

四川省重点图书

岩土支挡与 锚固工程

Retaining and anchor
engineering for
rock & soil mass

$$P = \frac{f(V_1 \cos \alpha - H \sin \alpha - u_1) + C_1 A_1 + P}{H \cos \alpha + V_1 \sin \alpha}$$

赵其华 彭社琴 编著

$$= \frac{0.5(820 \cos 15^\circ - 480 \sin 15^\circ - 150) + 0.6 \times 90 + P}{480 \cos 15^\circ + 820 \sin 15^\circ}$$

$$= \frac{312.9 + P}{675.9} = \frac{0.4966P + 0.1168}{0.866P - 0.25}$$

$$P = 0.9985 = 1$$

$$P = 0.9985 = 1$$



四川大学出版社

四川省重点图书

本书获国家自然科学基金项目(编号40772177)及
地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室资助

岩土支挡与 锚固工程



Retaining and anchor
engineering for
rock & soil mass

赵其华 彭社琴 编著



四川大学出版社

责任编辑:周树琴
责任校对:傅 奕 段悟吾
封面设计:米茄设计工作室
责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

岩土支挡与锚固工程 / 赵其华编著. —成都: 四川大学出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-5614-4218-0

I. 岩… II. 赵… III. ①岩土工程—抗滑支挡②岩土工程—锚固 IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 206200 号

书名 岩土支挡与锚固工程

编 著	赵其华 彭社琴
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-4218-0
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	15.75
字 数	357 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版
印 次	2008 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0 001~3 000
定 价	28.50 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。电 话:85408408/85401670/
85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请寄回出版社调换。

◆网址: www.scupress.com.cn

版权所有◆侵权必究

内容提要

本书较为系统地介绍了岩土支挡与锚固工程中常见工程结构的设计方法和原理，包括挡土墙设计理论与方法、基坑支护结构设计理论与方法、抗滑桩设计计算、锚固结构设计计算等四类典型结构的内容。为了更好地理解各类支挡与锚固结构与岩土体相互作用特点及其适用性，还专门介绍了岩土支挡与锚固工程的基本原理，影响四类结构发挥作用的主要荷载土压力、滑坡推力的计算原理和方法及取用原则。

密切联系人类工程经济活动，以岩土体的改造和加固为主要对象，应用工程地质分析原理和方法，获取岩土体及其变形破坏特点和变形破坏机理的地质信息；以岩土支挡与锚固为主要手段，依据四类主要工程结构与岩土的作用特点，应用岩土力学、结构力学等理论与方法，建立计算模型；以岩土体的稳定、相邻建（构）筑物的安全以及环境美化为主要目标，应用岩土工程信息化施工原理，修正或优化岩土工程设计，调整施工步骤或工艺，达到岩土工程的安全稳定、经济合理。

本书主要面向土木工程、勘查技术与工程以及地质工程、岩土工程、道路工程领域高年级的本科生、研究生，也可供相关领域的工程技术人员、科研人员、教师参考。

前 言

本书主要是为土木工程、勘查技术与工程以及地质工程、岩土工程、道路工程等专业高年级本科生、研究生所编写的教材。结合工科学生和工程技术人员的特点,它深入浅出地介绍了岩土支挡与锚固工程中常见工程结构的设计方法和原理,包括挡土墙设计理论与方法、基坑支护结构设计理论与方法、抗滑桩设计计算、锚固结构设计计算等四类典型工程结构的内容。为了更好地理解各类工程结构与岩土体相互作用特点及其适用性,还专门介绍了岩土支挡与锚固工程的基本原理,影响四类工程结构发挥主要荷载—土压力、滑坡推力的计算原理和方法及取用原则。

本书的主要技术路线是密切联系人类工程经济活动,以岩土体的改造和加固为主要对象,应用工程地质分析原理和方法,获取岩土体及其变形破坏特点和变形破坏机理的地质信息;以岩土支挡与锚固为主要手段,依据四类工程结构与岩土体的作用特点,应用岩土力学、结构力学等理论与方法,建立计算模型;以岩土体的稳定、相关建(构)筑物的安全以及环境美化为主要目标,应用岩土工程信息化施工原理,修正或优化岩土工程设计,调整施工步骤或工艺。

正确理解岩土体的特点及其变形破坏机理,是合理并有效地应用岩土支挡与锚固结构的前提。所以,本课程涉及的内容是岩土工程学科基本内容的重要组成部分,宜在学习工程岩土学、岩土力学、结构力学、混凝土结构、工程地质学等课程之后再学习本课程。

