

姜德义 朱合华 杜云贵 编著

# 边坡稳定性分析 与滑坡防治

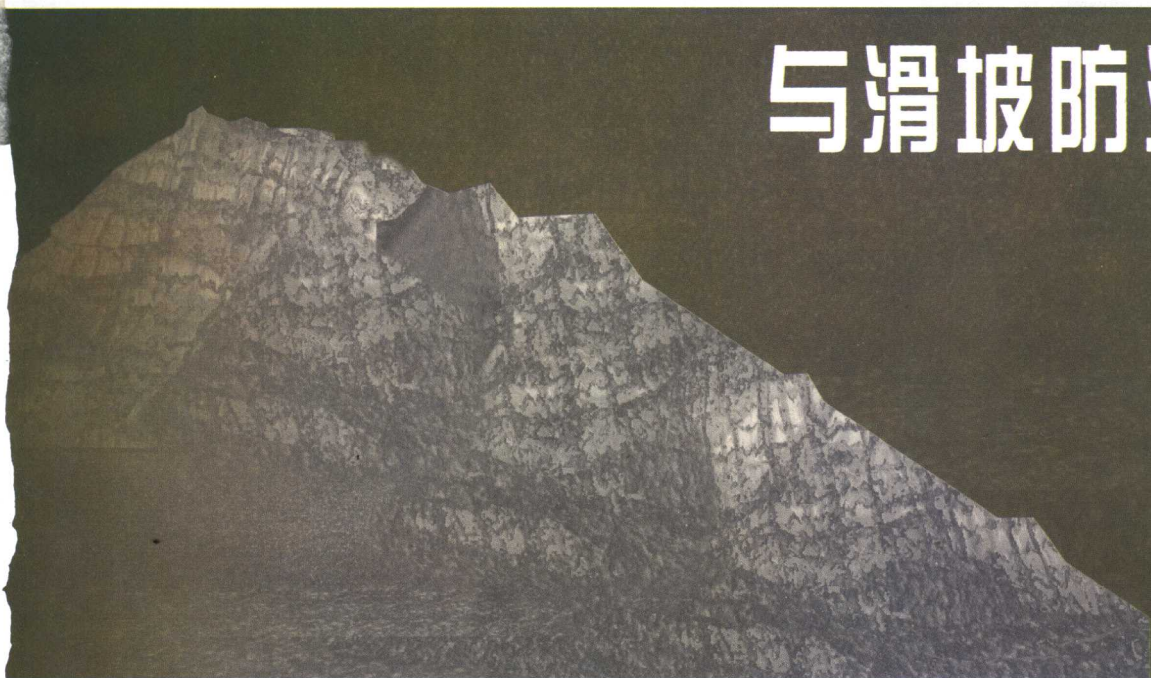
BIANPO WENDINGXING FENXI YU HUAPO FANGZHI

重庆大学出版社

# 边坡稳定性分析

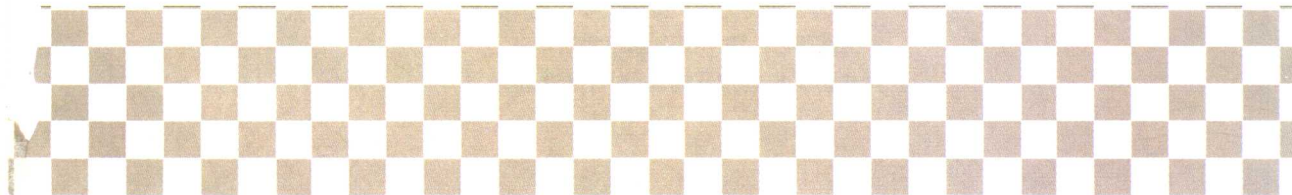
BIANPO WENDINGXING FENXI YU HUAPO FANGZHI

## 与滑坡防治



姜德义 朱合华 杜云贵 编著

重庆大学出版社



图书在版编目(CIP)数据

边坡稳定性分析与滑坡防治/姜德义,朱合华,杜云贵编著.  
—重庆:重庆大学出版社,2005.3

ISBN 7-5624-3334-8

I. 边... II. ①姜... ②朱... ③杜... III. ①边坡稳定性—分析②滑坡—防治 IV. P642.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第011224号

