



普通高等院校土木工程专业研究生系列教材
PUTONG GAODENG YUANXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE YANJIUSHENG XILIE JIAOCAI

边坡工程

BIANPO GONGCHENG

BIANPO GONGCHENG

◎ 主 编 陈文昭 胡 萍
◎ 副主编 陈振富 龙 慧

非外借



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

边坡工程

主 编 陈文昭 胡 萍
副主编 陈振富 龙 慧



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目 (C I P) 数据

边坡工程 / 陈文昭, 胡萍主编. --长沙: 中南大学出版社, 2016. 12
ISBN 978 - 7 - 5487 - 2803 - 0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 124305 号

边坡工程

主 编 陈文昭 胡 萍
副主编 陈振富 龙 惠

-
- 责任编辑 刘 辉
责任印制 易红卫
出版发行 中南大学出版社
社址: 长沙市麓山南路 邮编: 410083
发行科电话: 0731 - 88876770 传真: 0731 - 88710482
印 装 长沙印通印刷有限公司
-

- 开 本 787 × 1092 1/16 印张 20.5 字数 523 千字
版 次 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 2803 - 0
定 价 50.00 元
-

图书出现印装问题, 请与经销商调换

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 边坡与滑坡的概念	(1)
1.2 边坡的分类	(2)
1.3 边坡工程安全等级	(4)
1.4 边坡的变形破坏	(5)
1.5 边坡岩体的分类	(11)
1.6 边坡处治基本措施	(15)
1.7 边(滑)坡工程设计原则	(18)
第 2 章 边(滑)坡工程勘察	(20)
2.1 岩土工程勘察等级划分	(20)
2.2 岩土工程勘察阶段划分	(21)
2.3 岩土工程勘察技术	(22)
2.4 边坡工程勘察	(24)
2.5 滑坡工程勘察	(34)
2.6 危岩与崩塌勘察	(36)
第 3 章 边坡稳定性分析评价	(38)
3.1 边坡稳定性分析方法概述	(38)
3.2 刚体极限平衡法	(42)
3.3 数值分析方法简介	(57)
3.4 赤平极射投影法	(60)
3.5 边坡工程安全性评价	(68)
第 4 章 边坡支护结构上的荷载	(71)
4.1 侧向土压力	(71)
4.2 侧向岩石压力	(84)
4.3 侧向岩土压力的修正	(87)
4.4 滑坡推力	(88)
第 5 章 坡率法与减重堆载	(94)
5.1 概述	(94)
5.2 坡率法	(95)

5.3	滑坡减重堆载	(99)
5.4	施工注意事项	(100)
第6章	重力式、悬臂式、扶壁式挡土墙	(101)
6.1	概述	(101)
6.2	重力式挡土墙	(103)
6.3	悬臂式挡土墙	(112)
6.4	扶壁式挡土墙	(119)
第7章	锚杆挡土墙	(131)
7.1	锚杆(索)设计	(131)
7.2	锚杆挡土墙设计	(140)
7.3	锚固工程试验	(148)
第8章	加筋土挡土墙	(154)
8.1	加筋土挡土墙构造	(155)
8.2	加筋土挡土墙设计	(160)
8.3	加筋土挡土墙施工	(168)
第9章	工程滑坡防治	(170)
9.1	概述	(170)
9.2	抗滑桩设计与计算	(174)
9.3	重力式抗滑挡土墙	(209)
第10章	崩塌及其防治	(215)
10.1	崩塌形成条件及影响因素	(215)
10.2	崩塌的工程分类	(217)
10.3	崩塌的形成机理	(217)
10.4	崩塌区的岩土工程评价	(219)
10.5	崩塌的防治	(222)
第11章	边(滑)坡注浆加固	(228)
11.1	概述	(228)
11.2	注浆材料及浆液的性质	(230)
11.3	注浆理论	(236)
11.4	注浆加固设计	(241)
11.5	边坡注浆加固施工	(244)
11.6	注浆效果评价与边坡稳定性验算	(249)

第 12 章 边坡工程排水	(252)
12.1 概述	(252)
12.2 地面防排水	(254)
12.3 地下排水	(261)
12.4 排水工程施工	(277)
第 13 章 坡面防护与生态护坡	(282)
13.1 概述	(282)
13.2 坡面工程防护	(282)
13.3 生态护坡	(291)
第 14 章 边坡工程施工与质量控制	(300)
14.1 一般规定	(300)
14.2 信息化施工	(300)
14.3 边坡工程监测	(302)
14.4 边坡工程施工质量检验与验收	(319)
主要参考文献	(321)