从1993年参与创建并执教成都理工大学岩土工程本科专业,1994年面向地矿系统各类骨干工程技术人员第一次开设抗滑桩计算与设计课程开始,作者们萌发了编写岩土支挡与锚固工程教材的设想。而之前,岩土支挡与锚固工程课程所涉及的内容仅部分散见于相关教材或专著之中。1995年由于教学和工程实践的需要,我们在岩土工程(现为土木工程)课程体系中设置了岩土支挡与锚固工程这门课程,并编制了教学大纲,编写了教学讲义。至今,作者们已从事岩土支挡与锚固工程十六载,先后完成了数百项工程的设计或咨询项目。长期工程实践的淀积和点滴心得的积累是形成本书的基础。

本书的第1章、第4章由赵其华、彭社琴编写,第2章、第6章由彭社琴编写,第3章、第5章由赵其华编写,最后由赵其华统稿。

本书的出版获得国家自然科学基金项目“台风引发斜坡地质灾害机理研究”(编号40772177)、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室以及四川大学出版社出版基金资助。

书稿编写过程中参考和引用了大量文献与有关参考资料,书后仅罗列了部分参考文

献，在此特向所有原作者或单位致以诚挚谢意。对本书做出重要贡献的还有作者的研究生周波博士、韩刚博士，以及辜利江工程师、张克意工程师、陈近中工程师等。同时还得到黄润秋教授、王兰生教授、李天斌教授、许强教授等诸多同事的关心与支持，一并致谢。本书的出版过程中，四川大学出版社的周树琴老师付出了大量辛劳，特此谢过！

本书的内容虽经多年的教学实践，但还是一种尝试，限于作者水平，再加上统稿时间仓促，书中内容难免存在错误和不当之处，敬请批评指正。来函请寄交成都理工大学环境与土木工程学院赵其华收（邮编：610059，E-mail: zhqh@cdut.edu.cn）。

编 者

2008 年 12 月于蓉城

目 录

第 1 章 岩土支挡与锚固工程基本原理	(1)
1.1 概 述	(1)
1.1.1 岩土体失稳破坏方式	(1)
1.1.2 岩土体变形破坏机理	(5)
1.1.3 岩土支挡和锚固工程的一般原理	(8)
1.1.4 岩土支挡和锚固工程的主要结构类型	(10)
1.2 岩土支挡与锚固工程设计原则	(13)
1.2.1 设计方法	(13)
1.2.2 设计阶段和设计 (安全) 等级	(15)
1.2.3 极限状态设计原则	(20)
1.2.4 荷载及其作用效应组合	(22)
第 2 章 土压力与滑坡推力	(26)
2.1 概 述	(26)
2.2 土压力计算	(27)
2.2.1 静止土压力计算	(28)
2.2.2 朗肯土压力理论	(29)
2.2.3 库仑土压力理论	(32)
2.2.4 第二破裂面计算法	(35)
2.3 土压力计算小结	(36)
2.3.1 库仑理论和朗肯理论适用条件	(37)
2.3.2 规范推荐的土压力计算方法	(37)
2.2.3 土压力计算例题	(38)
2.4 特殊条件下的土压力计算	(40)
2.4.1 超载作用下的土压力计算	(40)
2.4.2 墙后土体分层时的土压力计算	(43)
2.4.3 有地下水作用下的土压力计算	(44)
2.4.4 折线型墙背土压力计算	(45)
2.4.5 有限范围内土体的土压力计算	(47)
2.4.6 土体表面不规则时的土压力计算	(47)
2.5 土压力图解法	(48)