边坡稳定性分析与滑坡防治

姜德义 朱合华 杜云贵 编著

责任编辑:王勇 范春青 陈红梅 版式设计:王勇

责任校对:邹忌 责任印制:秦梅

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:398千 插页:1

2005年3月第1版 2005年3月第1次印刷

印数:1—1 000

ISBN 7-5624-3334-8

定价:50.00元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究。

# 内 容 提 要

本书是以理论联系实际,理论与应用并重的指导思想编写的。

全书共分 12 章,分别介绍了边坡工程的概况,系统论述了边坡变形与破坏、影响边坡稳定性的主要因素、边坡岩体结构分析、边坡稳定性的理论计算、边坡设计计算图法、确定人工边坡角的经验类比法、滑坡的防治、边坡稳定性监测、边坡变形破坏的预报、边坡坡面的防护以及边坡模型实验方法等,内容广泛、科学系统。全书对一些重要的概念和研究方法按认识规律、实践经验进行了深入探讨,使其内容更加完善;并紧密联系该学科的实际,全面地反映了近年来边坡工程的有关理论与实践。

本书可供从事边坡工程的工程技术人员在工程实践中参考,也可供高等学校岩土工程、安全工程、环境工程等专业的学生作为相关的教材或教学参考书。

NEIRONG TIYAO

# 前 言

QIANYAN

近年来,作者在从事边坡稳定性研究的基础上,对部分高速公路沿线高危边坡和重庆境内长江支流两岸高陡边坡进行了现场调查与分析研究,对边坡稳定性分析和计算、边坡设计图法、确定人工边坡角的经验类比法、滑坡的防治、边坡稳定性监测、边坡变形破坏的预报、边坡坡面的防护以及边坡模型实验方法等,在本书中做了一定介绍。其中有些内容是作者从事边坡工程技术的经验总结和研究成果,全面地反映了近年来边坡工程的有关理论与实践。

本书编写过程中着重考虑了边坡工程的特点,同时注意介绍国内外有关边坡工程的理论与成功经验,尽力做到理论联系实际,强调实用性、可操作性与施工过程的安全性,力求内容全面、科学、系统。本书可供从事边坡工程的工程技术人员在工程实践中加以参考,也可供高等学校岩土工程、安全工程、环境工程等专业的学生作为相关的教材或教学参考书。

本书第1章、第3章、第7章和第8章由姜德义编写;第2章、第4章、第5章和第10章由朱合华编写;第6章、第9章、第11章和第12章由杜云贵编写,全书由姜德义统稿。

在本书编写过程中引用和参考了大量文献与有关设计资料,在此特向原作者致以谢意。

由于编书时间仓促,作者水平有限,书中内容难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

作者

2005年1月

# 目 录

绪 论	1
第1章 边坡工程概述	5
1.1 概述	5
1.2 边坡分类	9
第2章 边坡变形的破坏	13
2.1 边坡的破坏形式	13
2.2 滑坡的分类	16
2.3 滑坡地带的特征	19
第3章 影响边坡稳定性的主要因素	21
3.1 地层与岩性	21
3.2 地质构造和地应力	22
3.3 岩体结构	23
3.4 水的作用	29
3.5 振动的作用	34
3.6 边坡几何形状及表面形态	37
3.7 其他因素	38
第4章 边坡岩体结构分析	41
4.1 岩体结构分析的步骤	41
4.2 赤平极射投影的原理和方法	43
4.3 岩体结构分析	51
4.4 用赤平等面积投影法确定优势结构面	58
第5章 边坡稳定性分析和计算	61
5.1 概述	61
5.2 平面滑动	63
5.3 圆弧形滑动	85
5.4 楔体滑动	101

