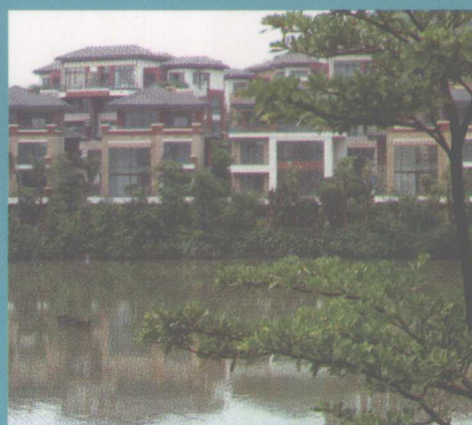
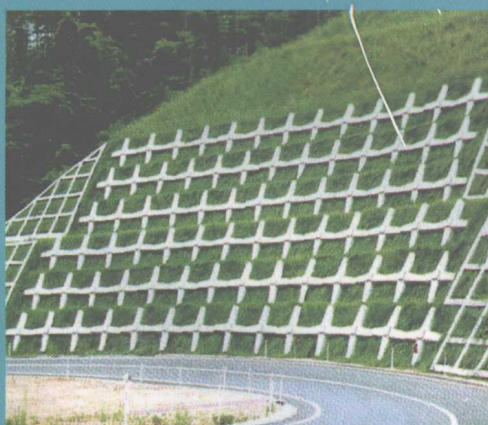


工程护坡与生物护坡

戴金水 张玉昌 王坤堂 等著



東北大學出版社
Northeastern University Press

© 戴金水 张玉昌 王坤堂 等 2008

图书在版编目 (CIP) 数据

工程护坡与生物护坡 / 戴金水, 张玉昌, 王坤堂等著. —沈阳: 东北大学出版社,
2008.8

ISBN 978-7-81102-594-1

I. 工… II. ①戴… ②张… ③王… III. ①道路工程—护坡 ②植被—护坡
IV. U417.1 U418.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 120464 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 11.125

字 数: 292 千字

插 页: 16

出版时间: 2008 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 孙 锋 张德喜

责任校对: 王艺霏

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-594-1

定 价: 58.00 元

前 言

我国是世界上生态环境问题最多、水土流失最严重的国家之一，超过国土面积 50% 的山地、丘陵、黄土高原存在大量裸露坡面，侵蚀相当严重。特别是近年来国家基本建设速度加快，修公路、铁路，采石、开矿，建水库、电站等，形成了大量裸露坡面工程创伤，出现了大量新的水土流失源和地质灾害隐患，加剧了人类生存环境的恶化和生态系统的退化，构成了对国家生态安全的威胁。如废弃矿山面积达到 40000km^2 ，并以每年 330km^2 的速度增加。而公路、铁路在进入 21 世纪以来的快速发展和大规模建设产生的各种裸露山体坡面面积更是巨大，我国高速公路建设工程每年新产出的裸露边坡约 $3 \times 10^8\text{m}^2$ ，约合 30 万~50 万亩，并且呈线性分布，影响面大，是我国新的水土流失源。随着“十一五”规划的执行和西部大开发力度的加大，我国这一水土流失源还会加大。由此可见，我国保护生态环境的问题十分严峻。

我国又是一个地质灾害发生频繁的国家，2008 年 5 月 12 日，四川汶川大地震造成 7 万人丧生和巨大的经济损失，其中有相当一部分损失是由地震引起的山体滑坡等地质灾害造成的。因此，加强对边坡地质灾害防治和生态恢复技术开发既是一个长期的，又是一个紧迫的维护国家生态安全的重要任务。

工程护坡主要是采用坡面防护、支挡防护、冲刷防护等工程措施，这些措施对维护边坡稳定和防侵蚀效果较好，但破坏了自然生态的和谐，而且随时间推移，混凝土老化、钢筋腐蚀、强度降低等，从而使护坡效果变差。生物护坡（或叫植被护坡）是利用植被涵水固土原理在稳定岩土边坡的同时进行边坡生态恢复的技术，是涉及恢复生态学、岩土工程学、植物学、生物学、土壤肥科学、材料科学、机电一体化技术、园林园艺学等多学科交叉的综合性系统工程技术。国际上把生物护坡定义为“用活的植物，单独用植物或者植物与土木工程和非生命的植物材料相结合，以减轻坡面的不稳定性和侵蚀”。

近几年来我国边坡工程防护和生态防护，经历了由粗放到精细，由简单到复杂，由手工到机械化，由引进国外技术设备到自主研发，由引进物种为主到培育乡土物种、建立坡面植被技术体系的发展过程。我国科技工作者对于工程

护坡和生物护坡进行了系统的研究,既开发了工程护坡的新技术,又研究了生物护坡的新理论、新模式、新材料和新设备,并在综合运用工程护坡和生物护坡技术上取得了突破性的进展。2005年北京林业大学等多家单位合作攻关开发的《裸露坡面植被恢复综合技术研究》获得国家科技进步二等奖,体现了国家对边坡工程护坡和生物护坡的重视。2007年党的十七大把生态文明建设提高到国家战略高度,要像建设物质文明和精神文明一样建设生态文明。而边坡的工程护坡和生物护坡正是生态文明建设的重要内容。

本书由戴金水、张玉昌、王坤堂、张强、邹宇超共同编著,由戴金水、张玉昌、王坤堂统稿。本书较系统地介绍了我国裸露坡面工程护坡和植被恢复综合技术研究的成果,特别是裸露坡面植被技术体系和裸露坡面植被保障技术体系。同时介绍了国内外工程护坡和生物护坡的发展动态,强调工程护坡和生物护坡结合的理念,给出了工程护坡和生物护坡结合的模式、技术和方法。力求深入浅出、图文并茂。本书既可作为水土保持、岩土工程、地质灾害防治等专业师生教学参考,也可作为相关专业技术人员的参考书。