第1章

概述

1.1 边坡与滑坡的概念

自然界中斜坡随处可见,同时,工程建设中由于工程需要而进行开挖或填筑也形成大量的斜坡。露天矿开挖形成的斜坡构成了采矿区的边界而被称为边坡,由此,边坡一词逐渐被其他行业所接受而得到广泛应用。《建筑边坡工程技术规范》(简称《规范》,下同)把在建(构)筑物场地或其周边、由于建(构)筑物和市政工程开挖或填筑施工所形成的人工边(斜)坡和对建(构)筑物安全或稳定有影响的自然边(斜)坡称为建筑边坡,简称边坡。

边坡是自然或人工形成的斜坡,既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3大地质灾害(地震、洪水、崩塌滑坡泥石流)之一的边坡失稳破坏严重危及到公共财产和人们的生命安全。随着我国基础建设的大力发展,在建筑、道路交通、水利水电、市政、矿山等行业都涉及大量的边坡工程问题。增强边坡安全意识,科学地设计、正确地治理,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技术人员必须高度重视的问题。为满足工程需要而对自然边坡和人工边坡进行改造的活动及学科常被称为边坡工程,主要包括边坡工程勘察、边坡工程稳定性分析与评价、边坡工程设计与施工、边坡工程检测与监测等。

斜坡上的岩土体,沿着贯通的剪切破坏面(带)产生的向下滑动现象称为滑坡。滑坡通常具有双重含义,可指一种重力地质作用的过程,也可指一种重力地质作用的结果。《规范》根据滑坡的诱发因素、滑体及滑动特征将滑坡分为工程滑坡和



图 1.1 边坡构成要素

自然滑坡(含工程古滑坡)2大类。因建筑和市政建设过程中开挖坡脚、坡顶加载、施工用水等工程行为而诱发的滑坡称为工程滑坡;由暴雨、洪水或地震等自然因素或人为因素引发的滑坡称为自然滑坡;因工程行为而复活的古滑坡亦称为工程古滑坡。

