

The Nonlinear Theories of Slope Analysis
and Application

边坡工程 非线性分析理论及应用

黄志全 著



黄河水利出版社

边坡工程非线性分析 理论及应用

黄志全 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书系统地研究了工程岩体力学参数、边坡演化机制及滑坡预测预报等领域的非线性分析理论,对岩体力学参数的优化理论、边坡演化的非线性机制、边坡的分岔过程、混沌特征及滑坡预测预报方法等进行了较为全面的分析,为边坡领域的研究做出了初步的尝试和探索。

本书可作为岩土工程专业研究生的学习参考书,也可供相关领域的科研人员、工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

边坡工程非线性分析理论及应用/黄志全著. — 郑州:
黄河水利出版社, 2005. 6

ISBN 7-80621-910-2

I. 边… II. 黄… III. 边坡稳定性—非线性—分析
(力学) IV. TU457

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 033025 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:10

字数:231 千字

印数:1—1 000

版次:2005 年 6 月第 1 版

印次:2005 年 6 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-910-2/TU·55

定价:26.00 元

序

黄志全博士的这部专著《边坡工程非线性分析理论及应用》是值得向广大从事边坡工程科研、设计和教学工作者推荐的一部好书。

众所周知,边坡工程是岩土工程中的一类重大工程,处理得好,它可以为人类造福,处理得不好,它也可以给人类造成巨大灾难。因此,长期以来,人们对有关边坡的设计理论及其失稳的预测、预报方法等做了不懈的探讨,取得了很大成绩,避免了很多事故。但因边坡工程内在的复杂性,至今仍有不少问题需要继续深入研究解决,黄志全博士在这部专著中做了不少这方面值得赞赏的工作,其中主要有:

第一部分值得赞赏的工作是,其对岩体的力学参数和变形参数如何进行合理的选取,做了大量的分析评价,最后得出岩体力学参数是一种随机-模糊变量,有必要采用与之相应的随机-模糊变量处理方法来确定它的数值。作者给出了具体的确定方法,并编制了计算程序,通过实际工程对比计算,表明了这种方法与传统的几种方法相比所具有的合理性。

第二部分值得赞赏的工作是,提出岩土工程本身是一个高度非线性系统,非线性及其不确定性是其根本属性。有必要采用系统科学方法,采用非线性理论,如分形理论、混沌理论、突变理论、耗散结构论、协同论等来解决边坡等岩土工程问题的稳定性以及失稳的预测预报等问题。作者在这方面作了大量的理论推导,给出了滑坡失稳的预测预报方法步骤,进行了工程实例分析,表明了方法的可行性。

上述两方面的工作都具有探索性和创新性,因而在某些方面也可能还存在不完善、不成熟之处,但与传统的方法相比在理论上有很多先进之处。我相信,随着本书所讲方法在工程实践中的不断应用,及在黄志全博士的继续努力下、在广大同行的关注下,边坡工程一定会进一步完善成熟起来,在岩土工程设计、科研和教学工作中发挥出应有的作用。

顾金才

2005年5月

前 言

在人类社会经济发展过程中,工程活动越来越多地涉及边坡工程问题。国内外无数工程地质工作者经过一百多年的对边坡广泛而深入的研究,已形成了针对边坡工程的一套理论体系及工作方法,为人类工程建设活动奠定了理论及实践基础。长期以来,边坡工程一直是人们研究的重点课题之一。特别是在现代工程建设中,边坡工程中普遍出现了高陡边坡稳定性及大型灾害性滑坡预测等问题,为此,广大工程地质和岩石力学工作者对此问题进行了长期不懈的探索研究,取得了很大的进展,为人类工程建设作出了重大贡献。

然而,由于工程地质体具有高度的复杂性,加上人类认识能力有限,使得对此领域的研究难度增加。由于岩土体构成的系统是一个高度的非线性系统,非线性、不稳定性是其根本属性,确定性只是其特性的一个方面,而不确定性是绝对的,要查明岩土体变形破坏机制及其演化规律,不能仅仅依靠经典的理论与方法,还需要引入 20 世纪 70 年代发展起来的现代非线性科学理论,借助于该领域的理论与方法,认识边坡系统的非线性本质,对滑坡灾害进行预测预报。