本书在编辑出版过程中,得到了深圳市水土保持办公室、深圳市生态学会、深圳水务局吴长文博士、赖涛博士,陈霞、李财金高级工程师,郑佳丽工程师,深圳国土局龚进军高工、深圳宝安城管办吴向宁高工,北京林业大学韩烈保教授、深圳四季青园林公司徐义炎教授、西北农林科技大学梁银丽教授、水利科学研究院李炳琦博士等的指教和帮助。东北大学杨学涵教授在百忙中审阅了本书。在此深表谢意。

向四川地震灾区从事地质灾害治理和山体生态恢复的科技工作者和广大施工人员致敬。

编 者

2008年6月

目 录

第一章 岩土边坡概念	1
第一节 岩土边坡分类与破坏类型.....	1
第二节 边坡的破坏类型.....	3
第三节 边坡稳定性评价.....	4
第二章 边坡工程防护	6
第一节 边坡工程防护与加固的分类与要求.....	6
第二节 冲刷防护.....	7
第三节 边坡支挡防护	11
第三章 边坡水系理顺工程设计	37
第一节 岩土的水理性质	37
第二节 边坡水系理顺的一般原则	38
第三节 截排水沟渠的构筑和加固	38
第四节 跌水与急流槽	42
第五节 生态水沟	43
第六节 地下水处理	44
第七节 截排水质量检验	44
第四章 生物护坡原理	46
第一节 生物护坡机理	46
第二节 坡面生物防护的水文效应	59
第三节 生物护坡的生态学理论	63
第五章 裸露坡面生态恢复的植被技术体系	67
第一节 抗干旱、耐瘠薄的护坡植物资源研究	67
第二节 坡面植物种类和群落优化设计	80

第三节 常用护坡植物	95
第六章 坡面植被种植保障技术体系	114
第一节 概 述	114
第二节 坡面植被恢复一般方法	114
第三节 铺植草皮和种草	117
第四节 液压喷播	117
第五节 挂网液压喷播技术	118
第六节 挖沟挂网喷播技术	120
第七节 土工格室挂网喷播技术	121
第八节 藤本植物护坡	122
第九节 其他护坡方法	123
第七章 高陡边坡的生物护坡方法	126
第一节 高陡边坡的生物护坡技术	126
第二节 喷混植生的施工设备	141
第三节 喷混植生湿式喷播设备	144
第四节 高陡边坡的生物护坡验收质量要求	151
第八章 水面涨落带工程护坡和生物护坡技术	153
第一节 两栖植物在水面涨落带应用	153
第二节 生态混凝土	159
第九章 生物护坡工程养护和坡面植被质量评价体系	163
第一节 生物护坡工程养护	163
第二节 坡面植被质量评价体系	164
后 记	167
参考文献	170

附 图

第一章 岩土边坡概念

第一节 岩土边坡分类与破坏类型

“边坡”是由工程活动或自然形成的，其位移和变形可能对邻近的环境有影响的斜坡。这个定义给出了边坡的两个本质特点：第一，有一定坡度；第二，它的位移和变形对环境可能造成影响。这个定义可以涵盖上述所有工程领域：矿山、公路、铁路、工用民用建筑、水利工程中所有边坡。

开发建设项目形成的裸露边坡不仅造成水土流失和生态破坏，也是各类地质灾害源，见图 1-1。这些裸露边坡的工程防护和生态防护是本书要讨论的主要内容。

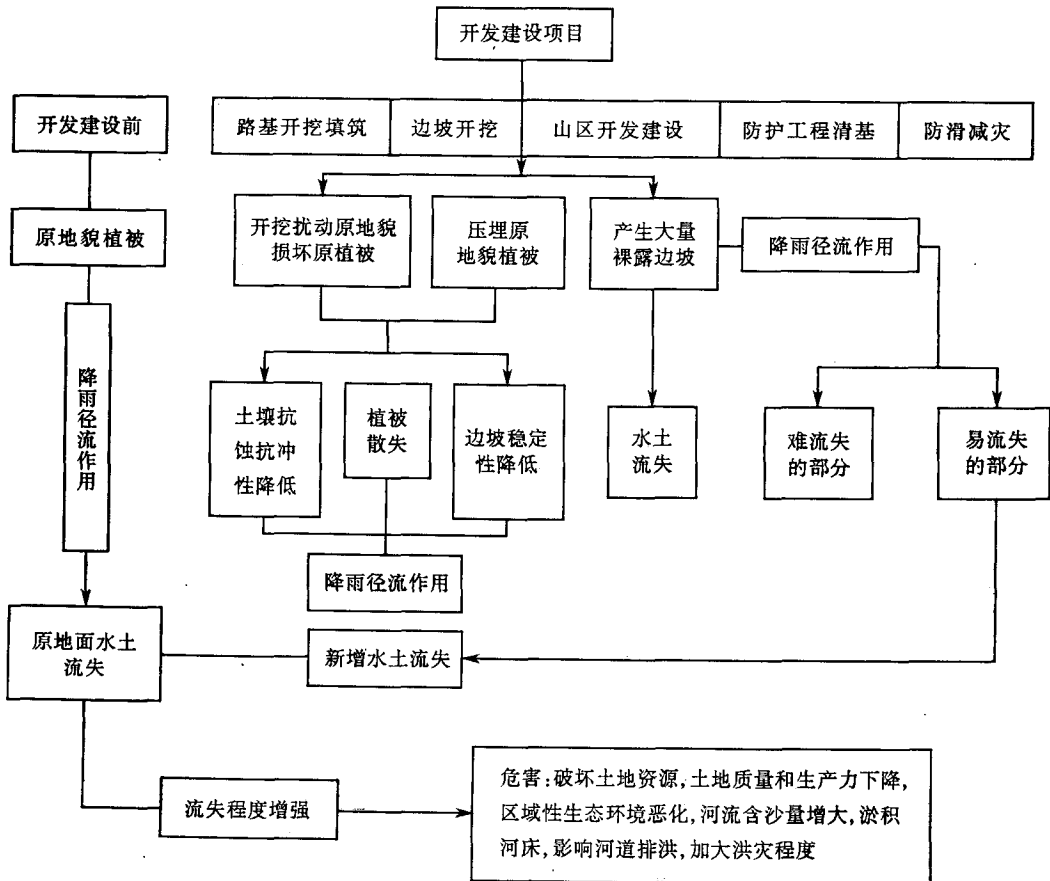


图 1-1 开发建设项目形成的裸露坡面框图

根据边坡物质组成，可以将边坡分为岩石边坡、土质边坡。边坡还可以根据土、石类类别进一步细分，注意这里岩石类边坡使用地质学标准，而土质边坡的分类使用 GB J7—89 标

准。按形成原因, 可以将边坡分为自然边坡和人工边坡, 进一步细分见图 1-2。人工边坡还可以分为挖方和填方边坡。

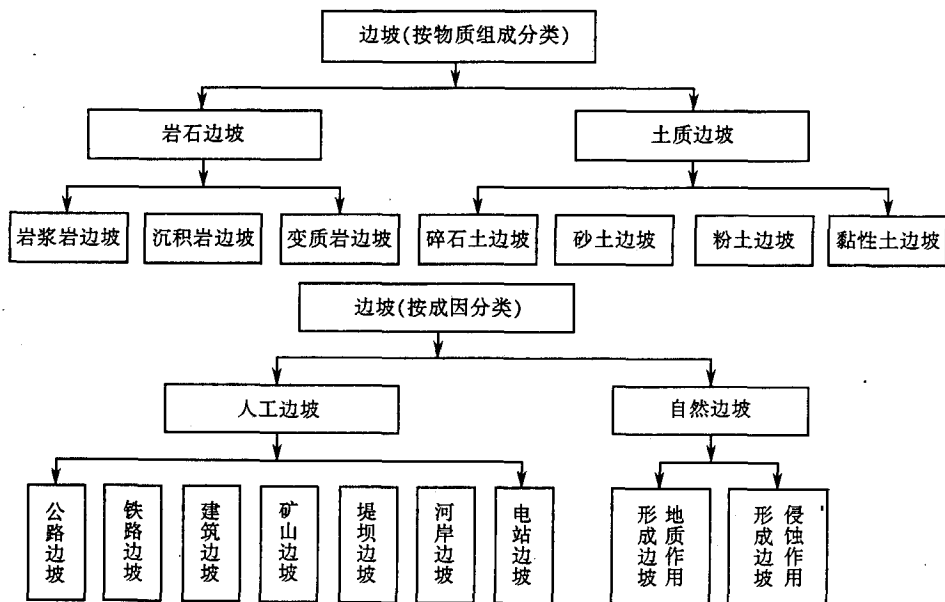


图 1-2 边坡分类框图

按其他标准分类见表 1-1。此处按高度分类的高度级别是根据工程实践中常用护坡措施决定的, 如常用土坡挡土墙结构一般小于 6m, 8m 岩石边坡一般不作处理等。

表 1-1

边坡分类

分类依据	名称	简述
成因	自然边坡	由地质灾害或侵蚀等效用形成的边坡, 细分见图 1-2
	人工边坡	又可分为挖方和填方边坡, 还可根据工程类别分类, 见图 1-2
坡面物质	岩石边坡	进一步细分, 见图 1-2
	土质边坡	可根据土类进一步细分, 见图 1-2
坡高	超高坡面	岩石边坡高大于 30m, 土质边坡高大于 15m
	高边坡	岩石边坡高 15~30m, 土质边坡大于 10~15m
	中高边坡	岩石边坡高 8~15m, 土质边坡高 6~10m
	低边坡	岩石边坡高小于 8m, 土质边坡高小于 6m
坡度	缓坡	岩石边坡大于 30°, 土质边坡 20°
	斜坡	岩石边坡坡度 30°~45°, 土质边坡 20°~30°
	陡坡	岩石边坡坡度 45°~90°, 土质边坡 30°~45°
	倒坡	岩石边坡坡度大于 90°
朝向	向阳边坡	坡面朝南
	阴阳边坡	坡面朝东或朝西
	背阳边坡	坡面朝北
水文情况	干燥边坡	下雨后坡面干燥快, 夏天干旱超过 10 天坡面植物缺水
	潮湿边坡	坡面有少量地下水从岩石缝隙渗出, 夏天能忍受连续 40 天干旱
	滴水边坡	坡面有较多地下水活动, 夏天即使连续干旱 60 天, 坡面仍然潮湿
	涌泉边坡	坡面有泉水活动, 常年涌水

第二节 边坡的破坏类型

边坡工程病害包括：风化剥落、掉块落石、崩塌、倾倒、溃屈、坍塌、溜坍、坍滑、滑坡、错落等。边坡病害发育的特征是：类型复杂，数量多、规模大、危害重，不同地貌差异大，软弱岩层中密集发育等。边坡病害工程抢险救灾应具有可控制性、抗干扰性、时效性、安全性、协调性等特点。以下对 10 类边坡病害简要介绍，每种边坡病害特征参见附图 1。

1. 风化剥落

风化剥落是指坡面裸露的岩体在岩石物理风化和水力作用下逐渐演变成碎屑物质剥离底层岩面而形成坠落的病害现象。风化剥落是较为常见的岩质路堑边坡病害类型，硬质岩剥落较缓慢，而软质岩则相对较严重。岩石特征、气候和地形条件是控制岩石风化的主要因素。不同的岩石具有不同的矿物组成和结构构造，不同矿物的溶解性差异很大。节理、层理和孔隙的分布状况和矿物的粒度，又决定了岩石的易碎性和表面积。对坡脚建筑物安全影响不大，但是由于长期风化剥落，将使边坡岩体形成巨大的洼崖腔，使上部硬质岩体形成危岩。

2. 掉块落石

掉块落石一般指坡体上由于节理、风化等形成的小型土块或岩石等分离体在重力、冰劈、根劈、或其他外力的作用下从坡顶或坡面掉落的病害现象。落石的物质来源：一种是坡顶或坡面由于风化破碎、植物根劈形成的碎石或崩塌残留物，另一种是由于结构面切割形成的小型楔体，土块的来源通常为坡顶覆盖层的解体物质。掉块落石的体积较小，其破坏力也不大；但高边坡的掉块落石，其能量也不可低估，构成较大的安全威胁。

3. 崩塌

崩塌是坡体上部分岩土体在重力作用下突然脱离山体向下坠落、翻滚、甚或碰撞，并堆积于坡脚的坡体病害现象。大小不等、零乱无序的岩块(土块)呈锥状堆积在坡脚的堆积物称崩积物，也可称为岩堆或倒石堆。崩塌一般具有突发性，破坏力强，常造成较大的危害。崩塌按物质可分为土崩、岩崩、以及雪崩(自然坡体)。规模大者称为山崩，河库岸边称为崩岸，还有堤崩等。

4. 倾倒

变形是在河谷下切或人工开挖作用后，经应力重分布，坡体上部岩体向外回弹松弛，并向临空方向作悬臂弯曲，逐渐向坡内发展，同时岩层之间发生错动并伴有拉裂，最后形成坡体突发失稳现象。常见于反倾或陡倾层状结构边坡岩体中。这种破坏模式在沉积岩地区的反倾地层中较为多见，似层状构造的火成岩也有发现。

5. 溃屈

溃屈破坏主要发育在等坡顺倾层状岩石边坡中，当岩层倾角与坡角大致相近时，坡脚岩层因剪切变形而呈鼓起状，同时产生层面拉裂、脱层等现象。

6. 坍塌

坍塌一般是指土质边坡或破碎岩石边坡，在降雨或地下水等触发因素的作用下，由于坡脚软化失去支撑，致使其上覆相应部分岩土崩解、坍落，并散堆于坡脚的坡体病害现象。坍塌具有富水性和突发性，在路堑边坡工程中常见。

7. 溜坍

溜坍是指坡面土体在强度软化和动静水压等作用下产生浅表层沿某些沟槽溜滑并坍移堆

积于坡脚的病害现象,多发生在降雨期,一般具塑流性质。根据非饱和土力学理论分析,坡面岩土体的强度是由黏聚力、摩擦角和基质吸力三者共同组成的。一旦降雨使坡面岩土饱和时,基质吸力急剧消失,岩土强度降低,并产生动静水压作用,容易形成溜坍病害。

8. 坍 滑

坍滑是指坡面岩土在饱水的状态下产生浅表层部分岩土整体坍移滑动的坡体病害现象。坍滑大多因暴雨触发,呈流塑状。

9. 滑 坡

滑坡是指斜坡上的部分岩土体由于各种原因在重力作用下沿一定的软弱面(或软弱带)整体地向下滑动并以水平运动为主的坡体地质病害现象。滑坡是边坡工程常见的和重要的病害现象之一。滑坡一般性质复杂、规模相对较大、灾害后果严重、治理工程投资和难度也相对较大。

10. 错 落

错落是指被陡倾的构造结构面与后山完整岩体分开的风化破碎岩体,因坡脚受冲刷或人工开挖而被压缩,引起的坡体以垂直下错为主的变形现象。在一定的结构面组合下,如变形体的后缘是沿一组陡而深的结构面发育时,往往变形体比不动体易破碎。由于变形体在压力增大的条件下,先自行下错压密,同时挤压中前部,直到形成向临空面倾斜的底部破碎带。

第三节 边坡稳定性评价

边坡稳定性评价应在充分查明工程地质条件的基础上,根据边坡岩土类型和结构,综合采用工程地质类比法和极限平衡计算法等方法进行。在进行边坡稳定性计算之前,应根据边坡水文地质、工程地质、岩体结构特征以及已经出现的变形破坏迹象,对边坡的可能破坏形式和边坡稳定性状态作出定性判断,确定边坡破坏的边界范围、边坡破坏的地质模型,并对边坡破坏趋势作出判断。边坡稳定性计算方法,根据边坡类型和可能的破坏形式,可按下列原则确定。

- (1) 土质边坡和较大规模的碎裂结构岩质边坡宜采用圆弧滑动法计算。
- (2) 对可能产生平面滑动的边坡宜采用平面滑动法进行计算。
- (3) 对可能产生折线滑动的边坡宜采用折线滑动法进行计算。
- (4) 对结构复杂的岩质边坡,可配合采用赤平极射投影法和实体比例投影法分析。
- (5) 当边坡破坏机制复杂时,宜结合数值分析法进行分析。

边坡稳定性系数的计算参见《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)。边坡稳定性验算时,稳定性系数应不小于表 1-2 规定的安全系数的要求,否则应对边坡进行治理。

表 1-2 边坡稳定安全系数

计算方法	稳定安全系数	
	建设用地 ^①	农、林、渔业等其他用途 ^②
平面滑动法	1.35	1.25~1.30
折线滑动法		
圆弧滑动法	1.30	1.20~1.25

注: ①对地质条件很复杂或破坏后果极严重的边坡,其稳定系数宜适当提高;

②根据工程的重要程度,较为重要的取高值。

影响边坡稳定的因素较多,包括地形地貌、岩土性质、结构、水体作用、风化作用、地应力、地震以及人为因素等。可根据地貌形态的演变判断斜坡(包括滑坡)的稳定性,因为失稳边坡和稳定边坡具有不同的地貌特征。又如从构造分析入手判断边坡是否稳定,往往可节省勘探工作量。另外还可以从各种影响边坡稳定性的因素发生可能性及其组合情况来判断边坡稳定性的变化趋向。采用工程地质类比分析法进行边坡稳定性分析比较繁琐,可靠性因人而异。因此,在实际工作中,可以根据工程地质条件参照下列各表确定边坡的容许坡度值。

岩、土(包括黄土、填土)边坡容许坡度值可按表 1-2、表 1-3 和表 1-4 确定,但凡遇到下列情况之一时,不得采用表中数值。

- (1)开挖土质边坡高度大于 10m,岩石、黄土或填土边坡高度大于 15m 时。
- (2)坡体中地下水比较发育或有软弱结构面的倾斜地层时。
- (3)岩层层面或主要结构面的倾向与边坡开挖面的倾向一致或二者走向的交角小于 45° 时。

表 1-3 岩土边坡容许坡度值

岩石类别	风化程度	容许坡度值(高宽比)	
		坡高在 8m 以内	坡高 8~15m
硬质岩石	微风化	1:0.1~1:0.20	1:0.2~1:0.35
	中等风化	1:0.2~1:0.35	1:0.35~1:0.50
	微风化	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
软质岩石	微风化	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
	中等风化	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00
	微风化	1:0.72~1:1.00	1:1.00~1:1.25

表 1-4 土质边坡容许坡度值

土的类别	密实度或黏性土的状态	容许坡度(高宽比)	
		坡高在 5m 以内	坡高 5~10m
碎石土	密实	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
	中密	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00
	稍密	1:0.72~1:1.00	1:1.00~1:1.25
粉土	稍湿	1:1.00~1:1.25	1:1.25~1:1.50
黏性土	坚硬	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25
	硬塑	1:1.00~1:1.25	1:1.25~1:1.50

第二章 边坡工程防护

边坡稳定处理和病害治理工程的一般原则，主要是为抑制边坡各种变形和破坏而设计的防护加固工程措施，包括坡面变形防护、浅表层变形防护、块体变形防护、深部变形防护、坡脚应力集中防护和地表、地下水的引排处理等。

第一节 边坡工程防护与加固的分类与要求

边坡在水、风、冰冻、地震等自然因素的长期作用下，经常发生变形和破坏。例如，边坡的表土剥落，形成冲沟以及滑坍等。为保证边坡的稳定性，除做好排水工程外，还必须采取有效的措施，对黏土、粉砂、细砂及容易风化的岩石边坡等边坡，进行必要的防护与加固。

防护与加固工程的重点是路堑边坡，尤其是水文地质不良地段的路堑、容易受水冲刷的边坡、不稳定的山坡更应该注重防护。一些防护与加固工程不仅可以稳定边坡，而且可以优化环境，提高生态品质，例如植物防护可以消灭施工痕迹，使景观协调，形成良好的视觉效果。边坡防护与加固的方法，一般可分为支挡防护、坡面防护和冲刷防护三类，其各种措施如图 2-1 所示，其适用范围、条件见表 2-1。

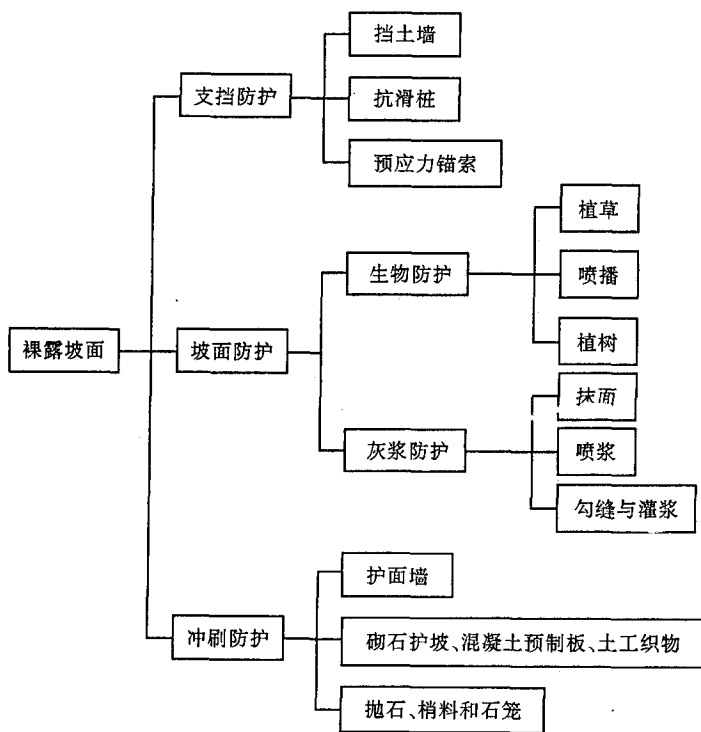


图 2-1 坡面防护分类图

表 2-1 边坡防护工程适用

防护类型	容许流速/(m/s)	边坡坡度	适用范围
抗滑桩		1:0.5	边坡深层防护
预应力锚索		1:0.5	边坡深层防护
抹面		1.0:1.1	适用于易于风化而尚未严重风化的岩石边坡及软硬岩层路堑坡面防护
捶面		不陡于 1:0.5	适用于易冲刷的土质边坡及易风化剥落的岩石边坡
喷浆			适用于风化但较完整坚硬的路堑边坡
勾缝与灌浆			适用于较坚硬不易风化的岩石路堑边坡, 节理裂缝多而细者用勾缝, 大而深者用灌浆
护面墙		1:0.5~1:1	- 易于风化的软质岩层的路堑边坡 - 不严重破碎的硬质岩层地段 - 夹有松散层处
砌石	- 干砌单层 2~3 - 干砌双层 3~4 - 浆砌 4~5	1:0.5~1:2	适用于坡面防护和冲刷防护
梢料防护	2.0~3.5	1:0.5~1:1	- 适用于堑浸水的边坡或河岸 - 为一种临时性防护, 适用于盛产树枝的地区
石笼	5.0	1:0.5	适用于受水流冲刷和淘刷较严重与大风浪作用的路堤坡脚和河岸
混凝土预制板	4~8		较浆砌片石能抵抗较大的流速与波浪或冰压力、动水压力
土工织物			兼有加固、反滤和排水等作用
挡土墙及浸水挡土墙			- 支承边坡填土或山坡土体; - 防止沿河边坡受水流冲刷和淘刷 - 受地形限制或其他建筑干扰, 必须束坡脚时 - 防止多占农田 - 路线通过悬崖峭壁, 占河砌墙加宽边坡等

一般要求边坡防护应按照设计、施工与养护相结合的原则, 深入调查研究, 根据当地的气候环境、工程地质和材料等情况, 因地制宜, 就地取材, 选用适当的工程类型或采取综合措施, 以保证边坡稳固。不要輕易取消或减少必要的防护工程措施, 不给管理遗留后患。

第二节 冲刷防护

一、护面墙

为了覆盖各种软质岩层和较破碎岩石的挖方边坡免受大气因素影响而修建的墙, 称为护面墙。

1. 使用条件

(1) 护面墙多用于易风化的云母片岩、绿泥片岩、泥质页岩、千枚岩及其他风化严重的软质岩石和较破碎的岩石地段, 以防止继续风化。

(2) 护面墙除自重外, 不担负其他荷载, 亦不承受墙后的压力, 因此护面墙所防护的挖方边坡陡度应符合极限稳定边坡的要求。

(3) 护面墙有实体护面墙、窗孔式护面墙、拱式护面墙及肋式护面墙等。实体护面墙用于一般土质及破碎岩石边坡; 窗孔式用于坡度缓于 $1:0.75$ 的边坡, 孔窗内可采用捶面(坡面干燥时)或干砌片石; 拱式护面墙用于边坡下部岩层较完整而需要防护上部边坡者或通过个别软弱地段时; 边坡岩层较完整且坡度较陡时可采用肋式护面墙。

2. 设计要点

(1) 实体护面墙。

① 实体护面墙的厚度视墙高而定, 见表 2-2, 一般采用 $0.4 \sim 0.6\text{m}$; 底宽可按边坡陡度、墙的高度, 被防护山坡的潮湿情况和基础允许承载力大小等条件来确定, 一般等于顶宽加 $H/20 \sim H/10$ (H 为墙高)。等截面的护面墙墙背坡率 n 与墙面坡率 m 相同, n 为 m 减去 $(1.20 \sim 1.10)$ 。

表 2-2 护面墙厚度参考表

护面墙高度 /m	路堑边坡	护面墙厚度/m		护面墙高度 /m	路堑边坡	护面墙厚度/m	
		顶宽 b	底宽 d			顶宽 b	底宽 d
≤ 2	$1:0.5$	0.40	0.40	$6 < H \leq 20$	$1:0.5 \sim 1:0.75$	0.40	$0.40 + H/20$
≤ 6	$> 1:0.5$	0.40	$0.40 + H/10$	$10 < H \leq 15$	$1:0.75 \sim 1:1$	0.60	$0.60 + H/20$

② 沿墙身长度每隔 10m 应设置 2cm 宽的伸缩缝一道, 用沥青麻(竹)筋填塞, 深入 $10 \sim 20\text{cm}$ 心部可空着, 护面墙基础修筑在不同岩层时, 应在其相邻处设置沉降缝一道, 其要求相同。伸缩缝墙身上下左右每隔 3m 设泄水孔一个, 在边坡流水较多时, 应适当加密泄水孔, 孔口大小一般为 $6\text{cm} \times 6\text{cm}$ 或 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$, 在泄水孔后面, 用碎石和砂做成反滤层, 实体护面墙的伸缩缝及泄水孔布置如图 2-2 所示。

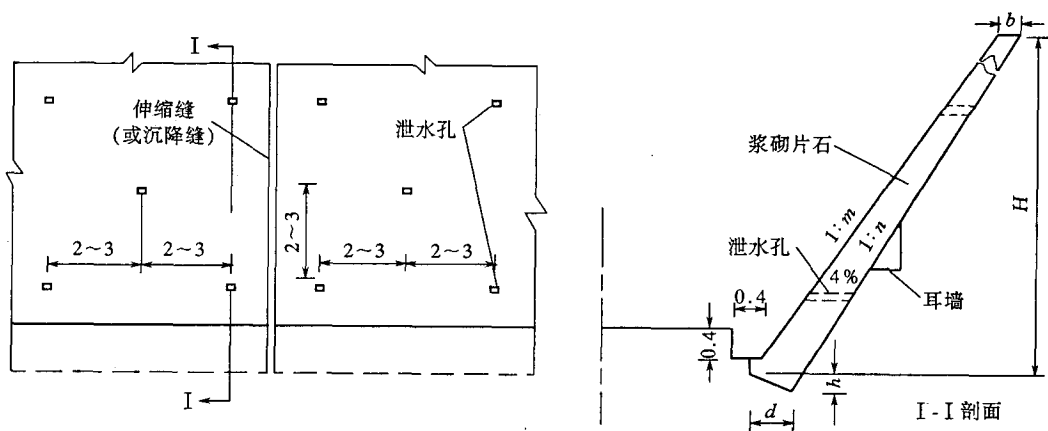


图 2-2 护面墙(单位: m)

③ 护面墙基础应设在可靠的地基上, 其埋置深度应在冰冻线以下 0.25m , 如基岩的承载力不够(小于 100kPa), 应采用适当的加固措施, 护面墙墙底一般做成向内倾斜的边坡, 其倾斜度 X 根据地基状况定, 土质地基 $X = 0.1 \sim 0.2$, 岩石地基 $X = 0 \sim 0.2$ 。

④ 为了增加护面墙的稳定性的, 在护面墙较高时应分级修筑, 视断面上基岩的好坏, 每 $6 \sim 10\text{m}$ 高为一级并设不小于 1m 宽的平台; 墙背每 $4 \sim 6\text{m}$ 高设一耳墙(错台), 耳墙宽 $0.5 \sim$

1.0m。

(2)窗孔式护面墙。如图 2-3 所示,窗孔通常为半圆形,高 2.5~3.5m,宽 2~3m。

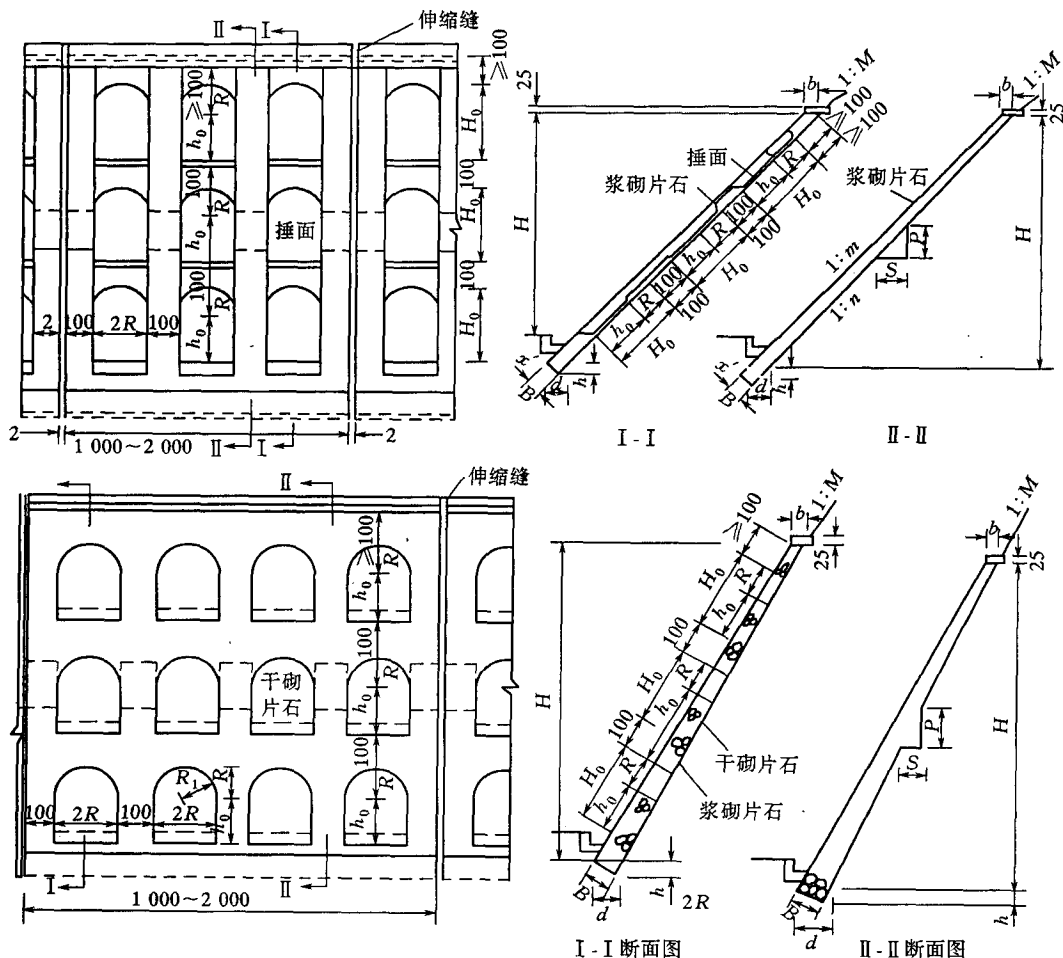


图 2-3 窗孔式护面墙(单位: m)

(3)拱式护面墙。拱式较小时(2~3m),拱圈可采用 M10 水泥砂浆浆砌块石,拱高视边坡下面完整岩层高度而定。拱跨较大时(5.0m 以上),可采用混凝土拱圈,拱圈厚度根据拱上护面墙高度而定。拱式护面墙如图 2-4 所示。

3. 护面墙的绿化

实体护面墙,可在墙角和顶部开槽客土,种植爬墙虎、油麻藤、薜荔等藤本植物,进行上爬下挂绿化,既恢复生态,又保护坡面减少溅蚀作用。藤本植物种植间距 20cm 左右。窗孔式护面墙,可在窗内架构生态袋进行爬藤绿化,种植植物以乡土藤本植物为主,除爬墙虎、油麻藤、薜荔外,在南方还可种植炮仗花、勒杜鹃等较耐旱、花期长的藤本,以改善景观。绿化效果参见附图 2。

二、干砌片石防护

1. 使用条件

(1)较缓的(不陡于 1:1.25)土质边坡边坡,因雨水、雪水冲刷会发生流泥、拉沟与小型

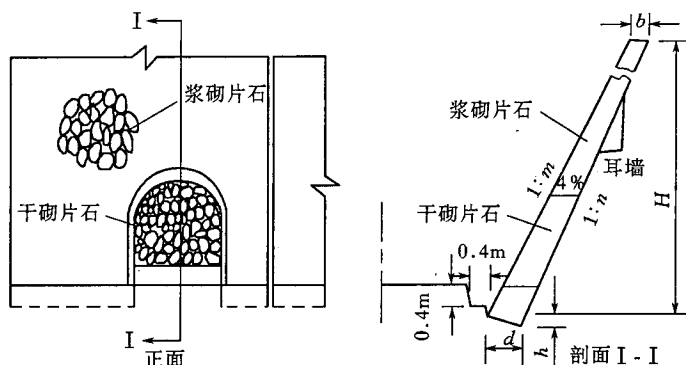


图 2-4 拱式护面墙 (单位: m)

溜坍, 或有严重剥落的软质岩层边坡, 周期性浸水的河滩、水库或台地边缘边坡, 洪水时水流平顺, 不受冲刷者, 均可采用干砌片石防护。

(2) 用于防护沿河边坡受到水流冲刷等有害影响的部位, 被防护的边坡坡度, 应符合边坡的稳定要求, 一般为 $1:1.5 \sim 1:2.0$ 。

(3) 单层干砌片石护坡 (见图 2-5) 厚度为 $0.15 \sim 0.25\text{m}$, 双层铺砌护坡的上层为 $0.25 \sim 0.35\text{m}$, 下层为 $0.15 \sim 0.25\text{m}$ 。

(4) 铺砌层的底面应设垫层, 垫层材料一般常用碎、砾石或砂砾混合物等。垫层的作用是: 防止水流将铺石下面边坡上的细颗粒土带出来冲走; 增加整个铺石防护的弹性, 将冲击河岸的波浪、流水、流冰等的动压力, 以及漂浮物的撞击力, 分布在较大面积上, 从而增强对各种冲击的抵抗作用, 使其不易损坏。垫层厚度一般为 $0.10 \sim 0.15\text{m}$ 。

(5) 干砌片石防护工程不宜用于水流流速较大 (3.0m/s) 的边坡。

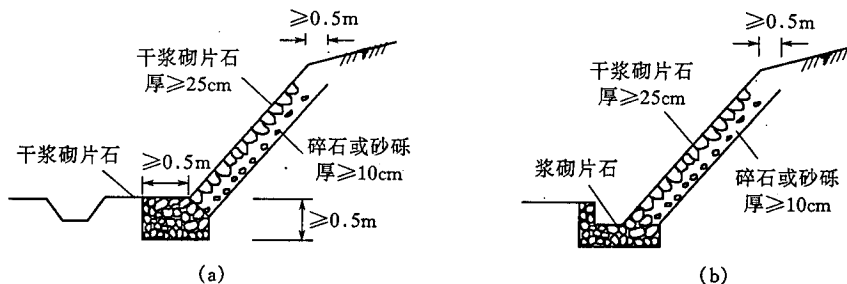


图 2-5 单层干砌片石护坡

2. 设计要点

所用石料应是未风化的坚硬岩石, 其容重一般不小于 20kN/m^3 , 护坡坡脚应修筑堤石铺砌式基础。一般情况下, 基础埋置深度为 $1.5h$ (h 为护坡厚度)。在基础较深时, 可设计为堆石垛或石墙基础。

三、浆砌片石防护

1. 使用条件

(1) 边坡坡度缓于 $1:1$ 的土质或岩边坡的坡面防护采用干砌片石不适宜或效果不好时, 可用浆砌片石护坡。

(2) 浆砌片石防护与浸水挡墙或护面墙综合适用, 以防护不同岩层和不同位置的边坡, 可收到较好的效果。

(3) 对于严重潮湿或严重冻害的土质边坡, 在未来采取排水措施以前, 不宜采用浆砌护坡。

2. 设计要点

(1) 浆砌片石坡的厚度一般为 $0.2 \sim 0.5\text{m}$, 用于冲刷防护时, 根据流速大小或波浪大小确定, 最小厚度一般不小于 0.35m , 在冻胀变形较大的地质边坡上护坡底面应设置 $0.10 \sim 0.15\text{m}$ 厚的碎石或砂砾垫层。

(2) 浆砌片石护坡每长 $10 \sim 15\text{m}$, 应留一道伸缩缝, 缝宽约 2cm , 缝内填塞沥青麻筋或沥青模板等材料。在基底土质有变化处, 还应设置沉降缝, 可考虑将伸缩缝与沉降缝合并设置。

(3) 护坡的中、下部应设泄水孔, 以排泄护坡背面的积水及减少渗透压力。泄水孔的孔径可用 10cm 的矩形孔或直径为 10cm 的圆形孔, 其间距为 $2 \sim 3\text{cm}$ 。泄水孔后 0.5m 的范围内应设置反滤层。

(4) 路堤边坡上采用浆砌片石护坡, 应在路堤沉实或实后施工, 以免因路堤的沉落而引起护坡的破坏。

3. 浆砌片石坡的绿化

可在坡角和顶部开槽、客土, 种植爬墙虎、油麻藤、薜荔等藤本植物上爬下挂绿化, 既恢复生态, 又保护坡面减少溅蚀作用, 藤本植物种植间距 20cm 左右, 参见附图 2。

第三节 边坡支挡防护

一、挡土墙技术

1. 挡土墙分类和使用场合

挡土墙技术主要用于防止崩塌、小规模滑坡及大规模滑坡前缘的再次滑动。挡土墙根据其构造可以分为重力式、半重力式、倒 T 形或 L 形、扶壁式、支垛式、棚架扶壁式和框架式等几种类型, 见图 2-6。

重力式挡土墙可以防止滑坡和崩塌, 适用于坡脚较坚固、允许承载力较大、抗滑稳定较好的情况。根据建筑材料和形式, 重力式挡土墙又分为片石垛、浆砌石挡土墙、混凝土或钢筋混凝土挡土墙和空心挡土墙(明洞)等。片石垛可以就地取材, 施工简单, 透水性好, 适用于滑动面在坡脚以下不深的中小型滑坡, 不适于地震区的滑坡。浅层中小型滑坡的重力式挡土墙宜修在滑坡前缘, 若滑动面有几个, 且滑坡体较薄, 可分级支挡。

其他几种类型的挡土墙多用于防止斜坡崩塌, 一般用钢筋混凝土修建。倒 T 形因材料少, 自重轻, 还要利用坡体的重量, 适用于 $4 \sim 6\text{m}$ 的高度; 扶壁式和支垛式因有支挡, 适用于 5m 以上的高度, 棚架扶壁式只用于特殊情况。框架式也称垛式, 是重力式的一个特性, 由石材、混凝土构件、钢筋混凝土构件或中央管装配成框架, 框架内填片石, 它又分为叠合式、单倾斜式和双倾斜式。框架式结构较柔性, 排水性好, 滑坡地区采用较多。

2. 挡土墙稳定性分析

挡土墙稳定性评价一直是工程技术界很关心的研究课题。至今, 已出现了较多的挡土墙