2.5.1	基本原理	(48)
2.5.2	图解步骤	(49)
2.6	不同结构物作用时土压力的分布与计算	(50)
2.7	土压力计算中的参数取值	(50)
2.7.1	有效应力法与总应力法	(51)
2.7.2	用等值内摩擦角计算主动土压力	(51)
2.8	滑坡推力计算	(52)
第3章	挡土墙计算与设计	(55)
3.1	挡土墙的基本类型	(55)
3.2	重力式挡土墙设计	(57)
3.2.1	概述	(57)
3.2.2	重力式挡土墙设计	(58)
3.2.3	重力式挡土墙构造	(63)
3.2.4	挡土墙填料选择	(65)
3.2.5	挡土墙的排水措施	(65)
3.2.6	重力式挡土墙施工	(66)
3.3	悬臂式与扶壁式挡土墙设计	(70)
3.3.1	悬臂式挡土墙构造	(70)
3.3.2	悬臂式挡土墙设计	(71)
3.3.3	扶壁式挡土墙构造	(83)
3.3.4	扶壁式挡土墙设计	(83)
3.4	加筋土挡土墙设计	(85)
3.4.1	加筋土挡土墙构造	(85)
3.4.2	加筋土加固机理	(89)
3.4.3	加筋土挡土墙设计	(91)
3.4.4	加筋土挡土墙施工	(98)
第4章	基坑支护结构计算与设计	(105)
4.1	概述	(105)
4.1.1	支护结构类型及适用范围	(105)
4.1.2	支护结构的破坏形式	(108)
4.1.3	基坑侧壁安全等级及重要性系数	(109)
4.1.4	支护结构的选用原则	(109)
4.1.5	基坑支护结构内力计算特点及现状	(110)
4.1.6	水、土压力计算	(110)
4.2	悬臂式支护结构设计计算	(113)
4.2.1	计算原理	(113)
4.2.2	嵌固深度计算	(114)
4.2.3	截面承载力计算	(117)

4.2.4 稳定性验算	(117)
4.3 单支撑桩墙设计计算	(118)
4.3.1 单支撑桩墙支护体系的构成	(118)
4.3.2 单支撑(锚拉)支护结构的嵌固类型	(120)
4.3.3 单支撑(锚拉)支护结构的内力计算	(121)
4.4 多层支撑桩墙设计计算	(142)
4.4.1 支撑的布置	(142)
4.4.2 等值梁法	(142)
4.4.3 支撑荷载的 1/2 分担法	(143)
4.4.4 考虑开挖过程的计算方法	(149)
4.5 地下连续墙	(152)
4.5.1 概述	(152)
4.5.2 地下连续墙施工	(153)
4.5.3 地下连续墙深基坑施工监测	(154)
4.5.4 多支撑地连墙实测土压力分布模式	(155)
4.5.5 土压力实际分布形式对结构安全的影响分析	(158)
4.6 土钉墙计算与设计	(159)
4.6.1 概述	(159)
4.6.2 土钉墙的分析方法	(163)
4.6.3 土钉墙设计	(164)
4.6.4 现场监测与信息施工	(169)
第 5 章 抗滑桩计算与设计	(174)
5.1 概 述	(174)
5.2 作用在抗滑桩上的力	(176)
5.2.1 滑坡推力	(177)
5.2.2 桩前土抗力	(177)
5.2.3 锚固段岩土体的抗力	(177)
5.3 抗滑桩的设置原则	(177)
5.4 抗滑桩的内力计算	(179)
5.4.1 基本原理	(179)
5.4.2 抗滑桩的设计步骤	(182)
5.4.3 弹性桩的内力计算	(183)
5.4.4 刚性桩的内力计算	(196)
5.4.5 抗滑桩受荷段的内力计算	(200)
5.5 地基强度校核	(203)
5.6 抗滑桩结构设计	(205)
5.6.1 结构设计计算	(205)
5.6.2 构造要求	(206)

5.7 抗滑桩施工要求及注意事项	(209)
第6章 锚固结构设计	(212)
6.1 概 述	(212)
6.1.1 岩土锚固的特点	(212)
6.1.2 锚固工程发展概况	(213)
6.1.3 锚杆的应用范围	(213)
6.1.4 锚杆的分类	(214)
6.1.5 锚杆的构成	(215)
6.2 锚固的作用原理	(217)
6.2.1 悬吊作用理论	(217)
6.2.2 组合梁作用原理	(217)
6.2.3 挤压加固作用原理	(217)
6.3 灌浆锚杆设计	(218)
6.3.1 加固力计算	(219)
6.3.2 拉杆设计	(221)
6.3.3 锚固体长度设计	(223)
6.3.4 锚杆布设	(226)
6.3.5 拉杆对中器设计	(227)
6.3.6 锚头设计	(227)
6.3.7 锁定荷载	(228)
6.3.8 锚杆的防腐设计	(229)
6.4 锚杆施工	(229)
6.4.1 钻孔	(230)
6.4.2 锚杆杆体的组装与安放	(230)
6.4.3 注浆	(232)
6.4.4 张拉与锁定	(233)
6.5 现场试验与监测	(233)
6.5.1 锚固工程试验	(233)
6.5.2 锚杆预应力的长期监测	(234)
参考文献	(238)