在本书中,作者试图有针对性地对岩体力学参数的合理取值理论、边坡演化的非线性机制及滑坡预测预报进行探索性研究,以期把非线性理论应用于边坡工程之中,并建立起该领域的基本工作方法。

全书主要分两篇共计 10 章。第一篇在综合分析已有的研究成果的基础上,论述了岩体力学参数,特别是抗剪参数(c 、 φ 值)的不确定性,并采用相关理论建立了反映力学参数的不确定性的优化选取及可靠性检验理论,并把该理论与方法运用到宝泉抽水蓄能电站、溪洛渡水电站等大型工程的设计之中。第二篇系统地归纳总结了研究边坡工程非线性特征的系统范式原则,把非线性理论系统地引入边坡工程领域,初步建立了系列边坡工程非线性分析理论,并以实例对理论方法进行了分析检验。

本书是作者近年来在边坡工程领域的部分研究成果。由于专业领域、知识范围等的限制,作者深知自己在数学、力学、物理学等方面的知识还有欠缺,不能深入、系统地非线性理论在地质工程中的运用进行全面研究,需要在以后的学术生涯中进一步加强研究。本书在一些方面或许存在不当或错误之处,敬请同行学者批评指正。

本书为 2005 年度河南省高校杰出科研人才创新工程项目(HAIPURT)

“边坡演化的非线性机制及滑坡预报理论研究”(2005KYCX015),2005年度河南省高等学校创新人才培养工程及河南省重点科技攻关项目资助。在撰写本书的过程中,得到王思敬院士、李华晔教授、戴福初研究员、漆家福教授、刘汉东教授、姜彤博士等的大力支持与指正,并得到了华北水利水电学院岩土工程系全体教师和同事的关心和帮助,在此深表谢意!书中引用了国内外许多学者、专家的有关研究成果,在此一并致谢!

作 者

2005年2月

目 录

序	顾全才
前 言	
绪 论	(1)
第一篇 岩体力学参数选取理论	
第 1 章 岩体力学参数研究概述	(7)
1.1 岩体力学参数研究的意义	(7)
1.2 影响岩体力学性质的因素	(9)
1.3 岩体抗剪强度研究现状	(11)
1.4 岩体变形参数选取研究现状	(15)
第 2 章 岩体抗剪强度取值理论研究	(17)
2.1 抗剪参数选取的传统方法	(17)
2.2 岩体力学参数的随机-模糊分析研究	(20)
2.3 岩体抗剪参数选取方法研究	(24)
第 3 章 岩体力学参数的置信度研究	(29)
3.1 概 述	(29)
3.2 岩体力学参数的分布	(29)
3.3 岩体力学参数概率分布模型研究	(30)
3.4 岩体变形参数置信度研究	(33)
第 4 章 宝泉抽水蓄能电站岩体力学参数取值研究	(35)
4.1 工程概况	(35)
4.2 工程地质条件	(35)
4.3 室内试验	(39)
4.4 岩体力学参数的确定	(39)
4.5 岩体变形参数的分析研究	(45)
第 5 章 溪洛渡水电站岩体力学参数取值研究	(56)
5.1 工程概况	(56)
5.2 坝区地层岩性结构	(57)
5.3 坝区岩体质量分级概述	(58)
5.4 岩体变形参数取值研究	(62)
5.5 岩体抗剪强度取值研究	(64)
参考文献	(70)

第二篇 边坡演化的分析理论

第 6 章 边坡稳定性研究现状	(75)
6.1 边坡稳定性分析及滑坡预测预报	(75)
6.2 非线性理论在边坡工程中的应用	(83)
6.3 存在的问题	(90)
参考文献	(92)
第 7 章 边坡演化的非线性机制	(96)
7.1 边坡系统演化的系统范式原则	(96)
7.2 边坡系统的开放度及其演化过程研究	(101)
7.3 边坡演化的分岔模型研究	(105)
7.4 小 结	(115)
参考文献	(115)
第 8 章 边坡演化混沌特征研究	(117)
8.1 边坡演化的混沌性质	(117)
8.2 边坡系统的混沌特征判据	(121)
8.3 边坡混沌态的奇怪吸引子特征	(122)
8.4 小 结	(124)
参考文献	(124)
第 9 章 滑坡预测预报研究	(126)
9.1 滑坡预测预报新途径	(126)
9.2 滑坡预报的非线性时间序列预测方法	(127)
9.3 边坡失稳时间的协同 - 分岔模型	(130)
9.4 边坡稳定性预测的混沌神经网络方法	(132)
参考文献	(135)
第 10 章 实例研究	(137)
10.1 新滩滑坡的非线性机制研究	(137)
10.2 意大利 Vajont 滑坡非线性分析	(144)
10.3 黄茨滑坡混沌特征	(147)
10.4 混沌神经网络方法的应用	(149)
参考文献	(152)