边坡由坡顶、坡面、坡脚及其下部一定深度内的坡体组成,如图 1.1 所示。

1.2 边坡的分类

1. 按成因分类

(1) 自然边坡：由自然地质作用形成的斜坡体，形成时间一般较长。

(2) 人工边坡：由人工开挖或填筑施工所形成的斜坡体，又可分为挖方边坡和填筑边坡。

① 挖方边坡：由山体开挖形成的边坡，如路堑边坡(图 1.2)、露天矿边坡等；

② 填筑边坡：填方经压实形成的边坡，如路堤边坡(图 1.3)、渠堤边坡等。

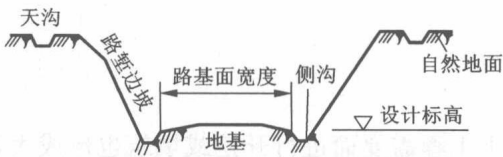


图 1.2 路堑边坡

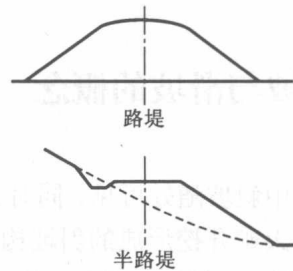


图 1.3 路堤、半路堤边坡

2. 按构成边坡的岩土介质类型分类

(1) 土质边坡：整个边坡均由土体构成，边坡稳定性主要由土体结构决定。按土体种类又可分为黏性土边坡、黄土边坡、膨胀土边坡、堆积土边坡、填土边坡等。

(2) 岩质边坡：整个边坡均由岩体构成，边坡稳定性主要由岩体主要结构面与边坡倾向的相对关系决定。

① 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；

② 按岩体结构又可分为整体状(巨块状)结构边坡、块状结构边坡、层状结构边坡、碎裂状结构边坡、散体状结构边坡。

(3) 岩土混合边坡：边坡下部为岩层，上部为土层，即所谓的二元结构的边坡，边坡稳定性通常由土岩界面的倾角决定。

3. 按边坡的高度分类

(1) 超高边坡：岩质边坡坡高大于 30 m，土质边坡坡高大于 15 m。

(2) 高边坡：岩质边坡坡高为 15 ~ 30 m，土质边坡坡高为 10 ~ 15 m。

(3) 中高边坡：岩质边坡坡高为 8 ~ 15 m，土质边坡坡高为 5 ~ 10 m。

(4) 低边坡：岩质边坡坡高小于 8 m，土质边坡坡高小于 5 m。

实践证明，容易发生变形破坏和滑坡的边坡多为高边坡，因此高边坡是研究与防治的重点。

4. 按边坡的坡度分类

(1) 缓坡：坡度小于 15° 。

(2) 中等坡：坡度 $15^\circ \sim 30^\circ$ 。

(3) 陡坡：坡度为 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。

(4)急坡:坡度为 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。

(5)倒坡:坡度大于 90° 。

5. 按边坡的工程类别分类

(1)道路工程类:路堑边坡,路堤边坡。

(2)水利水电工程类:水坝边坡,渠道边坡,坝肩边坡,库岸边坡。

(3)矿山工程类:露天矿边坡(图 1.4),弃渣场边坡(图 1.5)。



图 1.4 露天矿边坡

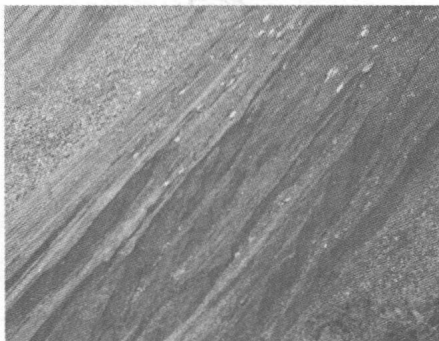


图 1.5 弃渣场边坡

(4)建筑工程类:建筑边坡,基坑边坡。

6. 按坡体结构特征分类

(1)类均质土边坡:边坡由均质土体构成,如图 1.6(a)所示。

(2)近水平层状边坡:由水平层状岩土体构成的边坡,如图 1.6(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 1.6(c)所示。

(4)反倾层状边坡:岩土层面倾向边坡体内,如图 1.6(d)所示。

(5)块状岩体边坡:由厚层块状岩体构成的边坡,如图 1.6(e)所示。

(6)碎裂状岩体边坡:边坡由碎裂状结构岩体构成,或为断层破碎带,或为节理密集带,如图 1.6(f)所示。

(7)散体状边坡:边坡由破碎块石、砂构成,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。

7. 按软弱结构倾向与坡向的关系分类

(1)顺向边坡:软弱结构面的走向与边坡坡面的走向平行或比较接近,且倾向一致的边坡。

(2)反向边坡:软弱结构面的倾向与坡面倾向相反,这种边坡一般是稳定的。

(3)直立边坡:软弱结构面直立的边坡。

(4)平叠边坡:软弱结构面水平的边坡。

8. 按边坡使用年限分类

建筑工程行业只分临时边坡与永久边坡 2 类,《规范》规定:临时边坡为工作年限不超过 2 年的边坡;永久边坡为工作年限超过 2 年的边坡。

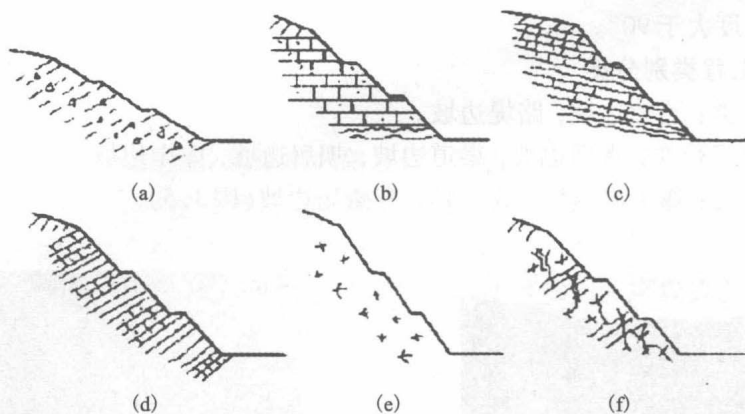


图 1.6 边坡的坡体结构类型

有的行业则根据使用年限分成 3 类：

- (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。

1.3 边坡工程安全等级

边坡工程应根据其损坏后可能造成的破坏后果（危及人生命、造成经济损失、产生不良社会影响）的严重性、边坡类型和边坡高度等因素，按表 1.1 确定边坡工程安全等级。边坡工程安全等级是支护工程设计、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。