第1章 岩土支挡与锚固工程基本原理

1.1 概 述

岩土体（岩土工程体）是地质历史时期的产物，更是人类赖以生存的地质环境。岩土体在自然和人为因素作用下稳定性降低甚至出现失稳破坏，可能危及人民生命财产安全，造成社会经济和环境影响。岩土支挡和锚固工程是治理（加固）各类滑坡、潜在不稳定斜坡、人工开挖边坡（深基坑）、隧道与地下洞室、港口（码头）的工程技术方法，也是保护地质环境、防灾减灾的有效措施。

1.1.1 岩土体失稳破坏方式

岩土体的失稳破坏不仅与岩土体的物理力学性质、内外动力改造有关，而且与工程活动方式密切相关。

1.1.1.1 自然斜坡的失稳破坏

在各种自然或人为的内、外营力作用下，斜坡的外形、内部结构以及应力状态都在不断变化。斜坡在演变过程中，可出现不同形式、不同规模的变形与破坏。斜坡破坏系指斜坡岩（土）体中已形成贯通性破坏面时的变动或沿不利结构面组合而发生的滑落等。而在贯通性破坏面形成之前，斜坡岩体的变形与局部破裂，称为斜坡变形。斜坡中已有明显变形破裂迹象并可大致圈定其空间范围岩体，或已查明处于进展性变形的岩体，称为变形体。被贯通性破裂面分割的斜坡岩土体，可以多种运动方式失稳破坏，如滑落、崩落等，从而形成崩塌、滑坡、泥石流等斜坡地面地质灾害。

（1）崩塌

崩塌是被破裂面切割的陡峻岩质边坡在风化营力、重力、水压力、地震力等作用下发生向临空方向的坠落，崩塌包括了小规模块石的散落和大规模的山（岩）崩。崩塌体通常破碎成碎块堆积于坡脚，形成具有一定天然休止角的岩堆。在一定条件下，可在继续运动过程中发展为碎屑流。

崩塌是较为常见的岩质斜坡破坏形式，在自然界非常普遍。处于人类活动较为密集区域的崩塌可对人民生命财产造成巨大损失，从而形成严重地质灾害。例如，2006年6月18日凌晨1时许在连续十多天的大雨后，位于四川康定姑咱镇大渡河对面后山坡强卸荷松动危岩体发生一次方量约300 m³的崩塌，大量崩塌落石沿坡体崩落、翻滚，造成部分坡脚民宅损毁、11人死亡和数人受伤的严重后果，参见图1-1。同样，5.12汶

川大地震造成了多处山体崩塌，图 1-2 为掩埋新北川中学的崩塌堆积体。



图 1-1 四川康定姑咱镇对面后山崩塌造成房屋毁坏的情况



图 1-2 5.12 汶川大地震中被崩塌全部埋掉的新北川中学

(2) 滑坡

滑坡是斜坡岩土体在重力、水压力、地震力等作用下沿坡体内倾斜破裂面或软弱带整体向下滑动的现象，下滑形成的堆积体称为滑坡体。滑坡可由自然原因引起，如暴雨（台风）、地震等。滑坡也可能由人类工程活动诱发，如工程场地开挖切掉坡脚可造成支撑力不够而失稳，水库蓄水或泄流雨雾可造成下滑力增加以及滑动面弱化而失稳等。

滑坡是一种常见的地质灾害，我国是一个多山国家，其频发性和危害严重性都相当惊人。我国道路建设、水电工程建设过程中遇到的滑坡数量和规模都相当惊人，如已查出三峡库区较大规模的崩滑体就有 2490 个。大规模的基础设施建设引发新滑坡的案例也相当多。图 1-3 便是 2003 年 7 月 13 日零时 20 分发生于三峡库区的湖北省秭归县沙镇溪镇的千将坪滑坡。该滑坡发育在侏罗系中一下统聂家山组碎屑岩中，岩性为中—厚层粉砂岩夹粉砂质泥岩、页岩，岩层倾向与斜坡坡向基本一致，且上陡下缓，倾角 $35^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ，构成顺向坡。由于水库蓄水导致山体突然下滑约 2000 余万方，造成 28 人死亡。