绪 论

边坡包括自然边坡和人工边坡,是岩石圈表面的天然地质和工程地质的作用范围内具有露天侧向临空面的地质体,是广泛分布于地表的一种地貌形态。边坡是人类生活和工程活动中最普遍也是极为重要的地质环境,与人类的各项活动密切相关。在人类发展演化过程中,无时不与边坡相互冲突、相互协调,进而达到相互共存。特别是近几十年来,人们已充分认识到:边坡作为一种人类不可回避的地质环境,总是伴随着人类的工程活动,一方面人类力图对边坡进行改造、加固,使之服务于人类;另一方面,边坡在受到人类的工程活动及外界环境影响时,坡体发生破坏,给人类的安全及建设带来灾害。因此,一百多年来,人们对边坡变形过程、失稳形式、失稳机制、稳定性评价及滑坡预测预报等进行了广泛而深入的研究,借助数学、力学及计算机科学的理论与方法,试图对边坡的演化及滑坡预测预报进行研究,并应用到人类工程活动的实践中去。经过国内外无数工程地质工作者的努力,已形成了边坡工程的一套理论体系及工作方法,为人类工程建设活动奠定了理论及实践基础。

随着社会进步及经济发展,人类工程活动中越来越多地涉及边坡工程问题,通过长期的工程实践,工程地质工作者已对边坡工程形成了比较完善的理论体系,并对人类工程活动进行有效的指导。近年来,随着环境保护意识的增强及“国际减轻自然灾害十年”活动的开展,人类已认识到:边坡的演化不仅仅是其本身的自然发展,也是与人类活动密切相关的。人类在进行生产建设的同时,必须顾及边坡的环境效应,并且把人类的发展置于环境之中,从而相继开展了工程活动与地质环境相互作用的研究。在这些领域中,边坡工程作为地质工程的分支之一,一直是人们研究的重点课题之一。

在水电、交通、采矿等诸多的领域,边坡工程都是整体工程不可分割的部分,为保证工程运行安全及节约经费,广大学者对边坡的演化规律、边坡稳定性及滑坡预测预报等进行了广泛研究。然而,随着人类工程活动规模的扩大及经济建设的急速发展,边坡工程中普遍出现了高陡边坡稳定性及大型灾害性滑坡预测问题。在我国,目前露天采矿的人工边坡已高达 300~500m,而水电工程中遇到的天然边坡高度已达 500~1 000m。其中,涉及的工程地质问题极为复杂,特别是在西南山区,边坡的变形、破坏极为普遍,滑坡灾害已成为一种常见的威胁人民生命财产安全及工程正常运营的地质灾害。例如,1893 年在印度的 Garhwal 发生了大规模的的滑坡,滑坡体形成了一个长 3km、宽 1.5km、高 295m 的天然大坝,一年后,水越坝而下,冲毁了洪水流经的所有村庄和城市。因此,广大工程地质和岩体力学工作者对此问题进行了长期不懈的探索研究,取得了很大的进展:从初期的工程地质类比法、历史成因分析方法等定性研究发展到极限平衡法、数值分析法等定量分析方法,进而发展到系统分析法、可靠度方法、灰色系统方法等不确定性方法,同时辅以物理模拟方法,并且诞生了工程地质力学理论、岩(土)体结构控制论等,这些无疑为边坡工程及滑坡预报研究奠定了坚实的基础,为人类工程建设作出了重大贡献。