5.5	不稳定概率法分析边坡的稳定性 .....	107
5.6	边坡稳定性评价 .....	112
<b>第6章</b>	<b>边坡设计计算图法</b> .....	117
6.1	设计计算图法的原理 .....	117
6.2	边坡设计计算图的使用方法 .....	122
<b>第7章</b>	<b>确定人工边坡角的经验类比法</b> .....	127
7.1	经验类比法的类比条件 .....	127
7.2	经验类比法的应用 .....	128
<b>第8章</b>	<b>滑坡的防治</b> .....	151
8.1	边坡的防治对象与防治方法 .....	151
8.2	排水疏干 .....	155
8.3	挡土墙 .....	163
8.4	锚索加固 .....	205
8.5	抗滑桩加固 .....	214
8.6	注浆加固 .....	223
8.7	实施减滑工程增强边坡的稳定 .....	230
<b>第9章</b>	<b>边坡坡面防护</b> .....	237
9.1	概述 .....	237
9.2	植被防护 .....	239
9.3	坡面的工程防护 .....	246
<b>第10章</b>	<b>边坡稳定性监测</b> .....	265
10.1	概述 .....	265
10.2	大面积边坡变形位移的观测 .....	266
10.3	边坡表面测量岩体移动的装置 .....	275
10.4	钻孔内测量岩体移动的装置 .....	277

第 11 章 边坡变形破坏的预报 .....	281
11.1 滑坡预报的基本概念 .....	281
11.2 边坡变形破坏预报的分类 .....	284
11.3 滑坡预报的方法 .....	285
第 12 章 边坡模型试验方法 .....	307
12.1 重力场边坡块体结构模型试验 .....	308
12.2 底面摩擦模型法 .....	320
12.3 离心模型法 .....	327
参考文献 .....	335



## 绪 论

道路交通的建设、水力水电工程的设施、露天矿山的采掘以及城市地质环境的利用与改造,均涉及到边坡工程。

我国幅员辽阔,自然条件复杂,在山区和河谷地带,由于环境的变迁、气候的变化,往往使自然边坡滑移;随着我国国民经济的迅速发展,城市的建设与改造工作也不断发展,使人类经济活动规模迅速扩大,在利用与改造城市地质环境中,因认识不足、措施不当,引起边坡破坏的现象日益频繁;此外,由于堤坝水库的蓄水、道路(铁路、公路)路堑的开挖以及露天矿山的开采,都会引起规模不等、范围不一、程度不同的地表沉降与人工边坡的变形失稳,从而使边坡稳定性恶化而破坏。

边坡变形与破坏都直接或间接的与不合理的削坡、弃土堆填、增大边坡角、增加坡高、降低坡体内抗滑阻力或增加坡体质量有关。此外,城市废水任意排放和地下管网漏水,致使边坡岩体常因大量废水渗入而改变了地下水的运动规律,从而降低了边坡和抗滑稳定性,使边坡岩体中的软夹层泥化、软化而引起滑坡。

2 000 多年前,我国就有“地移掩村”和“山崩堵江”的详细记载。显然“地移”是相当缓慢滑动的滑坡,而“山崩”是指崩塌性滑坡在陡坡地段,边坡上的岩土在重力作用下突然脱离母体而翻滚坠落或急剧变形而破坏。近百年来,有关滑坡危害的记载更多,这充分说明了边坡失稳所造成的滑坡、崩塌是十分严重的自然地质

## 绪 论

道路交通的建设、水力水电工程的设施、露天矿山的采掘以及城市地质环境的利用与改造,均涉及到边坡工程。

我国幅员辽阔,自然条件复杂,在山区和河谷地带,由于环境的变迁、气候的变化,往往使自然边坡滑移;随着我国国民经济的迅速发展,城市的建设与改造工作也不断发展,使人类经济活动规模迅速扩大,在利用与改造城市地质环境中,因认识不足、措施不当,引起边坡破坏的现象日益频繁;此外,由于堤坝水库的蓄水、道路(铁路、公路)路堑的开挖以及露天矿山的开采,都会引起规模不等、范围不一、程度不同的地表沉降与人工边坡的变形失稳,从而使边坡稳定性恶化而破坏。