表 1.1 《建筑边坡支护技术规范》规定的边坡安全等级

边坡岩体类型		边坡高度 H (m)	破坏后果	安全等级
岩质边坡	I 或 II	$H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级
	III 或 IV	$15 < H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
		$H \leq 15$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级

续表 1.1

边坡岩体类型	边坡高度 H (m)	破坏后果	安全等级
土质边坡	$H > 12$ (挖方) $H > 8$ (填方)	很严重	一级
		严重	二级
	$H \leq 12$ (挖方) $H \leq 8$ (填方)	很严重	一级
		严重	二级
		不严重	三级

注：①一个边坡工程的各段，可根据实际情况采用不同的安全等级。

②对危害性极严重、环境和地质条件复杂的特殊边坡工程，其安全等级应根据工程情况适当提高。

③很严重：造成重大人员伤亡或财产损失；严重：可能造成人员伤亡或财产损失；不严重：可能造成财产损失。

由外倾软弱结构面控制、工程滑坡地段、边坡塌滑区有重要建(构)筑物等3种条件下的边坡工程，当其破坏后果很严重时，边坡工程安全等级应定为一级。对危害性极严重、环境和地质条件复杂的边坡工程，当安全等级已为一级时，需要通过组织专家进行专项论证的方式来保证边坡支护方案的安全性和合理性。

1.4 边坡的变形破坏

1.4.1 常见的边坡变形破坏形式

边坡的变形破坏是一个由量变到质变的过程，总是由缓慢的、局部的变形逐步发展演化成快速的、整体性的破坏。

1. 边坡变形

边坡变形指坡体只产生局部的位移和微破裂、岩块只出现微小的变化、没有显著的剪切位移或滚动，因而边坡不至于引起整体失稳。常见的边坡变形形式主要有松弛张裂、蠕动变形两种。

(1) 松弛张裂：边坡受水流冲刷或人工开挖等因素影响而在坡体中产生一系列与坡面近于平行的陡倾角张拉裂隙、边坡岩土体向临空方向张开的的作用过程，如图 1.7 所示。边坡的松弛张裂一方面使得岩土体完整性遭到破坏、岩土体强度降低；另一方面裂隙的存在也为水、气等外力作用因素的赋存和运动提供了空间，它是边坡变形破坏的初始阶段。在边坡稳定性分析中确定卸荷带的范围和卸荷带中的坡体特征，对于评价边坡岩体的稳定性具有重要意义。