然而,由于工程地质体是由岩土体组成的,岩土体赋存于一定的地质环境之中,在其形成、变形及破坏的过程中,经历了一定的历史地质作用,从而形成了自身的几何特性及物理力学特性,并且具有一定的物质组成、一定的结构和构造,并继续在特定的地质环境中遭受质的变形、破坏,从而使岩土体具有高度的复杂性,加上人类认识能力有限,使得对此领域的研究难度增加。虽然,人们在工程建设实践中,广泛借助数学、物理及力学的理论与方法对其物理力学及工程特性进行研究,也取得了一定的进展。然而,在实际应用中,人们只注重对岩土体确定性性质的研究,认为岩土体是具有某种平均性质的材料,其力学行为是静态的,各个因素是不变的。因而从确定性研究入手,陷入了以牛顿经典力学为基础的机械论中。随着人类工程活动的深入和扩展、地质灾害的频频发生,人们清醒地认识到传统的研究方法已难以适应岩土体的复杂行为。究其原因,就是岩土体构成的系统是一个高度的非线性系统,非线性、不稳定性是其根本属性,确定性只是其特性的一个方面,是相对的,而不确定性是绝对的,在此系统中静态与动态共存,开放性、不平衡性是其性质。这种特征成为工程地质量化的障碍,从而边坡工程的研究与应用面临挑战。要查明岩土体变形破坏机制及其演化规律,不能仅仅依靠经典的理论与方法,还需要引入现代非线性科学理论,从而使该领域的研究得以发展,成为既反映岩土体实际特征又便于工程应用的学科。

20 世纪 70 年代以来,非线性科学发展起来,建立了耗散结构论、突变理论、协同论、混沌理论、分形理论等非线性理论,各种理论从各自不同的方面对事物的非线性本质作出解释,且在地球科学中得以广泛应用,并形成了非线性研究的热点。同样,非线性理论的应用也为边坡工程的研究提供了理论和方法,从而可借助于该领域的理论与方法,认识边坡系统的非线性本质,如变形破坏机制、演化规律,进而对滑坡进行预测预报。

因此,如何借助于非线性理论对边坡系统进行深入研究,已是当前亟待解决的问题。运用非线性理论对边坡演化规律进行描述,对其稳定性进行评价,建立起适应边坡工程特点、反映出岩土体非线性本质及其不可逆过程的理论与方法,是工程地质学科发展的趋向,也是生产实践的需要。

该书系统地总结了当前边坡工程中岩体力学参数取值理论、滑坡预测预报研究的理论及方法,并试图从以下几个方面有针对性地对岩体力学参数的合理取值理论、边坡演化的非线性机制及滑坡预测预报进行探索性研究,以期把非线性理论应用于边坡工程之中,并建立起该领域的基本工作方法。

(1)边坡工程中,岩土体力学参数的选取是一个至关重要的问题,关系到工程建设的安全效益,更是理论研究的难点之一。传统的方法仅考虑确定性一面,而忽视了不确定性一面。本书的第一部分首先就岩土体力学参数的不确定性来源进行分析,进而提出确定参数的随机-模糊可靠度方法;然后与其他取值方法进行对比,并应用到实际工程建设中。

(2)研究了边坡演化的非线性过程及其破坏机制。本书把边坡系统作为一个非线性复杂系统,提出了其演化发展的基本原理,应用分岔理论解释了边坡演化的非线性过程,从全新的角度为人们更好地理解边坡演化提供了新思路。

(3)运用混沌动力学理论,揭示了边坡演化的动力学机制。边坡演化进入混沌状态

后,其复杂程度及混沌程度可用 Lyapunov 指数判定,可用混沌吸引子来描述其终极状态。

(4)滑坡预测预报是滑坡学研究的难点,在上述理论的基础之上,提出了滑坡预报的非线性时间序列预测方法,建立了滑坡的协同-分岔模型,并运用混沌神经网络方法对边坡的稳定性进行评价,以期解决该领域研究中的难题,至少为此项研究提供新思路。

