。如在英国的北 Kent 海岸滑坡处治中,平均每公里混凝土挡墙耗资高达 1 500 万英镑;在伦敦南部的一个仅 2 500m² 的小型滑坡处理中,勘察滑动面耗资 2 万英镑,而建造上边坡抗滑桩、挡土墙及排水系统花去 15 万英镑,如果加上上下边坡,费用将翻倍。在我国,随着大型工程建设的增多,用于边坡处治的费用在不断扩大,如三峡库区仅用于一期的边坡处治国家投资高达 40 亿元人民币;特别是在我国西部高速公路建设中,用于边坡处治的费用占总费用 30%~50%。因此对边坡进行合理地设计和有效治理将直接影响到国家对基础建设的投资以及安全运营。

§ 1.1.2 边坡形态与分类

在实际工程中,为满足不同工程用途的需要,边坡设计形态多种多样,边坡的分类通常有以下几种:

(1)按照边坡的成因可分为天然边坡和人工边坡。天然边坡是自然形成的山坡和江河湖海的岸坡。

(2)按照构成边坡坡体的岩土性质可分为粘性土类边坡、碎石类边坡、黄土类边坡和岩石类边坡。

(3)按照边坡的稳定性程度可分为稳定性边坡、基本稳定边坡、欠稳定边坡和不稳定边坡。这种分类方法一般根据边坡的稳定性系数的大小进行划分,但无严格的规定。

(4)按照边坡的高度分类,边坡高度大于 15m 称为高边坡,小于 15m 称为一般边坡。

(5)根据边坡的断面形式可分为直立式边坡、倾斜式边坡和台阶形边坡,如图 1.1 所示。根据这三种形式可构成复合形式的边坡,如图 1.2 所示。边坡横断面外形和各部位名称如图 1.3 所示。

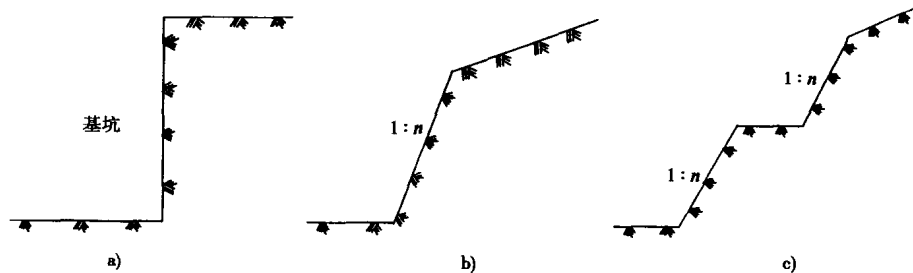


图 1.1 边坡基本形态
a)直立式坡;b)倾斜式边坡;c)台阶状边坡

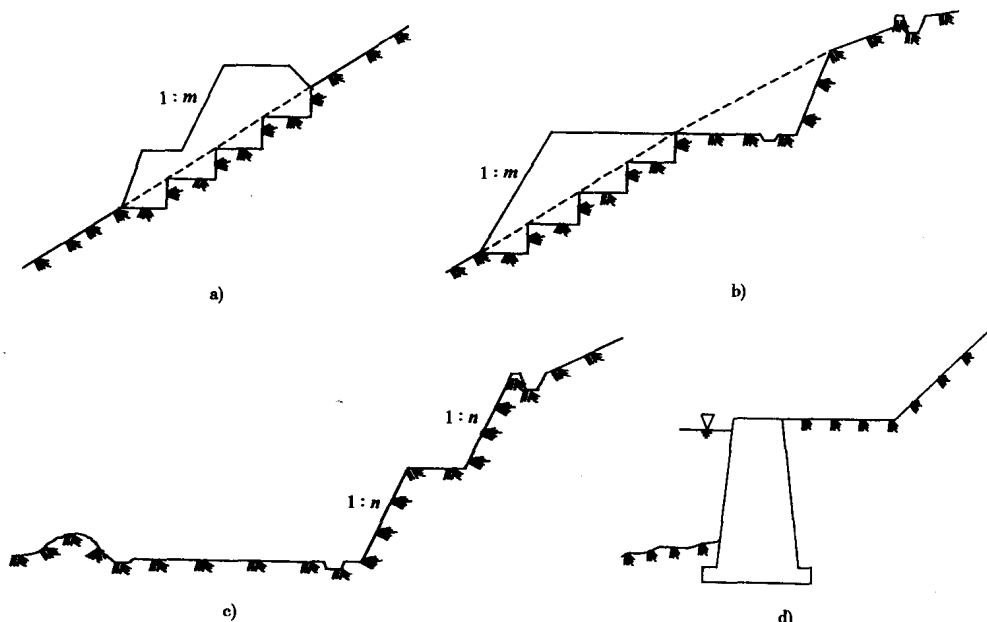


图 1.2 复合边坡形态

(6)根据使用年限分为临时性边坡和永久性边坡。临时性边坡是指工作年限不超过两年的边坡;永久性边坡是指工作年限超过两年的边坡。

除了上述分类方法外,边坡还可以根据支护结构形式进行分类。

在实际工程中,由于设计或施工不当,或因地质条件的特殊复杂性难以预计,边坡中一部分坡体相对于另一部份坡体产生相对位移以至丧失原有稳定性,从而形成滑坡,其滑动形式可用图 1.4 表示。

牵引式滑坡主要是由于边坡开挖卸载,坡体内部应

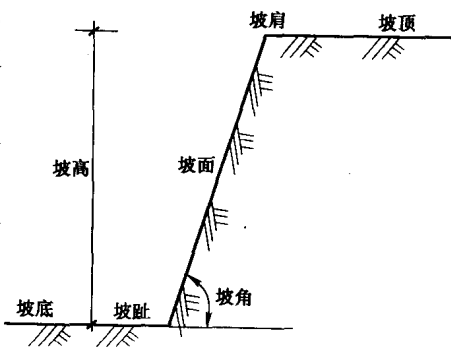


图 1.3 边坡构成要素

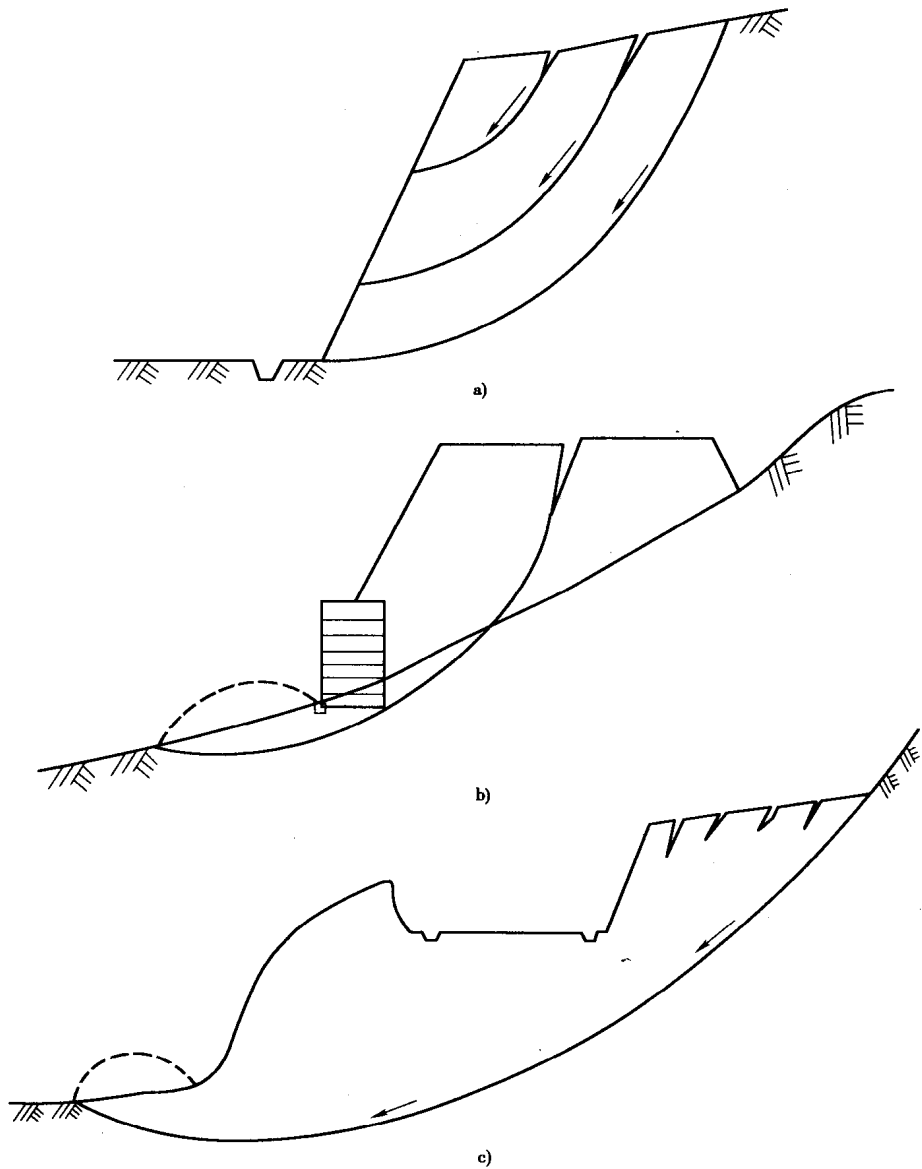


图 1.4 边坡滑动特征

a)牵引式滑坡;b)推移式滑坡;c)整体滑坡

力释放,原有平衡状态被打破,在坡顶后缘一定位置处产生拉裂缝,随着边坡开挖深度的增加,裂缝逐渐向后发展,滑动面位置相应由浅部向深部发展。推移式滑坡主要是由于整个路堤(或堤坝、土堤等)向下滑动,推动坡体变形或破坏,坡顶出现明显的下沉,并出现拉裂缝,形成台阶;坡脚附近的地面有较大的侧向位移并向上隆起。而整体式滑坡则是由于坡体开挖或填筑,破坏了整个古滑坡体的平衡状态,致使整个古滑坡体复活,在整个坡面上均出现大小不同的拉裂缝,坡脚产生明显的向上隆起。

边坡的安全等级的划分是根据边坡破坏后造成的损失严重性、边坡的类型及坡高等因素确定的,它是边坡工程设计和施工中根据不同的地质环境条件及工程具体情况加以区别对待的重要标准。根据《建筑边坡支护技术规范》,边坡的安全等级划分为三级,如表 1.1 所示。

《建筑边坡支护技术规范》规定的边坡安全等级

表 1.1

边坡类型		边坡高度(m)	破坏后果	安全等级
岩质边坡	岩体类型为 I 或 II 类	$H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级
	岩体类型为 III 或 IV 类	$15 < H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
		$H \leq 15$	很严重	一级
土质边坡	$H > 12$ (挖方) $H > 8$ (填方)	很严重	一级	
		严重	二级	
		很严重	一级	
	$H \leq 12$ (挖方) $H \leq 8$ (填方)	严重	二级	
		很严重	一级	
		不严重	三级	

注:表中的边坡类型划分参阅《建筑边坡支护技术规范》的规定。

§ 1.1.3 边坡稳定性研究的发展

边坡研究的基础理论是建立在土力学和岩石力学之上的,所以土力学和岩石力学的成就与发展决定了对边坡研究的完善程度。二次世界大战前后,边坡问题的研究尚属土力学的研究范畴,边坡稳定性分析方法主要借鉴土力学的研究成果,例如 1916 年由 Prantle 提出, Fellenius 和 Taylor(1922)发展的圆弧滑动法、1955 年的 Bishop 条分法、1954 年的 Janbu 条分法和 20 世纪 70 年代的王复来分析方法等形成极限平衡理论,是建立在刚塑性体模型基础上的破坏理论,是古典土力学解决土质边坡稳定性的核心。而现代土力学致力于土体真实破坏过程的理论研究,它的建立可能要运用到损伤力学、细观力学和分形理论等现代力学分支,最后要完成对边坡破坏过程的数学模拟。

岩石边坡的研究依赖于岩石力学的发展,早期人们将简单均质弹性、弹塑性理论为基础的半经验半理论边坡分析方法用于岩质边坡的稳定性研究,但其计算结果与工程实际有较大差异。在 20 世纪 60 年代初期,随着大型工程的建设,所形成的边坡规模加大,地质条件也变得极其复杂,特别是 1963 年意大利 Vaiont 水库左岸的滑坡等一系列水电工程事故的发生后,促使人们对岩石力学进行深入研究,岩石边坡稳定性研究也向前迈进了一大步,人们清楚地认识到在边坡稳定性分析中,必须将地质分析与力学机制分析紧密结合起来,从而形成了 60 年代初期的刚体极限平衡法,以及结构面的力学特性对岩体滑动的影响研究。1967 年人们第一次尝试用有限元研究边坡的稳定性问题,给定量评价边坡的稳定性创造条件,并使其逐步过渡到数值方法,从而使边坡稳定性研究进入模式机制和作用过程研究成为可能,同时以概率论为基础的可靠度方法也被引入边坡稳定性研究中。同一时期,我国在边坡工程稳定性研究方面也取得了丰硕的成果,如岩体结构理论及相应的边坡岩体稳定性分析的岩体工程地质力学方法等。

20 世纪 80 年代后,由于计算技术的发展及岩体力学性质研究的进展,各种复杂的数值计算方法广泛地应用于边坡研究。1983 年孙玉科对盐池河山崩变形机制作了平面有限元分析;