边坡变形与破坏都直接或间接的与不合理的削坡、弃土堆填、增大边坡角、增加坡高、降低坡体内抗滑阻力或增加坡体质量有关。此外,城市废水任意排放和地下管网漏水,致使边坡岩体常因大量废水渗入而改变了地下水的运动规律,从而降低了边坡和抗滑稳定性,使边坡岩体中的软夹层泥化、软化而引起滑坡。

2 000 多年前,我国就有“地移掩村”和“山崩堵江”的详细记载。显然“地移”是相当缓慢滑动的滑坡,而“山崩”是指崩塌性滑坡在陡坡地段,边坡上的岩土在重力作用下突然脱离母体而翻滚坠落或急剧变形而破坏。近百年来,有关滑坡危害的记载更多,这充分说明了边坡失稳所造成的滑坡、崩塌是十分严重的自然地质

## 绪 论

论就预报的理论或预报技术,都有待进一步探讨和研究。滑坡预报的主要内容有:可能发生滑坡的地点、滑坡的规模、滑坡的形态以及发生滑坡的时间,其中滑坡时间的预报是预报工作的核心和关键。如果时间预报过早,会使生产产生较长的停顿,会造成过多的损失;如果预报过迟,会造成灾害事故。因此,预报时间是边坡工程研究中一项有实用意义的重要课题。

边坡工程在国民经济建设中占有重要地位,本书将对边坡工程的概况、边坡的变形破坏、影响边坡稳定性的重要因素、边坡岩体结构分析、边坡稳定性分析与计算、边坡设计计算图法、确定人工边坡角的经验类比法、滑坡的防治、边坡稳定性监测、边坡变形破坏的预报、边坡坡面的防护以及边坡模型实验方法等予以介绍,以供从事边坡工程的工程技术人员在工程实践中加以参考,也可供高等院校的岩土工程、安全工程、环境工程等专业的学生作为相关的教材使用。



# 第 1 章

## 边坡工程概述

### 1.1 概 述

边坡是指地表面一切具有倾向临空面的地质体,是广泛分布于地表的一种地貌景观。峰峦起伏的山川大地,有千变万化的边坡所显现;蜿蜒曲折的河流湖泊,有水上和水下的边坡所约束。不少工程建筑,兴建在边坡岩(土)体上。随着国民经济的发展,人民的生活和生产与边坡发生着紧密联系。因此,边坡工程的设计与施工、边坡稳定性的分析与监测,以及滑坡的预报与治理,是一项十分重要的系统工程。

#### 1.1.1 边坡失稳造成的滑坡崩塌是十分严重的自然灾害

边坡的失稳造成的滑坡、崩塌是十分严重的全球性自然灾害,也是仅次于地震的第2大地质灾害。它常常摧毁建筑,堵塞交通,造成人员伤亡,给生态环境工程和工程建设带来危害,造成巨大的经济损失。滑坡是地壳表层边坡的一种灾害地质现象,往往出现在山区和丘陵地带,尤其是高山峡谷地带,其区域分布受到地球动力学背景和动力作用过程的控制,而其形成和演化主要与外营力,诸如浅表层改造、风化、卸荷、地下水以及人类活动等密切相关。在全球范围内滑坡分布广泛,危害严重。

在美洲地区,美国、加拿大、智利和巴西等国滑坡发生较多。据文献报道,美国每年因滑坡造成的经济损失约10多亿美元。据加利福尼亚矿山与地质局估计,1970—2000年期间,整个加洲由于边坡变形破坏所造成的各种费用达99亿美元,平均每年超过3亿美元。美国公路和道路因受滑坡危害,每年所需费用总数超过1亿美元。

在欧洲,意大利、前苏联、捷克、挪威和英国等国家滑坡发生较多。据文献报道,意大利每年因滑坡造成的经济损失约10亿~20亿美元。著名的瓦依昂滑坡(1963年)就发生在意大利东北部,该水库坝高267m,是当时世界上最高的双曲拱坝。大坝蓄水后,近坝左岸山体突然以高达25~30m/s的速度下滑,约 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的土迅速淤满水库,掀起了高出坝顶100m以上的涌浪。库水渲泄而下,摧毁了下游村庄,造成近3000人死亡。这是欧洲历史上最大的灾害性滑坡,也是世界上最大的水库失事事件。前苏联的高加索、黑海沿岸和西伯利亚是滑坡危害严重地区,每年造成数亿美元的经济损失。1961—1962年,捷克曾经出现的滑坡超过9000处,有一条铁道因支付不起整治滑坡危害费用而被迫废弃。

在亚洲,中国、印度、日本和伊朗是滑坡较多的国家。日本是多山的国家,地处太平洋火山带内,滑坡、崩塌颇为严重。据报道:日本每年因滑坡造成的经济损失高达40亿美元。战后日本发生的规模较大、有一定破坏力的滑坡共83次,损坏房屋1510户,摧毁农田、山林2635.3 $\text{ km}^2$ ,破坏国道、县道、町道、铁道30133m,导致126人死亡。1985年,长野县关西的北郊地附山发生 $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的大滑坡,造成房屋损坏64栋,毁坏道路2km,直接经济损失235.687万日元。事后,此滑坡的整治工程历时5年,共耗资126亿日元。印度1983年发生的Garhwal滑坡,下滑土体形成一座长3km,宽1.5km,高295m的天然大坝,约1年后,库水越顶溢出,泄水约100亿 $\text{ m}^3$ ,冲毁了洪水流经的所有城镇和村庄。

### 1.1.2 我国是世界上滑坡较多的国家之一

我国是个多山的国家,山地约占全国面积的2/3,是世界上滑坡较多的国家之一。随着国民经济的蓬勃发展,各项工程活动对山体地质环境往往起着破坏性的作用。在铁路、公路、水利、航运、采矿、建筑以及国防建设中经常遇到边坡稳定性问题,它关系到工程建设的安全和经济效益的高低。由于边坡的失稳未加控制而肇事的事例屡见不鲜。据不完全统计:从1949—1990年,我国至少发生850次以上危害和影响重大的边坡失稳破坏。每年因滑坡、崩塌造成的经济损失高达30亿~50亿美元。20世纪80年代以来我国大规模的滑坡活动又进入了一个新的活跃期,相继发生10余起直接经济损失超过100万元的灾难性崩滑事件。

在铁路公路修建中,边坡工程施工、路堑开挖和填方加载往往会引起滑坡。我国不少铁路线上就有滑坡分布,如宝成、成昆、川黔、湘黔线上滑坡时有发生。以宝成线为例,该铁路在秦岭山区及嘉陵江河谷来回绕道通过 10 多座桥梁就是为了避开大型滑坡地段,以保证铁路运输安全。尽管如此,现在该路段发生大小滑坡几十处,这足以说明随着时间的推移与地质环境的变迁,并不能防止新的滑坡产生。又如成昆路全长 1 130 km 就有 400 多 km 泥石流和滑坡的多发地带,在雨季由于泥石流和滑坡的产生,经常影响铁路运输的正常运行。在公路建设上,地处台州的黄土岭地段,是滑坡的多发地带。1994 年夏修建宁(波)台(州)温(州)高速公路,刚好经过该地段。某日夜间在黄土岭隧道南侧发生滑坡,推倒房屋数间,死伤多人,并于 K10+530 处亦发生了滑坡。究其原因除自然因素外,还有诸多人为的因素,在坡脚开挖是导致该滑坡的主要原因。2001 年 6 月彭水山体滑坡 319 国道阻断,灾害发生在 319 国道 2 149 km 加 700 m 处。滑坡大约持续 2 min,泥土全堆在公路上,堆积长 120 m,高 60 m,估计总体积 10 万多  $\text{m}^3$ ,中断交通近 1 个月。

在航运方面,1982 年 7 月 18 日凌晨 2 时,四川云阳城东长江北岸发生巨大滑坡,滑体达 1 500 万  $\text{m}^3$ ,约有 20 万  $\text{m}^3$  土石被排入长江河道,造成江心填高 30 m,使流态更加紊乱,形成了锁固航道的急流险滩——鸡扒子险滩,给长江的航运事业带来了极大的障碍,以致当时通航困难,造成了巨大的经济损失。1985 年 6 月 12 日长江新滩北岸变形体发生巨型滑坡,滑坡总方量约 3 000 万  $\text{m}^3$ ,将新滩镇推毁,滑坡前缘深入长江近百米,对岸涌浪高达 36 m,导致长江水倒流至秭归以上,下及九鱼湾与三斗坪,翻没各类船只,迫使长江一度封航。1994 年 4 月 30 日,重庆武隆县兴须乡鸡冠岭(海拔 1 100 m)发生特大岩崩,400 余万  $\text{m}^3$  巨石、乱石崩滑落入乌江,在上下边滩约 800 m 江段形成了上下水位差达 9 m 的“拦河坝”,造成乌江断航半年。目前我国正在兴建世界上最大的水电站——长江三峡工程,由于库区支流航道较多,再加上地质条件复杂,岸坡地质灾害发育,三峡库区有影响的滑坡达数百个。当 2003 年库区水位上升至 135 m 以前,就有 197 处地质灾害治理必须完成。当 2010 年三峡库区蓄水后原有边坡和岸坡的稳定性会发生变化,加剧了地质灾害的发展并诱发新的地质灾害。在航道两岸一旦发生地质灾害,后果极其严重。

在水利水电方面,我国正在实施大江大河的水利水电的开发工程。滑坡及边坡的稳定问题不仅对场地选择、工程布置和施工有极大的影响,而且对工程效益的正常发挥起着重要的控制作用,其处理费用也十分巨大。例如,龙羊峡水电站的虎山滑坡,治理费用达 3 亿元;漫湾水电站左岸滑坡治理费用近亿元。李家峡水电站 1、2 号滑坡、天生桥二级厂房区滑坡、二滩水电站金龙山滑坡,均具有一定的代表性。在水利水电工程中,水库蓄水过程中和蓄水后涉及的滑坡会更多,如清江隔河岩水电站库区蓄水后,可能受影响的大型滑坡达 13 个之多。

在露天采矿工程中,大冶铁矿自1967年以来发生了25次规模不等的滑坡,给矿业生产带来很大危害。其中最严重的一次是1973年1月6日狮子山北帮西口,上从156 m下至84 m水平共6个台阶长117 m,高72 m的大滑坡。滑坡量 $36\,460\text{ m}^3$ ,影响了72,60,48水平正常推进达1年半之久。影响新水平的开拓,滑坡后清方处理达2年之久,清方量 $59\text{万 m}^3$ 。