(5)通过实例验证以上理论及方法的正确性,并提出存在的问题。

本书的研究内容及思路如图 0-1 所示。

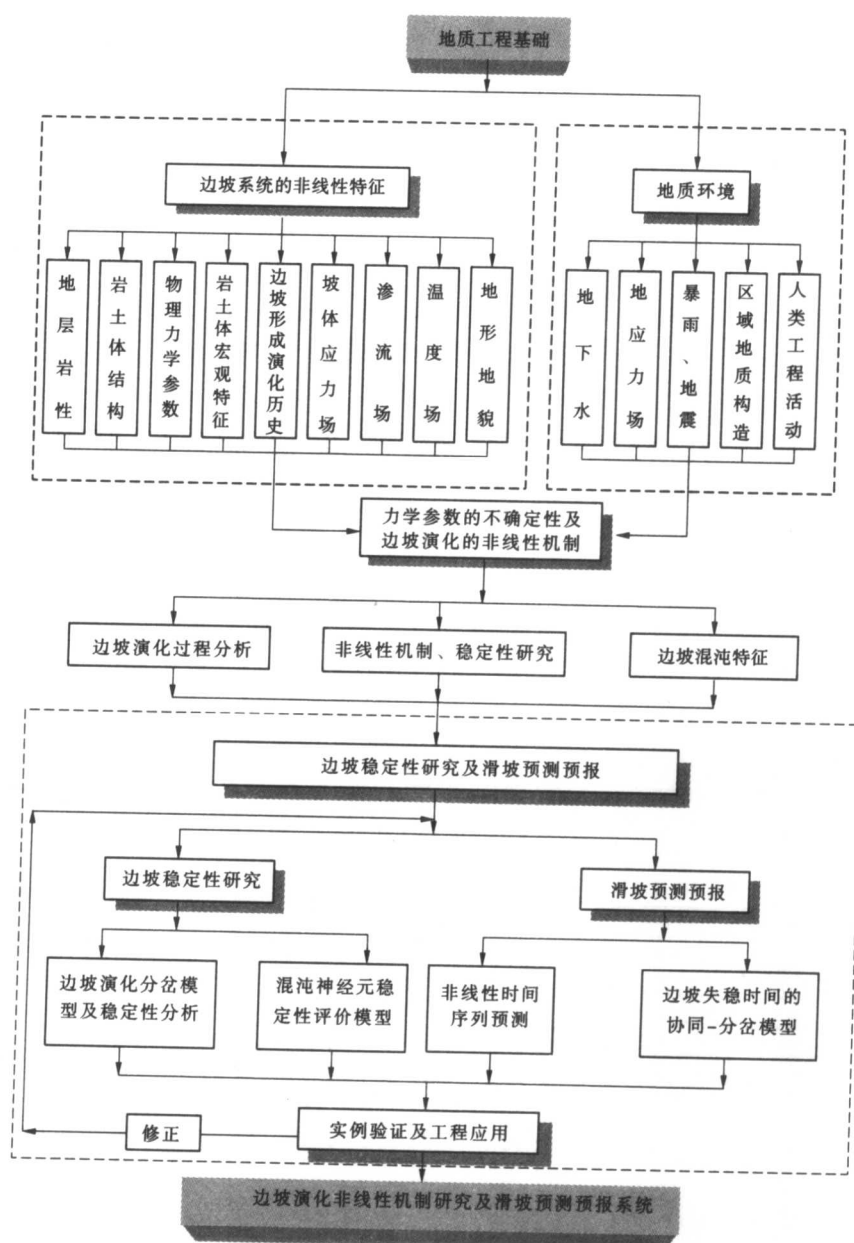


图 0-1 研究思路及技术路线

第一篇

岩体力学参数选取理论

第 1 章 岩体力学参数研究概述

1.1 岩体力学参数研究的意义

随着现代科学技术的发展,生产力水平不断提高,水坝建设、矿山开发、道路桥梁等工程的规模也在扩大,这些工程中的一个共性问题就是如何使边坡保持稳定且投资少,要做到这一点极为不易,其原因是影响边坡稳定的因素很多,但其中最主要的是岩体抗剪强度参数 c 、 φ 值。即其关键性的一步是建筑物设计力学参数选取合理,参数值的高低会影响到建筑物建造尺寸,当然也就涉及工程投资。如果所选参数值可靠度较低,往往会导致建筑物结构破坏,甚至有灾难性事故发生。根据世界各国调查和统计,在重力坝事故中有 45% 是由地质问题没有查清、岩体力学参数选取不合理造成的。如法国马尔帕塞拱坝高 66m,1959 年溃坝,死亡近 500 人,究其原因地质条件没查清、岩体力学参数选取过高;美国 1918~1958 年有 33 座坝失事,其中约 2/3 是地质问题不明、力学参数选取不合理造成的;圣·佛兰西斯坝的破坏是由于坝基岩石性质没有查清或未进行试验,由此所选用的力学参数的合理性当然无从谈起。