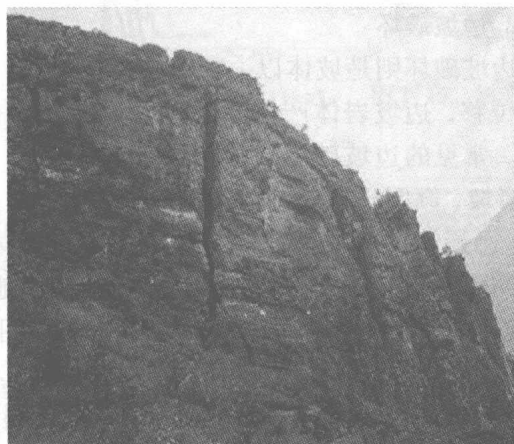


图 1.7 松弛张裂

(2) 蠕动变形：边坡岩体在重力作用下向临空方向发生长期缓慢的塑性变形的现象，有

表层蠕动和深层蠕动两种类型。

①表层蠕动主要表现为边坡表部岩土体发生弯曲变形，多是从下部未经变动的部分向上逐渐连续向临空方向弯曲，甚至倒转、破裂、倾倒，如图 1.8 所示。

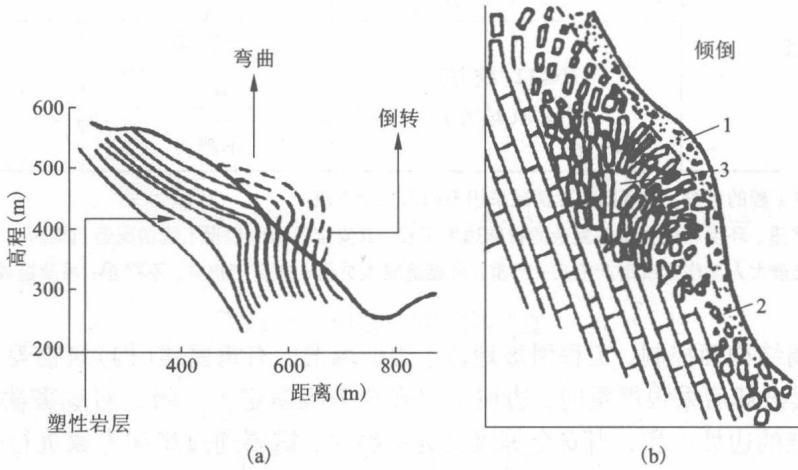


图 1.8 表层蠕动

(a) 软弱岩层挠曲变形；(b) 坚硬岩体倾废物
1—残积物；2—坍塌堆积物；3—蠕动变形岩体

②深层蠕动是指坚硬岩层组成的边坡底部存在较厚的软弱岩层时，由软弱岩层发生塑性流动而引起的长期缓慢的边坡蠕动变形，如图 1.9 所示。深层蠕动又分软弱基座蠕动、坡体蠕动两种。

2. 边坡破坏

边坡破坏则是坡体以一定的速度出现较大的位移，边坡岩体产生整体滑动、滚动或转动。常见的边坡破坏形式主要有崩塌、坍塌、滑坡、倾倒、错落、落石等。

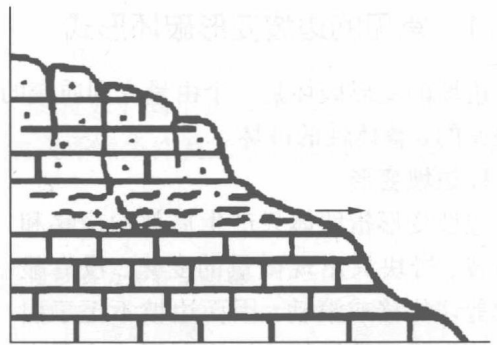


图 1.9 深层蠕动(软弱垫层塑性流动)

(1)崩塌、落石：崩塌是陡坡上的巨大岩体或土体在重力和其他外力作用下，突然向下崩落的现象。崩塌过程中岩体(或土体)猛烈地翻滚、跳跃、互相撞击，最后堆于坡脚，原岩体(或土体)结构遭到严重破坏，如图 1.10、图 1.11 所示。

落石是陡坡上的个别岩石块体在重力或其他外力作用下，突然向下滚落的现象。

(2)坍塌：土层、堆积层或风化破碎岩层斜坡，由于土壤水和裂隙水的作用、河流冲刷或人工开挖而使边坡陡于岩体自身强度所能保持的坡度而产生逐层塌落的变形现象，如图 1.12 所示。这是一种非常普遍的现象，一直塌到岩土体自身的稳定角时方可自行稳定。膨胀土斜坡由于土体不断受到胀缩交替作用，强度大幅度降低，甚至坡度为 1:5 的坡体也会产生坍塌。

(3)滑坡：边坡上的岩土体在自然或人为因素的影响下失去稳定，沿一定的破坏面整体下滑的现象，是一种常见的因边坡失稳而产生的地质灾害，如图 1.13 所示。

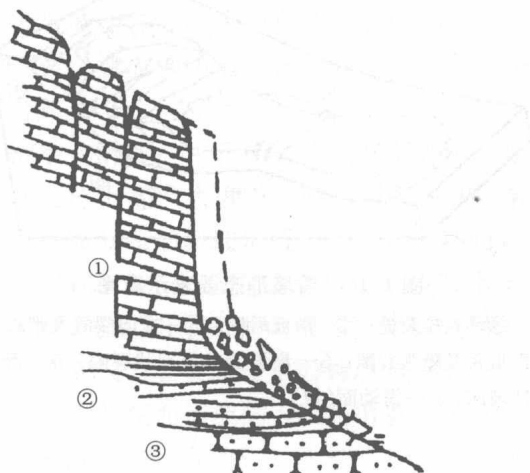


图 1.10 坚硬岩石边坡前缘卸荷裂隙引起崩塌

①张节理; ②软弱夹层(泥岩、页岩); ③砂岩

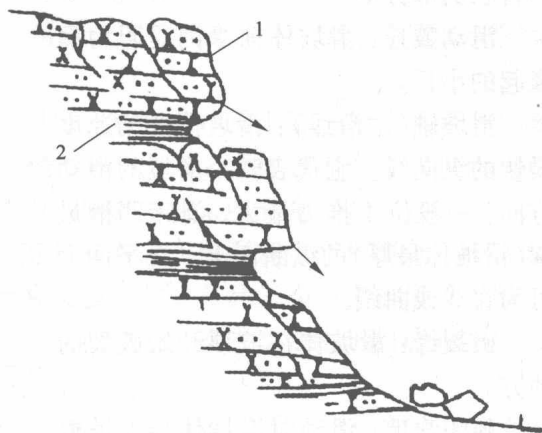


图 1.11 软硬互层岩石边坡局部崩塌

1—砂岩; 2—页岩

(4) 倾倒: 陡倾的岩体在卸荷回弹和其他外力的作用下, 绕其底部某点向临空方向倾倒的现象, 如图 1.14 所示。它可以转化为崩塌或滑坡, 也可以停止在倾倒变形阶段。

(5) 错落: 被陡倾的构造面与后部完整岩体分开的较破碎岩体, 因坡脚引起坡体产生以垂直下错为主的变形现象, 如图 1.15 所示。

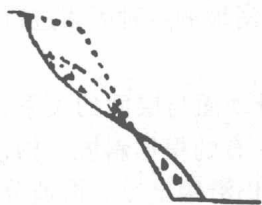


图 1.12 坍塌



图 1.13 滑坡



图 1.14 倾倒



图 1.15 错落

1.4.2 滑坡

滑坡是边坡上的岩土体在自然或人为因素的影响下失去稳定, 以一定的加速度沿一滑动面发生剪切滑动的现象, 是一种常见的因边坡失稳而产生的地质灾害。

1. 滑坡形态要素

滑坡体: 滑坡的整个滑动的岩土体。

滑坡周界: 滑坡体和周围不动的岩土体在平面上的分界线。

滑坡壁(破裂壁): 滑坡体后缘和不动的岩土体脱开的、暴露在外面的分界面。

滑坡台阶和滑坡埂: 由于各段土体滑动速度的差异, 在滑坡体上面形成台阶状的错台称滑坡台阶。台阶如因旋转发生倾斜, 使台阶边缘形成陡窄的长埂, 称滑坡埂。

滑动面: 滑坡体沿不动的岩土体下滑的分界面称滑动面。

滑动带: 滑动面上部受滑动揉皱的地带(厚数厘米至数米)。

滑坡床: 滑坡体下面没有滑动的岩土体称为滑坡床。

滑坡舌(滑坡头): 滑坡体的前缘形如舌状的部分。

滑动鼓丘: 滑坡体前缘因受阻力而隆起的小丘。

滑坡轴(主滑线): 滑坡体滑动速度最快的纵向线。它代表整个滑坡的滑动方向, 一般位于推力最大、滑床凹槽最深(滑坡体最厚)的纵断面上。在平面上可为直线或曲线。

破裂线: 滑坡体在坡顶开始破裂的地方。

封闭洼地: 滑动时滑坡体与滑坡壁间拉开成沟槽, 当相邻土楔形成反坡地形时, 即成四周高、中间低的封闭洼地。

滑坡裂缝: 按受力状态可分成拉张裂缝、剪切裂缝、鼓张裂缝和扇形裂缝。

①拉张裂缝: 位于滑坡体上部, 多呈弧形, 与滑坡壁方向大致平行。通常将其最外一条裂缝(即滑坡周界的裂缝)称滑坡主裂缝。

②剪切裂缝: 位于滑坡体中部的两侧, 此裂缝的两侧常伴有羽毛状裂缝。

③鼓张裂缝: 位于滑坡体下部, 其方向垂直于滑动方向。

④扇形裂缝: 位于滑坡体中下部, 尤以滑舌部分为多, 呈放射状。

2. 滑坡分类

对滑坡分类的目的在于对滑坡作用的各种环境和现象特征以及产生滑坡的各种因素进行概括, 以便正确反映滑坡作用的某些规律。

滑坡的分类方案很多, 各方案所侧重的分类原则不同。有的根据滑动面与层面的关系, 有的根据滑坡的动力学特征, 有的根据规模、深浅, 有的根据岩土类型, 有的根据斜坡结构, 还有根据滑动面形状甚至根据滑坡时代等。这些分类方案各有优缺点, 仍沿用至今。滑坡分类有待进一步探讨。

(1) 按滑动面与层面关系分类

此种分类应用很广, 是较早的一种分类, 可分为顺层滑坡(图 1.17)、切层滑坡(图 1.18)和均质滑坡[无层滑坡(图 1.19)]三类。

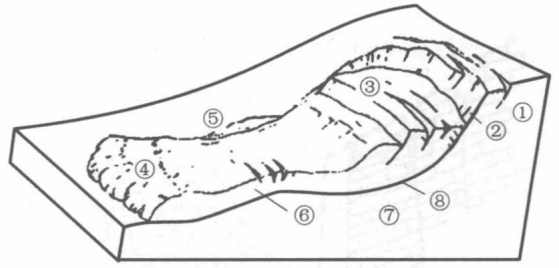


图 1.16 滑坡形态要素示意图

- ①—后缘环状拉裂缝; ②—滑坡后壁; ③—横向裂缝及滑坡台阶;
④—滑坡舌及隆张裂隙; ⑤—滑坡侧壁及羽状裂隙; ⑥—滑坡体;
⑦—滑坡床; ⑧—滑动面(带)。

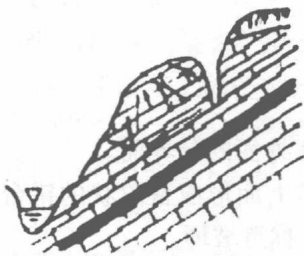


图 1.17 顺层滑坡

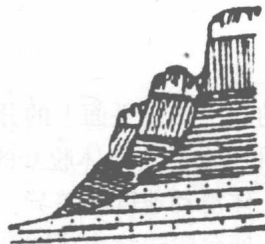


图 1.18 切层滑坡

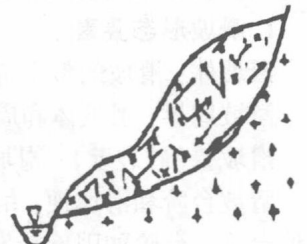


图 1.19 均质体滑坡

(2) 按滑坡动力学性质分类

按滑坡动力学性质分类即主要按决定于始滑位置(滑坡源)所引起的力学特征进行分类,这种分类对滑坡的防治有很大意义。一般根据始滑部位不同而分为推动式、牵引式、平移式和混合式。

推动式滑坡: 由于斜坡上部张开裂缝发育或因堆积重物和坡上部进行建筑等,上部岩层滑动挤压下部产生变形,滑动速度较快,多具楔形环谷外貌,滑体表面有波状起伏,多见于有堆积体分布的斜坡地段,如湖北省秭归县境内土凤岩—马家坝滑坡。

牵引式滑坡: 首先是在斜坡下部发生滑动,使上部失去支撑而发生变形滑动,从而逐渐向上扩展,引起由下而上的滑动。牵引式滑坡一般速度较慢,多具上小下大的塔式外貌,横向张性裂隙发育,表面多呈阶梯状或陡坎状,常形成沼泽地。这主要是由于斜坡底部受河流冲刷或人工开挖而造成的,如四川省云阳镇大桥沟。

平移式滑坡: 滑动面一般较平缓,始滑部位分布于滑动面的许多点,这些点同时滑移,然后逐渐发展连接起来,如包头矿务局的白灰厂滑坡。

混合式滑坡: 始滑部位上、下结合,共同作用。混合式滑坡比较常见。

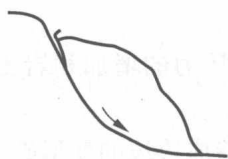


图 1.20 推动式滑坡

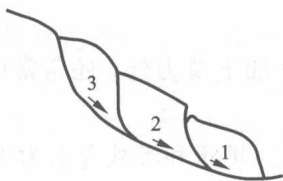


图 1.21 牵引式滑坡

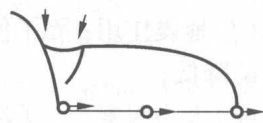


图 1.22 平移式滑坡

(3) 按滑坡发生时代分类

古滑坡: 全新世以前发生的滑坡。

老滑坡: 全新世以来发生过滑动,现未活动的滑坡。

新滑坡: 正在活动的滑坡。

(4) 按滑坡规模分类

小型滑坡: 滑坡体体积小于 5000 m^3 。

中型滑坡: 滑坡体体积在 5000 m^3 与 50000 m^3 之间。

大型滑坡: 滑坡体体积在 50000 m^3 与 100000 m^3 之间。

巨型滑坡: 滑坡体体积大于 100000 m^3 。

(5) 按形成原因分类

工程滑坡: 由于开挖坡脚、坡顶加载、施工用水等工程活动诱发的滑坡,此类滑坡还可细分为:

① **工程新滑坡:** 由于开挖坡脚、坡顶加载、施工用水等工程活动而新形成的滑坡

② **工程古滑坡:** 久已存在的滑坡,由于开挖坡脚、坡顶加载、施工用水等工程活动引起重新活动的滑坡。

自然滑坡: 由于自然地质作用产生的滑坡。

(6) 按发生后的活动性分类

活滑坡：发生后仍在继续活动的滑坡。后壁及两侧有新鲜擦痕，体内有开裂、鼓起或前缘有挤出等变形迹象，其上偶有旧房遗址，幼小树木歪斜生长等。

死滑坡：发生后已停止发展，一般情况下不可能再重新活动，坡体上植被茂盛，常有居民点。

(7)按滑坡滑动速度分类

缓慢滑坡，间歇性滑坡，崩塌性滑坡，高速滑坡。

1.4.3 边坡变形破坏的主要条件及因素

边坡变形破坏的主要条件及因素主要有以下 8 个方面：

(1)岩土性质：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：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：包括地下水的埋藏条件、地下水的流动及动态变化等；

(4)地形地貌条件：如边坡的高度、坡度和形态等；

(5)风化作用：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：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；

(8)人为因素：人类活动的开挖、填筑和堆载等人为因素都可能造成边坡的变形破坏。

1.4.4 典型边坡灾害事故

边坡失稳破坏产生的滑坡、滑动、沉陷、泥石流、岩崩为全球性三大地质灾害(地震、洪水、崩塌滑坡泥石流)之一，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 人死亡；1963 年意大利的 Vaiont 水库左岸滑坡，使得 25000 万 m^3 的滑体以 28 m/s 的速度下滑到水库，形成 250 多 m 高的涌浪，造成下游 2500 多人丧生；1980 年我国湖北运安盐池河磷矿发生山崩，100 万 m^3 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；2001 年 5 月 1 日重庆市武隆县县城江西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。

表 1.2 中国近三十年来滑坡灾害实例

滑坡名称	发生地点	发生时间	灾害情况
铁西滑坡	成昆线铁西车站	1980 年 7 月	滑坡体积 200 万 m^3 ，中断交通 40 天，治理费 2300 万元
洒勒山滑坡	甘肃省东乡县	1983 年 3 月	滑坡体积 5000 m^3 ，摧毁 4 个村庄，227 人死亡
鸡爪子滑坡	四川省云阳县	1982 年 7 月	滑坡体积 1300 万 m^3 ，100 万 m^3 滑入长江，造成急流险滩，治理费 8500 万元
新滩滑坡	湖北省秭归县	1985 年 6 月	滑坡体积 3000 万 m^3 ，摧毁新滩镇，侵占 1/3 长江航道，因提前预报无伤亡

续表 1.2

滑坡名称	发生地点	发生时间	灾害情况
韩城电厂滑坡	陕西省韩城市	1985年3月	滑坡体积500万m ³ ,破坏厂房设施,一、二期治理费5000余万元
天水锻压机床厂滑坡	甘肃省天水市	1990年8月	滑坡体积60万m ³ ,破坏6个车间,7人死亡,损失2000多万元
头寨沟滑坡	云南省昭通县	1992年9月	滑坡体积400万m ³ ,变成碎屑流冲出4km,摧毁1个村庄
K190滑坡	宝成线K190	1992年5月	滑坡体积30万m ³ ,中断运输35天,砸坏明洞,改线花费8500万元
黄茨滑坡	甘肃省永靖县	1995年1月	滑坡体积600万m ³ ,摧毁71户民房,因提前预报无伤亡
岩口滑坡	贵州省印江县	1996年9月	滑坡体积260万m ³ ,堵断印江淹没上游一村镇,威胁下游印江县城安全
八渡车站滑坡	南昆线八渡	1997年7月	滑坡体积500万m ³ ,威胁车站安全,治理费9000万元

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损失每年可达33亿美元,除此之外,在美国每年平均至少有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被破坏。

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、地面塌陷等有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1000余座桥梁被毁,经济损失达168亿余元,并对全省2220km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. Brohead 的统计,用于边坡治理的费用占地质和自然灾害的25%~50%。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1500万英镑;在伦敦南部的一个仅2500m²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增大,如三峡库区仅用于一期边坡处治的国家投资高达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的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。

1.5 边坡岩体的分类

岩体是岩石及结构面的组合体。岩石的软硬、风化程度、结构面的发育程度有着重要影响。