综上所述,滑坡不但分布广泛,具有全球性,而且危害巨大,往往摧毁建筑物,毁坏良田,中断交通,堵塞江河,造成人员伤亡,给工程建设和人民生命财产带来巨大的威胁。

### 1.1.3 充分注意自然环境与气候变迁确保边坡稳定,防止地质灾害发生

边坡岩体的滑落与崩塌是在重力作用下发生的,它的形成既取决于一定的地质、地貌条件外,还与气候因素密切相关。如1981年7—9月四川省连续遭受特大暴雨袭击,据统计当时有90多个县发生了约6万处规模不等的滑坡,500多处沟谷爆发泥石流,30多万人受灾,灾情严重,涉及范围之广,为百年罕见。重庆地区,没有火山活动,发生强烈地震的可能性也极低,但重庆市区是两江(长江、嘉陵江)汇合处,山高坡陡,岩石裸露,容易发生滑坡、崩塌。渝中区三面临江,呈半岛状,房屋、道路依山修建,高低错落,人口稠密,是显著的山城。由于地质地貌严重地影响城市改造,据不完全统计,从1985—2000年底,全市累计发生地质灾害3.3万余处,总体积超过 $50\text{亿 m}^3$ 。其中具有一定规模且危害程度较大的地质灾害就有2443处。每到雨季的汛期,滑坡、危岩崩塌、泥石流会频频产生,仅2000年就发生了不同程度的滑坡6371处,受灾19.33万人,倒塌房屋8.68万间,直接经济损失7.67亿元。近年来,由于城市建设规模的迅速发展,滑坡失稳事件的发生也有增加的趋势。因此,自然环境与气候对边坡的稳定性影响决不能忽视。另外,人类从事各类岩体工程的活动,对自然界起着越来越重要的作用,这种作用改变了岩土、岩体的地质环境,促使部分地质灾害的形成。

因此,在边坡维护工作上要注意自然环境与气候变迁对边坡稳定性的影响。

### 1.1.4 边坡维护工作的重要性

边坡是一个地质体,在其形成初期即便是稳定的边坡,随着时间的推移,岩体在各种地质营力作用下,它的外形和内在水文地质特性都会不断发生变化,因此,其稳定性也会逐渐改变。如果日常不采取维护措施,也可能失稳形成危坡。尤其



是各类岩土工程的兴建,大规模地改造了自然条件,边坡的外形变化和内在水文地质条件与岩土体力学特性的改变,使边坡的变形会更加明显和迅速。边坡在变形发展过程中,可能发生不同程度或急或缓的变形,从而改变了它的稳定程度。因此,必须对边坡岩体地质及水文地质条件变化引起的边坡变形进行稳定性分析,对有可能产生破坏的边坡应及时采取防治措施。为了使边坡岩体处于稳定状态,应对边坡的变形破坏进行预报,以防不测。

边坡稳定性是边坡工程的主要研究目的之一。使建筑在边坡上的各类岩体工程保持稳定,人们才能正常生活和安全生产,从而促进国民经济的发展。要使边坡处于稳定状态,从力学角度上看,应保持岩体内部结构力的平衡;从岩体形态上看,应使边坡岩体不发生变形、破坏和位移,不使岩体失稳而滑动、崩塌。一切边坡工程都应为未变形边坡,或虽有变形但不危及工程安全,仍然处于稳定状态的边坡。但是,边坡岩体在内、外地质力作用下,始终处于发展变化的过程中,因此,在研究边坡稳定与边坡工程实践中必须注意这一特点。

## 1.2 边坡分类

边坡是坡面、坡顶及其下部一定深度坡体的总称。边坡的临空斜面称为坡面,坡面与坡顶面的转折部分称为坡肩,边坡的最下部与平地相接部位称为坡脚,坡面与理想水平面交线称为边坡走向线,坡面与理想水平面的最大夹角称为坡角,坡顶面与坡面下部至坡脚范围内的岩(土)体称为坡体。

关于边坡的分类,各部门由于依据的分类原则和分类标准的不同,以及分类目的的差异,在国内至今还没有一个公认的统一分类方法,一般情况下有以下几种分类方式:

### 1.2.1 按岩性不同分类

根据岩性不同,边坡可分为岩质边坡和土质边坡。

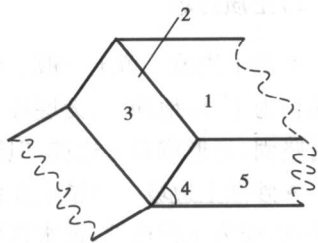


图 1.1 边坡的组成

1—坡顶面;2—坡肩;3—坡面;  
4—坡角;5—坡体