我国水电建设中事故较少,原因在于对地质问题和试验问题的重视。如刘家峡、新安江、盐锅峡工程对在勘察中发现的不良地质现象在施工中进行了处理,再如上犹江、桓仁、安康工程对坝基软弱夹层进行了大量现场和室内试验, c 、 f ($f = \tan\varphi$) 值选取合理,才使这些工程得以安全运行。反之,为了保证建筑物有较高的安全度把参数选得过低,必然导致工程投资不必要的增加,这样做也是不可取的。由此可知,岩体力学参数在工程建设中所起的作用极为重要,直接影响到工程造价和安全。

中国可开发水能总装机 3.78 亿 kW,目前已开发 10% 左右,尚有 90% 待开发。20 世纪末,我国已建成大型水电站 25 座,中型水电站 90 余座,小型水电站 7 万座。这些电站主体建筑物有大坝、厂房和洞室,它们的安全性与可靠性往往不是建筑物本身,而是与上部建筑物相关联的岩基的力学性质。在一般的情况下,为了搞清一个电站的岩基力学特性往往进行现场试验和室内试验工作,以获取进行岩基评价的力学参数。但众所周知,岩体是地质历史的产物,它的力学特性往往与环境因素和地质作用有关,即使做了大量试验,仅靠经验或简单的计算,也不一定会得到能表征岩基力学特性的参数值。所以,如何取得有代表性的力学参数一直是岩体力学研究中一个重要课题。如果把参数选得偏于保守,也就是认为岩体的力学特性较差,处理岩体的费用就会增加,工程期限加长;反之,把岩体力学参数选得过高,岩体加固造价下降了,工期也会缩减,但工程风险性增大,一旦发生事故,将是灾难性的。

国际上大坝失事 40% 是由于岩基力学参数选取不合理造成的。D.H.Stadledon 对 1900~1965 年世界上 9 000 座大坝进行了统计,破坏的占 1%,严重破坏的占 2%,其原因 50% 是由于岩基力学参数选取不当、支护措施不利造成的。如法国的布泽(Bouzey)坝、美

国的奥斯汀(Austin)坝、圣·佛朗西斯(st. Francis)坝、意大利的格莱若(Gleno)坝、中国的石漫滩、板桥大坝都是因力学参数选取不合理或支护不利造成灾难性的事故^[1~8]。

地下洞室和边坡方面因岩体力学参数选取不当或支护措施不利引发的灾害也屡见不鲜,在此不再作更多的引证。

为什么所选岩基力学参数不能很好地表征岩体的力学特征?是试验方法不当,还是仪器精度不高或者试验数据不多、代表性不强引起的?在一般情况下,这些不是主要原因,主要是选取力学参数的方法存在局限性,如用算术平均法或工程类比法确定岩体变形参数,或用图解的方法确定岩体抗剪强度参数,都显得十分粗糙。用什么方法确定的力学参数更能表征现场岩体的力学特征,这一直是岩石力学家面临的尚未解决的课题,我们觉得用一种方法选取的参数必然带有局限性,用多种方法进行选取然后再作综合分析,最终结合水工、地质、试验情况加以确定或许更为现实。本篇的研究重点也在于此。

人工高边坡及一些天然大型边坡变形破坏对经济建设和工程所造成的危害,促使工程地质和岩石力学工作者对这一问题不断进行探索研究。1963年,意大利 Vajont 水库库岸突然滑坡,洪水冲毁 Longaranc 市和 5 个村镇,约 2 000 人^[9,10]死亡。1951~1952 年冬天,洛杉矶滑坡造成了 750 万美元的损失^[4,9]。欧洲的捷克、挪威、瑞典及英国等国家边坡失稳也较多,仅捷克 1961~1963 年曾登记的滑坡超过 9 000 处^[9]。在中国、印度、日本等国家边坡失事也很多,日本为防治边坡失稳的费用 1952 年为 6.12 亿日元,到 1972 年上升为 103.12 亿日元^[11];中国的边坡失稳不论在水利上还是在铁路等其他部门均是一个严重的问题^[3]。所有这些例子都说明,边坡稳定性问题一直是困扰工程界的难题,人们对它的研究也由来已久。