图 1-3 发生于三峡库区的湖北省秭归县沙镇溪镇的千将坪滑坡

(3) 泥石流

泥石流是斜坡地质灾害的另一种形式。它是由于降水(暴雨、融雪、冰川)而形成的一种夹带大量泥砂、石块等固液混合物质的特殊洪流。它爆发突然,历时短暂,来势凶猛,具有强大的破坏力。泥石流在活动过程中可以冲毁道路和桥梁、淤埋村镇、堵塞河道,对沿途的各种设施、人民生命财产和资源环境造成危害和影响。据初步统计我国遭受泥石流危害的县级以上城市有138座(据崔鹏等,2003年),全国有20条铁路干线分布有泥石流沟1400余条。近几年来,泥石流的发生呈多样化发展,如2004年登陆浙江的台风云娜引发乐清龙西泥石流,造成冲毁村庄、死亡29人的重大地质灾害;2008年9月8日8时,山西临汾市襄汾县陶寺乡塔山矿区因暴雨发生泥石流,致使该矿废弃尾矿库被冲垮,进而导致下游的一个农贸集市和两个村子的部分房屋被损,造成265人死亡的重大事故——“908”泥石流事故。

1.1.1.2 人工边坡(包括深基坑)及失稳破坏

在人类工程活动中,由于工程本身需要会形成各种边坡,如水利水电工程中坝肩边坡、进口和出口高切坡;道路工程中的路堑边坡;露天采矿中的开挖边坡;城市深基础施工中的基坑开挖边坡等。

(1) 水利水电工程高边坡

水利水电工程一般处于高山峡谷区,枢纽及其配套工程的边坡开挖高度常超过100 m,坡度陡、规模大、高度惊人,如澜沧江小湾水电站拱坝坝高292 m,拱肩槽边坡开挖高达600 m~687 m,开挖边坡高度之大在我国乃至世界水电建设史上都是罕见的;三峡永久船闸高边坡,长达4200多米的人工开挖岩质边坡中有近800 m长的坡段,边坡高度大于120 m,最大开挖深度达170 m,不仅开挖边坡高陡,而且整个工程对坡体变形和稳定要求高(闸首部位直立墙边坡的时效变形量5年内不能大于5 mm)。然而高山峡谷区地质环境条件复杂,存在高地应力、深部卸荷作用,使得岩体结构复杂。加上工程期的开挖速度快,岩体的卸荷速率大,卸荷引起了结构面进一步扩展和张开,因此高边坡岩体卸荷松弛特征明显,一般可能因为顺坡岩层或结构面存在而产生整体滑动破坏,或由于多组结构面交切组合而产生局部块体失稳滑落或坠落,或由于高地应力引起的坡面爆皮、松动剥落。水电工程开挖边坡尤其是高边坡的稳定性问题一般较为突出,大部分边坡需要采用支挡和锚固措施来保证工程的顺利进行。如小湾水电站多处开挖边坡采用预应力锚索加坡面喷锚来解决边坡的稳定性问题,三峡永久船闸中间墩采用了预应力锚索对穿锚固来解决该开挖边坡的稳定和限制其变形。

(2) 路堑路堤边坡

道路工程一般穿越多个地貌单元,露堑边坡的开挖会遇到不同的工程地质状况,可能有风化岩体,也可能有特殊土,如黄土、膨胀土、软土等。不同的岩土体,在路基施工过程中,路堑边坡开挖可能产生不同的稳定性问题。但不外乎局部塌滑、散落、倾倒、弧形滑动、平面滑动、土体流动等。塌滑破坏主要出现在土质边坡和碎裂结构的岩质边坡中,一般在亚粘土、全强风化的砂岩、页岩、千枚岩构成的高陡边坡上浅表部岩土体会迅速变形而解体破坏;散落主要发生在极为破碎的岩质边坡中,风化破碎的岩石受雨水冲刷或强地震力作用时岩石碎块顺坡落下;倾倒变形一般发生在反倾向岩质边坡

和岩层近乎直立的顺向坡中；弧形滑动主要发生在粘土等均质或似均质边坡岩土体中。

路堑开挖边坡的稳定性受多种因素影响，包括地层岩性、地质构造、岩土结构和坡形，降雨和气候条件等。对于道路来讲，对沿线复杂多变的地质条件认识不清是造成边坡失稳的主要原因，从而使开挖边坡的坡形设计存在隐患，再加上水的作用则可能在施工期或运营期边坡发生失稳。部分基岩边坡开挖后由于抗风化能力差，导致风化剥落掉块而影响道路安全运行。

路堤边坡多属于填方工程，一般有半挖半填和全填方两种类型。常见的路堤边坡的变形破坏有路面不同程度的开裂，或沉降引起的弧形裂缝，或路堤边坡的整体失稳等。

(3) 露天采矿边坡

露天矿边坡是露天矿最主要的结构要素，为了保证露天矿的正常生产活动，边坡上总要设置各种平台，诸如运输平台、安全平台、工作平台等，还要开挖各种堑沟及出入坑道，这些都使露天矿及边坡工程的结构趋于比较复杂。

露天采矿边坡的变形破坏形式和影响因素与前述路堑边坡相似，但由于采矿生产的特殊性，它有以下特点：采矿边坡稳定性直接威胁采矿人员生命和采矿设备安全，影响和困扰采矿生产的自始至终；矿物及矿物资源不但是地质作用及地质变迁的产物，而且赋存于特定的地质环境或地质结构之中，因此只能在既定的工程地质条件下进行开挖及施工；露天矿开采初期，为了早投产、少投资，尽可能地少剥离，一般都是采用临时性边坡，只是到露天开采的中后期，才逐渐采用较大边坡角的最终靠帮边坡，露天矿边坡一般亦总是处于不断开挖的动态变化过程；可以允许岩体适度的变形甚至破坏，只要这种变形或破坏不致危及矿山的生产与安全就可认为是稳定的。

近几年来，虽然边坡防护和处置技术不断进步，但矿山安全事故却屡屡发生，如何保证在开采期边坡的安全，这一问题依然比较突出。

(4) 深基坑开挖边坡

深基坑开挖是为地下建筑工程提供必要和安全的空间环境条件，为了节约土地，充分利用城市地下空间，必然大量兴建高层建筑和地下工程，因此基坑的深度和规模会不断加大。深基坑开挖边坡由于开挖深度常不能满足自身安全和稳定性要求，一般要进行坑壁支护。因此深基坑开挖与支护（包括必要的降水）统一于基坑工程的整个过程。

由于各种复杂的原因，我国基坑工程事故发生率较高，尤其是东南沿海开放城市，其中有的城市较大的基坑工程事故竟占基坑总数的 1/3 左右。基坑工程事故主要表现为支护结构产生较大位移，支护结构破坏，基坑塌方及大面积滑坡，基坑周围道路开裂和塌陷，与基坑相临的地下设施变位甚至于被破坏，临近的建筑物开裂甚至倒塌等等。基坑工程事故给国家经济和人民生命财产造成不同程度的损失。

基坑工程包含挡土、支护、防水、降水、挖土等许多紧密联系的环节，其中的某一环节失效将会导致整个工程的失败。相邻场地的基坑施工，如打桩、降水、挖土等各项施工环节都会产生相互影响与制约，增加事故诱发因素。基坑工程施工周期长，从开挖到完成地面以下的全部隐蔽工程，常常需要经历多次降雨、周边堆载、振动、施工不当等许多不利状况，其安全度的随机性较大，事故的发生往往具有突发性。再加上基坑工程造价较高，但又是临时性工程，一般不愿投入较多资金。一旦出现事故，处理十分困

难,造成的经济损失和社会影响往往十分严重。

基坑工程的设计与施工,既要保证整个支护结构在施工过程中的安全,又要控制结构及其周围土体的变形,以保证周围环境(相邻建筑及地下公共设施等)的安全。变形控制设计在基坑工程中显得尤为突出。因此全面认识基坑周围的环境条件,把握基坑岩土体的工程特性,了解支护结构与土体相互作用的原理,对于保证基坑工程安全可靠、经济合理便显得格外重要。

另外,在建筑场地平整中可能开挖掉对边坡整体稳定起重要作用的脚部支撑体,而导致边坡失稳;由于不利因素作用填方边坡,包括路堤都可能出现局部塌滑等。

1.1.2 岩土体变形破坏机理

自然作用力和不同行业人类工程活动作用使得原本较为脆弱、较为敏感的岩土体脱离母体而滑动或坠落失稳。为了充分理解支挡和锚固工程的一般原理,需要对岩土体变形破坏的机理有所了解。

宏观上岩体和土体是两种性质截然不同的地质体。岩石相对坚硬,岩体中的结构面和其所处的地应力状态对岩体的稳定性会产生较大影响;而土体相对松软,土体的稳定性主要由它的性状和临空条件决定。另外,岩体广泛出露于高山区,常与水利水电工程、采矿工程发生联系;而土体则分布于平原地区和江河沿岸,城市深基坑工程则多为土体;道路工程由于穿越较大区域,土体和岩体均会遇到。

1.1.2.1 岩质边坡的变形破坏类型

(1) 滑移—压致拉裂

在平缓层状体坡中,河谷下切或边坡开挖引起坡体沿平缓结构面向坡前临空方向产生缓慢的蠕变性滑移。在滑移面的锁固点或错列点附近,因拉应力集中生成与滑移面近于垂直的拉伸裂隙,向上(个别情况向下)扩展且其方向渐转成与最大主应力方向趋于一致(大体平行坡面),并伴有局部滑移。这种拉裂面的形成机制与压应力作用下格里菲斯裂纹的形成扩展规律近似,滑移和拉裂变形是由斜坡内软弱结构面处自下而上发展起来的,其变形演变过程可分卸荷回弹阶段、压致拉裂面自下而上扩展阶段、滑移面贯通阶段(参见图1-4)。该类斜坡的变形破坏主要出现于高山峡谷地区的各类岸坡体中,且水平发育深度可达200 m~300 m。

(2) 滑移—拉裂

在中缓倾外层状坡或顺坡向结构面较发育的块状体斜坡中,斜坡岩体沿下伏软弱面向坡前临空方向滑移,并使滑移体拉裂解体产生破坏(参见图1-5)。

(3) 滑移—弯曲

滑移—弯曲主要发育在中—陡倾外层状体斜坡中,尤以薄层状岩体及延性较强的碳酸盐类层状岩体中为多见。这两类斜坡的滑移控制面倾角已明显大于该面的峰值摩擦角,上覆岩体具备沿滑移面下滑条件。但由于前缘滑移面未临空,使下滑受阻,造成坡脚附近顺层板梁承受纵向压应力,在一定条件下可使之发生弯曲变形。岩体从变形到破坏可经历轻微弯曲阶段、强烈弯曲隆起阶段、切出面贯通阶段等三个主要阶段(参见图1-6),最终发展成的滑坡具崩滑特性。弯曲部位一般发生于斜坡前缘受阻端附近,具有

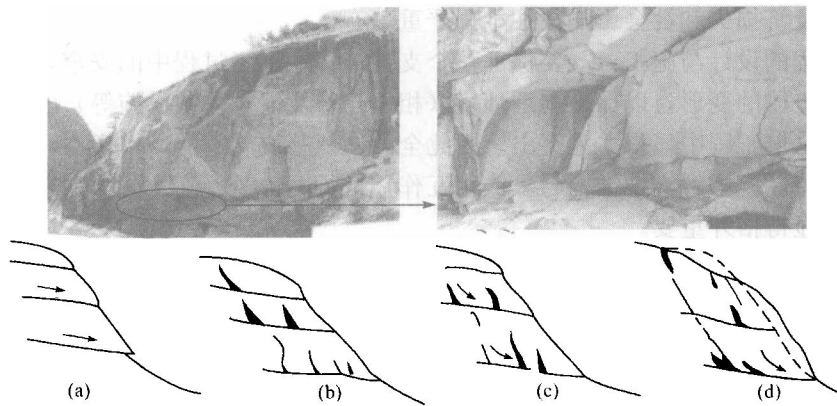


图 1-4 岩体滑移—压致拉裂变形图示及照片

明显的鼓胀现象。

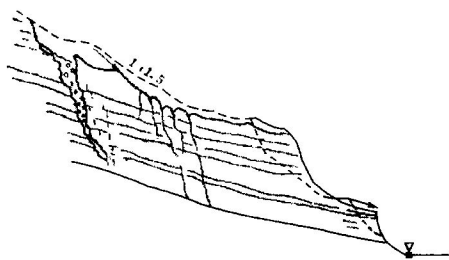


图 1-5 岩土体滑移—拉裂变形图示及照片

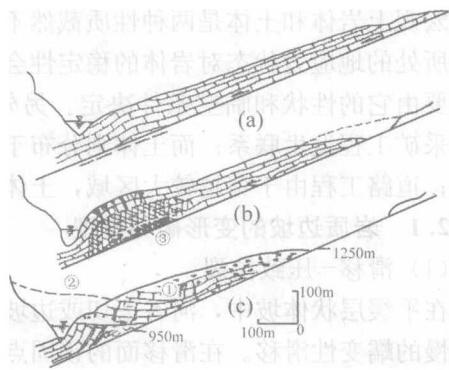


图 1-6 岩体滑移—弯曲变形图示

(4) 弯曲—拉裂

在陡立或陡倾内层状体组成的陡—极陡坡中，陡倾的板状岩体在自重弯矩作用下，于前缘开始向临空方向作悬臂梁弯曲，并逐渐向坡内发展。弯曲的板梁之间互相错动并伴有拉裂，弯曲体后缘出现拉裂缝，形成平行于走向的反坡台阶和槽沟。板梁弯曲剧烈部位往往产生横切板梁的折裂（参见图 1-7）。有时该类破坏可演化为滑移—拉裂型破坏。

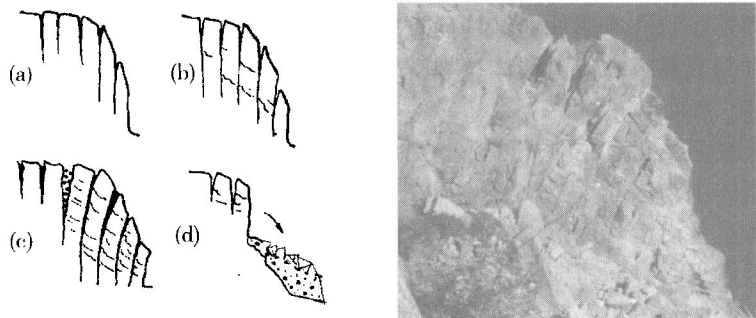


图 1-7 岩体弯曲—拉裂变形图示及照片

(5) 拉裂(张裂)——剪出

在结构面发育的块状岩体斜坡中,受结构面切割和临空面影响可形成多种潜在不稳定块体,参见图1-8。

①陡倾的x型结构面切割加上中缓倾外结构面,在边坡开挖或边坡开挖形成的临空条件下,形成分布于坡面上的棋盘格式块体。在自重作用下,后缘裂面进一步拉裂并向深部发展,最终拉断后,沿顺坡向结构面剪出形成崩塌(参见图1-8,(a),(b))。

②多组结构面切割形成潜在不稳定楔形体。在开挖坡面,临空条件适当时,楔形体或棱柱体可丧失其稳定性,最初可沿多个面滑动,最后沿顺坡向结构面或结构面的坡向交线剪出形成崩塌(图1-8(c),(d),(e))。

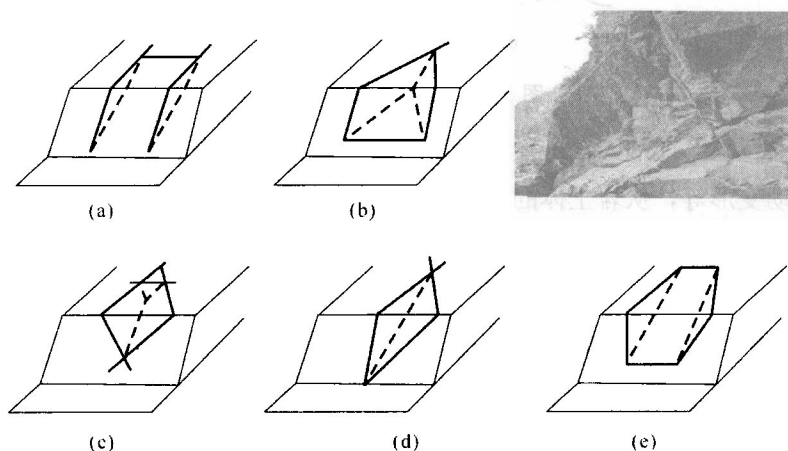


图1-8 岩体局部失稳图示及照片

1.1.2.2 土质斜坡的变形破坏

(1) 均质土坡的圆弧形滑动

当均质土体成坡较陡且临空高度超过某一限值时,将沿与最大剪应力有一定夹角的面产生破裂,形成潜在滑动面为圆弧形的不稳定体(参见图1-9(a))。在不稳定土体变形初期,一般在后缘坡面形成裂缝,随着变形的发展,新的裂缝显现,原先的裂缝进一步张开,由于在暴雨条件下多数该类变形土体自重增大,且受水压力作用以及潜在滑动面被软化因而失稳,形成滑坡。该类滑坡一般规模不大,失稳后的滑面上陡下缓。

(2) 顺层土体沿弱面蠕滑变形

当顺层坡体存在相对软弱层带时,一旦该软弱层带前缘被揭露,加上顺层带的抗剪强度较低,土体在自重和其他荷载作用下可沿此层带发生蠕滑变形,最终形成滑坡(参见图1-9(b))。

(3) 沿土体与基岩接触面滑动

第四系覆盖层与基岩接触面往往构成岩土体的软弱面。这一软弱面可能起伏不平,但总体上斜向河谷或坡下,因此在自重作用下,上部土体可沿此面蠕滑而产生滑坡(参见图1-9(c))。值得注意的是由于蠕滑面的起伏,滑动面较陡处为主动滑动段,平缓处则为阻滑段。