早在 20 世纪 50 年代,苏联地质工作者就采用地质历史分析法对其进行研究^[2];到 60 年代,国内外工程地质学家已认识到边坡为一个时效变形体,边坡稳定性研究也因而进入了模式机制研究新阶段^[5~7];到 80 年代,由于计算理论日趋完善及计算机的广泛运用,边坡稳定性研究进入了数值模拟新阶段,从而可模拟边坡变形破坏的发展过程和内部机制,从整体角度研究该问题。近年来,岩质边坡稳定性研究已取得长足进展,大量的工程地质、岩体力学、矿山工程学及数学力学等专业人员献身于这一研究领域,在理论和实践方面取得了很多成果^[7]。

鉴于当今边坡稳定性研究的深度和广度,为提高工程利用率,降低工程造价,以尽可能地发挥工程效益,广大学者开始了更深层的研究——边坡优化设计,其主要思想为:在保证边坡稳定安全的前提下,尽可能地对边坡进行优化设计,以降低工程造价。对岩质边坡优化设计而言,其主要思路是:①合理选取岩体有关力学参数;②确定边坡最优滑移面;③合理设计边坡处理方案^[12]。其中最关键的问题就是岩体变形参数及抗剪强度的合理选取,它是直接关系到工程稳定、工程造价及建设周期的重要因素。而这个问题到目前尚未得到很好的解决,力学参数的选取仍处于经验、半经验阶段,因此为了从理论上对此问题加以研究,作者研究了岩体抗剪强度指标及变形参数选取的理论与方法。此部分总结了前人关于岩体有关力学参数的选取方法,提出了解决这一问题的新理论;分析研究了岩体力学参数的随机不确定性及模糊不确定性;把岩体力学参数作为随机-模糊变量,推导了岩体抗剪强度参数的理论公式;并仿照随机理论的概念,导出

了抗剪参数的数学特征(均值、方差、协方差、相关系数等)随机-模糊计算公式;同时,运用运筹学及信息论原理,推导了岩体变形参数的概率分布形式,在此基础上对参数的置信度进行了研究,从而从理论上对岩体有关力学参数进行了探讨,根据岩体特性的空间变异性,提出了一套确定岩体抗剪强度及变形参数的方法,从理论上对这一问题进行探讨。

1.2 影响岩体力学性质的因素

影响岩体力学性质的因素可分为客观和主观两个方面。测试设备和操作技术为主观方面,客观方面主要是岩石矿物成分、岩体结构与构造、地应力和时间效应,以下只对客观上存在的因素加以讨论。

1.2.1 矿物和胶结物

在一般情况下,岩浆岩矿物强度高,沉积岩矿物强度较低,变质岩介于两者之间。

胶结物可分结晶联结和胶结联结,结晶联结具有弹性变形和脆性破坏的特征,胶结联结具有塑性变形和塑性破坏特征,显然后者在外荷载作用下更容易受到破坏。

1.2.2 岩体结构与构造

无论是原生结构或是次生结构都使岩石连续性受到破坏,或者使岩体具有横观各向同性或各向异性的特征,这样岩体力学特性带有方向性,结构面越发育,胶结程度越差,岩体的强度降低越多,因此研究结构发育密度、宽度、延伸长度、起伏差大小、发育规律等情况对岩体强度的研究是十分重要的。

1.2.3 地应力问题

由于地壳在不停地缓慢运动,地壳深处的岩体处于三向应力状态(包括自重应力引起的侧向应力),岩体受到侧限压力作用。对一般岩石来说侧限压力(σ_3)与轴向压力(σ_1)关系曲线为线性,两者之间的关系式为:

$$\sigma_1 = \sigma_c + m\sigma_3 \quad (1-1)$$

式中: σ_c 为岩石单轴抗压强度; m 为常数。

1.2.4 水对岩石强度的影响

按周瑞光 1984 年对粘土岩所做的试验成果看,水对岩石抗压强度、弹性模量、泊松比(μ)影响都十分明显(图 1-1、表 1-1)。

1.2.5 岩石变形的时间效应

对于软岩和软弱结构面岩石,力学特性时间效应非常明显,主要表现为蠕变、应力松弛、流动。对于长期强度问题,在不同受力条件下,各类岩石表现的时间效应不同,在一般情况下有: