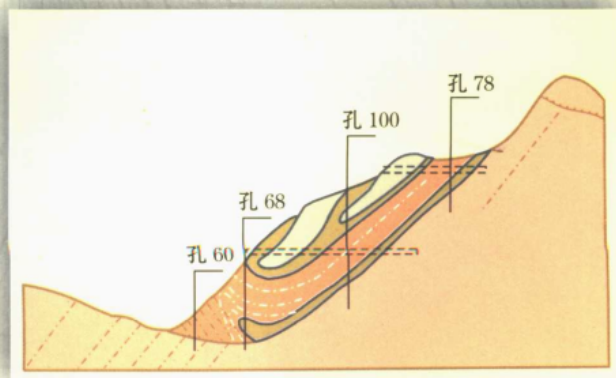


边坡地质工程

理论与实践

赵其华 王兰生 著

THEORY AND PRACTICE OF SLOPE GEOENGINEERING



四川大学出版社



边坡地质工程理论与实践

Theory and practice of slope geoengineering

赵其华、王兰生著

四川大学出版社

2000.12

责任编辑:李 胜

责任校对:贾朝辉

封面设计:罗 光

责任印制:曹 琳

图书在版编目(CIP)数据

边坡地质工程理论与实践/赵其华,王兰生著. —成都:四川大学出版社,2000.12

ISBN 7-5614-2054-4

I. 边... II. ①赵...②王... III. 边坡稳定性-工程地质 IV. P642.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 83339 号

书名 边坡地质工程理论与实践

作 者 赵其华 王兰生 著

出 版 四川大学出版社

地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)

印 刷 西南冶金地质印刷厂

发 行 四川大学出版社

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 9.125

字 数 216 千字

版 次 2000 年 12 月第 1 版

印 次 2001 年 2 月第 1 次印刷

印 数 001~200 册

定 价 20.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科

联系。电话:5412526/5414115/

5412212 邮编:610064

◆本社图书如有印装质量问题,请

寄回印刷厂调换。

版权所有◆侵权必究

前言

20 世纪 80 年代以来,人口、资源、环境与经济可持续发展的相互关系研究,已成为世界各国政府及民众高度重视并积极倡导的课题。保护环境的一个重要方面就是保护地质环境,减轻地质灾害,树立减灾就是增效的意识。随着人类工程规模和空间的拓展,人类工程对地质环境的破坏是这样的巨大和快速,远远超出自然地质作用的改造。同样,地质环境对人类的作用也变得空前的壮大。据不完全统计,许多重大工程失效的事故中,大约 70% 的事故原因与地质问题有关,由此日益显示出地质与工程的矛盾,并且这类矛盾也随着基础工程建设的发展不断加剧。于是,孙广忠教授(1984, 1993, 1997)提出了地质工程的概念,并在实践中逐步创立了地质工程的理论与方法(Goodman, 1976; 胡海涛, 1992; 罗国煜, 1992; 梁炯均, 1992; 殷跃平, 1995; 刘传正, 1996; 薛守义, 1999)。地质工程的概念正是为解决地质与工程的脱节,提高地质环境的保护意识而提出的。实践中,人们应用地质工程理论,成功地解决了一些大型工程问题。例如三峡链子崖危岩体整治工程就是应用地质工程思维成功实现的的样板。目前,地质工程已经由概念变成一种行业、一门学科。

地质工程在我国的出现只有十多年的历史。尽管人们在工程实践中自觉或不自觉地应用地质工程思维去规划并解决具体工程问题,但真正从理性上明确也还是近几年的事情。所以,人们对地质工程理论体系的阐述远远不够,即理论落后于工程的发展。针对地质体这样一种复杂的对象进行工程设计与施工,仅靠地质或工程经验是不够的,必须建立明确的理论观念。因为经验只能解决现象问题,而理论才能解决本质问题。面对地质灾害,尤其是边坡地质灾害日趋严重的今天,著者从大量科研实践和生产实践出发,提出边坡地质工程的概念,并初步提出并建立了边坡地质工程的理论与方法体系。

最早将边坡稳定性研究内容称作边坡工程的是英国伦敦皇家矿业学院的 E. Hoek 教授(1973)。在《岩石边坡工程》一书中, E. Hoek 教授讲述的仍然主要是岩石边坡变形破坏方式、稳定性计算方法等一般边坡稳定性分析的内容,对经济边坡与不稳定性边坡的决策和处理论述是不够的。国内边坡地质工程一词最早出现于孙广忠教授《工程地质与地质工程》一书中。该书在边坡地质工程一章中主要讲述了边坡地质工程的基本设计内容、一些典型滑坡实例、岩质边坡的变形破坏模式以及边坡的加固等,并着重谈到了将边坡地质体看作工程活动有机组成部分的重要性,但对边坡地质工程的概念、主要研究内容、研究方法等等没有建立系统的理论框架。

边坡地质工程属于地质工程的分支,是地质工程的重要组成部分。边坡地质工程的研究对象是边坡地质体及边坡地质环境。边坡地质工程是指以认识、评价、改造边坡地质体及边坡地质环境为主体的一类特殊工程。边坡地质工程将边坡稳定性分析、边坡稳定性设计(区别于以往的工程设计概念)、边坡地质体改造以及边坡地质工程管理等,均纳入人类相关工程的组成部分,并成为人类工程中不可缺少的重要内容。在此基础上,将以边坡工程地质基础、边坡稳定性设计、边坡地质体改造、边坡地质工程的管理为主要内容,以研究和解决与边坡地质体及边坡地质环境有关的工程问题的科学,称之为边坡地质工程学。

边坡地质工程学是传统的工程地质学与工程科学交叉渗透而形成的一门新兴的边缘学科,其具体研究方法包括地质历史分析法、试验与监测方法、模拟分析法、可靠性设计方法以及信息化控制等,而一般研究方法则是“五步系统研究方法”,即认识、归纳、模拟、决策和验证。

本书系统阐述了边坡地质工程的基本概念、主要研究内容和研究方法体系,并结合工程实践,从边坡地质体变形破坏分析出发,对滑坡、边坡变形体和人工边坡等不同类型的边坡,分别选取了典型工程实例,具体研究分析了边坡地质工程中的一些基本问题。全书共分六章。第一章在边坡科学研究历史及现状的基础上,归纳分析并提出了边坡地质工程的主要研究内容、研究方法体系,针对目前边坡地质工程领域存在的问题,从哲学的高度上进行了初步分析与探讨,阐述了边坡地质工程中的一些重大理论与实践问题以及本书的主要研究内容及研究技术路线。第二章重点研究了边坡岩体变形破坏与演化的一般特点,尤其是浅表生改造与边坡地质体的变形破坏规律与特点,填补了浅生时效构造理论在岩体稳定方面研究的空白,为完善地质工程理论奠定了基础。第三章探讨了滑坡预测新方法及其控制问题,介绍了用数值模拟分析开展边坡稳定性及其破坏方式的预测与控制的基本思路,并运用离散单元法成功预测了李家峡II号滑坡在电站蓄水及电站发电初期的变形破坏方式及滑速,有效提出并应用库水位调节等措施控制滑坡的变形破坏方式,确保了工程的顺利实施。第四章讨论了与地下开采有关的山体稳定问题的分析与改造问题,并以韩城电厂边坡治理工程为例,详细介绍了边坡地质工程中的分析与改造问题。第五章重点研究了深基坑边坡的施工监测与控制问题,以现场测试为基础,采用信息化控制理论,优化了工程设计,指导了工程的施工,并研究了深基坑土钉墙结构的作用受力过程、分布规律及土钉墙结构对不同地层的适宜性,讨论了施工监测成果的工程意义。最后一章是全书的总结。

本书是在第一著者博士学位论文基础上修改完成的,主要由两部分组成。第一部分重点讨论了边坡地质工程的形成、发展现状和存在的问题,其中边坡地质工程的主要研究内容及研究方法,是全书的理论基础(由第一章组成)。而第二部分则应用边坡地质工程理论和方法,结合具体边坡地质工程问题,以工程实践为基础,探讨或研究了边坡地质工程的核心问题——改造与控制问题,并对滑坡、边坡变形体、人工边坡等不同类型的边坡的认识、分析、决策与改造提出了具体的分析思路和方法。本部分是对第一部分的补充和应用(由第二、三、四、五章等四章组成)。

边坡地质工程学是一门新兴学科,它的形成、发展对人类工程经济活动的经济、安全、高效发展将做出巨大贡献。文献检索表明,本书首次系统地提出了边坡地质工程概念,建立了边坡地质工程的理论和方法体系。本项研究不仅是对正在成熟中的地质工程学的贡献,而且对人类工程活动也有着重大的理论意义和实践价值,必将在工程实践中得到进一步发扬和完善。

本书在编著过程中,得到了孙广忠、张倬元、聂德新、黄润秋、刘汉超、李天斌、董孝璧、尚岳全等教授的大力支持和帮助,同时还得到了工程地质研究所的同事们的关心和帮助,谨此一并表示深深的感谢。

著者

2000年11月28日

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 边坡科学研究概况	(2)
1.2.1 边坡稳定性研究的历史及现状	(2)
1.2.2 边坡地质工程的形成与发展	(3)
1.2.3 当前边坡科学研究中存在的问题	(4)
1.3 边坡地质工程学的主要内容	(5)
1.3.1 基本概念及研究意义	(5)
1.3.2 地质工程学的研究范畴	(6)
1.3.3 边坡地质工程学的主要研究内容	(7)
1.4 边坡地质工程学的研究思路与方法体系	(10)
1.4.1 边坡地质工程学的学科思路	(10)
1.4.2 边坡地质工程学的研究方法	(11)
1.4.3 边坡地质工程问题的哲学思考	(13)
1.5 主要研究内容及技术路线	(16)
1.5.1 主要边坡地质工程问题	(16)
1.5.2 本书主要研究内容	(18)
1.5.3 研究技术路线	(20)
第 2 章 边坡岩体变形破坏与演化分析	(23)
2.1 概述	(23)
2.2 雅砻江官地水电站坝区边坡稳定性问题	(24)
2.2.1 问题与任务	(24)
2.2.2 研究区地质环境	(25)
2.2.3 区域地貌及河谷的形成与演化	(27)
2.3 边坡岩体结构特征的研究	(30)
2.3.1 边坡岩体结构的基本特征	(30)
2.3.2 岩体浅表生结构特征	(30)
2.3.3 边坡岩体中的紧密挤压带	(34)
2.4 边坡岩体演化及变形破坏的数值模拟研究	(36)
2.4.1 模拟思路与主要内容	(36)
2.4.2 计算模型	(37)
2.4.3 计算结果	(37)
2.4.4 模拟成果小结与认识	(47)
2.5 浅表生结构与边坡岩体的变形破坏	(48)

2.5.1 浅生结构的特点	(48)
2.5.2 边坡岩体变形破坏阶段及类型划分	(49)
2.5.3 边坡变形破坏机制模式	(51)
2.6 结论与认识	(51)
第3章 滑坡稳定性评价预测与对策问题	(53)
3.1 滑坡演化趋势预测及控制	(53)
3.1.1 稳定性评价预测、控制的现状与问题	(53)
3.1.2 数值模拟稳定性预测控制的基本原理	(54)
3.2 黄河李家峡Ⅱ号滑坡控制对策问题	(57)
3.2.1 问题的提出	(57)
3.2.2 滑坡区地质环境	(58)
3.2.3 Ⅱ号滑坡特征	(60)
3.2.4 Ⅱ号滑坡的形成机制	(61)
3.2.5 Ⅱ号滑坡的变形破坏特征	(62)
3.3 滑坡演化趋势的离散元预测与决策	(63)
3.3.1 位移拟合分析	(63)
3.3.2 Ⅱ号滑坡现状条件下的稳定性分析	(66)
3.3.3 不同水位条件下变形破坏预测	(72)
3.4 滑坡处理方案的探讨与工程检验	(75)
3.4.1 现状条件下滑坡失稳破坏方式的地质分析	(75)
3.4.2 蓄水过程中滑坡失稳破坏方式的预测	(76)
3.4.3 Ⅱ号滑坡处理方案建议	(76)
3.4.4 工程检验	(76)
3.5 数值模拟预测方法的思考与认识	(78)
第4章 与地下开采有关的山体稳定性分析与控制问题	(81)
4.1 边坡变形体稳定性分析与控制问题	(81)
4.2 边坡改造工程的分析原理	(81)
4.2.1 基本概念及研究意义	(81)
4.2.2 边坡改造工程的理论基础	(82)
4.2.3 边坡改造工程的一般内容	(83)
4.3 韩城坑口电厂边坡变形体的建模分析	(83)
4.3.1 问题的提出	(83)
4.3.2 研究区地质环境	(83)
4.3.3 横山山体及厂区变形破坏特征	(87)
4.3.4 横山边坡变形破坏成因的建模分析	(90)
4.4 边坡变形体变形破坏与控制的离散元模拟	(92)
4.4.1 计算模型	(92)

4.4.2	计算方案	(93)
4.4.3	保留煤柱方案的计算及结果分析	(94)
4.4.4	全面陷落法开采计算及结果分析	(98)
4.4.5	小结	(100)
4.5	改造方案分析	(101)
4.5.1	分析思路	(101)
4.5.2	改造方案论证	(101)
4.6	边坡变形体改造问题的讨论	(104)
第 5 章	深基坑边坡的施工监测与控制问题	(107)
5.1	深基坑边坡的信息化控制问题	(107)
5.1.1	深基坑工程现状与问题	(107)
5.1.2	施工监测概述	(110)
5.2	深基坑施工现场测试方案与技术	(111)
5.2.1	工程概况	(111)
5.2.2	测试方案	(112)
5.2.3	应变测试装置的设计与安装	(113)
5.3	测试资料在设计施工中的应用	(114)
5.3.1	测试资料及分析	(114)
5.3.2	测试成果的工程意义	(120)
5.4	小结	(125)
第 6 章	主要成果与认识	(127)
6.1	边坡地质工程的理论与方法研究成果	(127)
6.2	边坡工程地质基础研究成果	(127)
6.3	边坡稳定性设计与改造研究成果	(128)
6.4	主要认识与展望	(129)
6.4.1	地质分析是边坡地质工程的基础工作	(129)
6.4.2	浅生时效构造理论是分析边坡地质体形成演化与边坡稳定性的重要理论	(129)
6.4.3	数值模拟预测方法是边坡失稳预测的有效方法	(129)
6.4.4	信息化控制是边坡工程实施的有效手段和途径	(129)

英文摘要

主要参考文献

作者简介

第1章 绪论

1.1 问题的提出

斜坡(边坡)是人类工程和经济活动最普遍的地质地貌环境。随着人类社会的进步、经济活动的频繁,以崩塌、滑坡、泥石流方式出现的斜坡(边坡)失稳破坏,给人类的生命、财产和各类工程活动造成了巨大的损失。我国幅员辽阔,地质构造复杂,2/3的国土为山地,且处在世界两大自然灾害带交汇的地区(环太平洋带、北半球中纬度带),是世界上自然灾害最严重的少数国家之一。尤其是我国的西南、西北地区,地处青藏高原东缘,地质构造复杂,地形陡峭,地震活动频繁,崩、滑、流等地质灾害频繁发生,而且分布广泛。据统计,全国每年由崩塌、滑坡、泥石流灾害造成的直接经济损失约30~40亿元人民币(孙广忠,1990;段永侯等,1993),该数值尚有逐年增加的趋势;国土资源部最近调查资料表明,近十年来,我国由于崩塌、滑坡、泥石流而造成近万人死亡,全国四百多个市、县、区、镇受到严重危害,中国每年由此而损失300亿元人民币。据国际减灾十年委员会提供的资料,全世界每年因灾死亡人口中有7%是由滑坡灾害引起的,远高于地震引起的4%的数字。可见,尽管崩塌、滑坡、泥石流等灾害的一次性破坏能力远不及地震灾害,但由于其发生频度高,分布范围广,其破坏性则远高于地震。近二十年来,发生在我国中西部地区的大型崩滑地质灾害事件就达几十起(如1976年的唐古栋滑坡,1980年的盐池河岩崩,1981年的鸡扒子滑坡,1983年的洒勒山滑坡,1984年的新滩滑坡,1989年的溪口滑坡,1994年的乌江鸡冠岭山崩,1995年甘肃黄茨黄土滑坡,2000年4月9日的西藏易贡滑坡等),它们的失稳破坏,有的是自然因素引起,有的则与人类工程活动(如矿山开采、道路建设、市政工程建设、水电工程建设等)有关,由它们引起的直接和间接经济损失,以及由此引起的不良社会影响,更是无法估量。可见,人类工程活动已成了引发地质灾害的重要因素之一,从而日益显示出地质与工程的矛盾。

近几年来,我国在扩大内需、加速基础设施建设的过程中,各类工程建设广泛兴起,尤其是铁路、公路等道路工程建设活动,在西部大开发进程中更是成了排头兵,而由此引发的边坡或边坡灾害问题,则是数不胜数。著者参加了不少公路建设工程,期间深切感受到,这些以地质为主体的工程建设活动,大多忽视或未重视过边坡地质体及地质环境的分析或评价。如108国道的西昌段、成雅高速公路、318国道的二郎山隧道东西进出口引道段,均不同程度的出现了边坡(滑坡)地质灾害或产生了边坡失稳的隐患,从而使得修建道路的费用远低于对公路边坡的加固或整治费用。这其中,除了管理或业主等决策部门存在问题外,更主要是人们长期以来的定式思维问题。通常,人们有意无意地将各类工程与环境地质体截然分开,将工程地质勘察及评价与工程设计(地质灾害防治工程设计)分开,仅将边坡地质体看成工程的一种荷载。许多咨询论证或设计方案论证中也往往出现地质专家与工程或设计专家各执一词的现象,其原因是一方面勘察阶段地质研究工作因研究对象的复杂性而使工作结论有不确定性,另一方面是参与此项工作的地质专家和工程专家知识与经验存在局限,但更重要的是受到传统分工体系及思维定势的影响和制约,即认为搞结构设计的是主体,而地质研究是辅助工作,从而自觉不自

觉地忽略边坡地质工作。同时,地质工作者对设计意图或设计所需要的地质资料缺乏全面深刻的认识。这些问题往往给管理部门或业主单位正确及时地决策造成了极大困难。

随着人类工程活动在广度、深度、空间、规模等方面的不断拓展,人类经济活动对地质体的改造作用已远远超过了自然地质作用,其速度在许多情况下超过了自然力,并超越了自然地质发生的区域性规律,其危害性一般也很大。针对这些特点,人们逐渐意识到,地质体是建设工程的有机组成部分,地质体可以是工程的环境、结构或材料。许多有识之士,尤其是一批学术造诣精深的前辈,根据各自的学术专长、工程或地质实践经验与知识结构,先后提出了一些指导性观点或理论,比较有代表性的观点或理论如工程地质体控制论、地质灾害立体防治系统、岩土工程地质力学理论、系统工程地质学、地质工程理论等。但是,传统的分工体系和地质观已经不能适应社会实践的需要,同样,传统的工程地质条件和质量分析理论也需要不断的更新、补充,以适应现在及未来各类工程实践的需要。

著者结合已有的科研、生产实践经验和体验,选取“边坡地质工程理论与实践研究”这一具有前瞻性、边缘性的研究课题,分别在边坡工程地质基础问题研究、边坡地质体的评价预测、边坡岩土体的勘察、设计、防护,以及边坡地质体的改造、边坡地质体的勘察及设计等领域开展了专题系统研究,并在现有工程地质研究成果的基础上,系统提出了边坡地质工程学的理论框架及方法体系,力图以此指导边坡地质工程的各类科研、生产活动,从而改善目前各类边坡工程中地质与工程脱节的现象。因此本项研究具有重大的理论意义和实践价值。

1.2 边坡科学的研究概况

1.2.1 边坡稳定性研究的历史及现状

斜坡最早仅属于地貌学范畴。人们对斜坡变形的研究也首先是从地貌演变开始并入手,把斜坡变形作为一种山区山坡地貌演变的过程来对待。19世纪和20世纪初期,随着欧美资本主义国家的工业化进程,修筑铁路、公路,露天采矿和天然建材等大规模工程活动日益频繁,开始出现了人工边坡,诱发了大量滑坡、崩塌,造成了很大损失,这时人们才把斜坡失稳现象提高到与人类工程有关的地质灾害高度加以研究。所以人们对斜坡稳定性的研究是从滑坡现象开始的。时至今日,从文献检索情况看,人们对滑坡、崩塌等灾害的研究远远超过对自然边坡或人工边坡的研究。早期对边坡稳定性的研究主要从两个方面进行:一是借用土力学中极限平衡的概念,根据三个静力平衡条件计算斜坡极限平衡状态下的整体稳定性(Karl Terzaghi,1926; Fellenius, 1926, 1927; Taylor,1937, 1948; Bishop,1955, 1960; Janbu,1954, 1973; Morgenstern 和 Price,1965; Spencer,1967等);二是从斜坡所处的地质条件及作用因素上进行对比分析,属类比分析的范畴。50年代,我国地质工作者在前苏联工程地质理论的基础上,引进和发展了工程地质学,并继承了“地质历史分析”法,将其应用于滑坡的分析和研究之中,对斜坡稳定性研究起到了推动作用。但这以前的研究,基本上侧重于地质描述和定性分析。60年代几起大型滑坡(如瓦依昂滑坡)及岩体失稳事件,以及六七十年代我国道路、水电建设过程中的大量灾害事故,使国内外工程地质工作者逐渐意识到,斜坡的失稳破坏不仅与岩性有关,还受边

坡地质体内部的结构控制,进而认识到岩体结构是控制边坡岩体变形破坏的决定因素。同时,斜坡的变形破坏具有时效特征,斜坡的演化是一个时效过程或累进性破坏过程,每一类斜坡的失稳,都有其典型的时效变形破坏过程(L.Muler,1963,1965)。这些过程的力学机制只有用岩石力学理论才能作出接近实际的解释,故而地质学者引进了岩石力学的有关概念及理论,来分析研究斜坡岩体的变形破坏,并从实践中归纳出了有代表性的变形破坏机制模式(王兰生、张倬元,1970S),并将边坡地质体的形成演化机制与其变形破坏的全过程联系起来,使人们对边坡稳定研究工作纳入了科学的轨道。80年代,边坡稳定性研究进入了一新的阶段。除侧重于边坡稳定性分析方法的研究外(Sarma,1979,1981),人们借助于数值和物理模拟手段,在系统科学方法的指导下,对边坡地质体赋存环境、内部应力状态、变形破坏机制、影响稳定性作用因素等,从整体上和内部作用机理等方面进行了更为全面的分析和研究。可以说,这一阶段是边坡科学发展并成熟的高峰期。但随着生产实践的发展,人们开始发现,现有的科学技术和分析理论,很难真正描述斜坡动态演化全过程,且由于边坡地质体的复杂性、非线性、开放性等特点,甚至有人开始怀疑边坡的预测预报的可行性及可能性。进入90年代后,人们发现,往往在稳定性评价中稳定性系数 K_s 大于1的边坡竟然失稳,而 K_s 小于1的边坡竟是稳定的。由此逐渐发展了边坡稳定性研究的可靠性分析理论(祝玉学,1993;罗文强、宴同珍,1996,1999),并借助非线性科学理论,如灰色系统理论、神经网络理论、分形理论、尖点突变模型、自组织理论等,应用于解释边坡变形破坏过程及失稳方式和失稳时空预报等(陈明东,1986;赵其华,1991,1995;周萃英,1992;秦四清,1992,1993,1994;唐辉明,1995;黄润秋、许强,1993,1995,1996),并取得了大量有意义的成果。这期间有代表性的成果如秦四清博士的《非线性工程地质学导引》(成都西南交通大学出版社,1993)。该成果首次系统地将非线性科学引用至工程地质领域,尤其是边坡科学领域,其重要意义不在于其应用的新颖性、可靠性,而在于它拓展了人们对自然地质体的认识域,改变了人们的思维方式。使人们对复杂的地质体有了更强的认知能力和驾驭能力。这期间,人们在基础工程地质研究中,提出并应用浅生时效改造理论(王兰生、李天斌等,1986,1989,1991),研究并分析地质体的动态历史演化过程及其对岩体稳定及区域稳定的影响,并在科研实践应用中取得了大量有价值的研究成果。

回顾边坡科学的发展历史,可以看出,当前边坡稳定性科学研究已具有相当的规模和较高的水平,并逐渐形成了以地质原型研究→成因机制分析→稳定性分析计算→工程地质评价为主体的系统工程地质分析方法。

1.2.2 边坡地质工程的形成与发展

边坡科学的研究历史可以追溯到百年之前,应该说,目前对边坡科学的研究已具有相当的规模和水平。习惯上,人们常将边坡问题研究的内容称之为“边坡稳定性分析”,其研究的内容主要是边坡地质体的赋存环境,边坡地质体的内部结构和应力状态、边坡的变形破坏特征、方式,在此基础上应用极限平衡方法、模拟方法或非线性理论评价预测边坡地质体的稳定性。显然,从目前人类对边坡地质体的依赖关系看,现有的稳定性分析已远远不能满足工程实践的需要。边坡稳定性分析必须向边坡地质工程方向发展,

即不仅立足于边坡工程地质研究,而且应该向边坡工程设计(边坡稳定性分析、防治方案设计)、边坡地质体的改造以及边坡工程管理方向发展。

英国伦敦皇家矿业学院霍克教授于1973年发表了《岩石边坡工程》一书,书中将边坡稳定性分析改称为岩石边坡工程,可见其良苦用心。该书内容主要还是边坡稳定性分析,同时对不稳定边坡和经济边坡所采取的管理及决策,包括所必须采取的岩体改造等内容也进行了相应的讨论。可见边坡工程中应该包含边坡经济和岩土体改造技术方面的内容。而国内一直未见到将边坡地质体纳入工程组成部分的提法,直到1993年孙广忠教授在其发表的《工程地质与地质工程》一书中,将边坡稳定性研究纳入边坡工程之中,并首先提到边坡地质工程的概念。书中主要谈到边坡地质工程概念建立的必要性,简要叙述了边坡地质工程设计的内容是寻求经济、安全实用的边坡外形和边坡角,同时还谈到稳定边坡角的概念及影响因素,以及边坡变形破坏、边坡加固等方面。但直至1996年、1997年两次出版地质工程方面的专著,均未再次论证边坡地质工程及其定义、理论体系及研究方法等问题。这也许正是老一辈地质科学家寄希望于年轻的一代,将边坡地质工程命题继续深入下去,形成自己特有的理论与方法,更好地为社会生产实践服务。

目前,边坡地质工程尚无明确的定义、独立的理论体系和研究方法,但实践需要这门学科,尤其是近年来,三峡链子崖、黄腊石地质灾害的治理,大量道路工程建设中诱发的边坡地质灾害研究和防治,无不要求边坡地质工程理论的指导。没有理论指导的实践是盲目的,而理论正是源于大量工程实践。正是在这种背景下,作者萌发了对边坡地质工程问题进行研究的念头,并贯穿于自身的科研、教学和生产实践之中。本书正是笔者多年来在这方面实践经历积累的总结,希望能引起同行或有志之士的关注与投入。

1.2.3 当前边坡科学研究中存在的问题

“我们的物理世界已不再以稳定的周期性行星运动为象征了,它是一个非稳定性和涨落的世界”(Prigogine,1986)。面对人类大规模的工程经济活动及边坡稳定性科学的研究现状,许多有识之士发出了“当前我们对这一领域的研究还不够深入、系统”的呼声。的确,面对日益壮大的工程实践活动,边坡科学领域存在一些令人担忧而又必须予以纠正的问题,这主要表现在以下几个方面。

(1) 边坡地质体是人类工程活动的有机组成部分,而不是孤立的自然地质体,它或者是工程的背景,或者是工程的材料或结构,或者兼而有之。边坡工程是一类特殊工程——边坡地质工程,边坡地质体有着较强的自稳能力和非线性的演化历史。在现有的研究中,忽视或未重视边坡的上述特点。

(2) 边坡科学研究中,人们对基础工程地质的研究越来越不足,尤其是中青年一代,将主要精力投入到追求稳定性分析的精度上或计算理论的改进或优化方面(计算机技术或可视化技术等),而对边坡地质体的建造、改造过程及作用等对边坡地质体稳定起决定或控制作用的因素却束之高阁。许多技术精湛、造诣高深的前辈也已多次发出呼吁,要重视工程地质基础工作。

(3) 边坡工程设计中,大家都意识到地质分析的重要性,因为正确的地质分析是工程设计可靠性的保证。但人们在具体工程设计中,仍忽视地质分析,或舍不得为地质分

析做大量工作,从而造成许多不必要的工程失误或浪费(如韩城电厂边坡,详见本书第4章)。

(4) 边坡地质灾害的防治工作中存在严重的脱节现象,即地质工程师与设计工程师由于专业知识和认知方式的限制,两者常常发生分歧,使得大量有价值的地质资料不能有效地应用于工程设计、施工之中,从而导致工程的失效或浪费。实践需要新的理论,而现有的边坡科学不能满足这一需要。

(5) 边坡工程的设计理论和方法应该说远未成熟,需要有更多的实践检验和测试反馈,以修正或完善现有工程结构的设计方法、思路的不足。

(6) 在边坡(滑坡)勘察设计中,选择何种设计方案,布置多少勘探量是适宜的,这是边坡工程实践中急待回答的问题,也是边坡科学应该解决的问题。

(7) 边坡地质工程不是边坡工程地质与基础工程学的简单组合,它是将边坡的勘察、评价、设计、治理与管理从全过程上、整体上进行完整系统的分析研究和整合。因此,边坡地质工程学科理论的分析研究也是值得进一步开展的问题。

归纳起来,上述问题可以总结为三个方面:①边坡地质工程管理问题;②方法论和认识论方面的问题;③理论与实践脱节的问题。

针对上述边坡科学研究和实践现状,作者从90年代初期起,结合大量科研、生产实践,对边坡科学进行了广泛深入系统的研究和探索,并在老一辈专家教授,尤其是导师的指导下取得了一些重要的研究成果,初步提出了边坡地质工程学的理论框架及方法体系。这对边坡科学的发展无疑具有重大的理论价值和实际应用价值。

1.3 边坡地质工程学的主要内容

随着现代化科学技术的进步,人类对环境的改造正以前所未有的速度和规模不断发展。同时,人类所面临的地质问题也日益突出。边坡是人类最基本的生存、生活和活动环境之一。在工程作用不断强大的今天乃至未来,人类对边坡科学的要求已不仅仅是边坡稳定性分析,更呼唤新的理论、方法的出现并去指导工程实践的进行,因此提出并建立边坡地质工程学已成为历史的必然。本节在已有边坡科学研究成果的基础上,论述了边坡地质工程学的基本概念、主要研究内容。

1.3.1 基本概念及研究意义

孙广忠教授(1993)对地质工程的解释是:以地质体做建筑材料,以地质体做工程结构,以地质环境做建筑环境建立起来的一种特殊工程,如地基、边坡、地下工程、钻井、地质灾害防治、地质环境保护等统称为地质工程。而梁炯筠等(1992)将地质工程概括为:用工程措施控制地质体,使之成为具有服务功能的工程。后者对地质工程的定义侧重于指出了地质工程是以地质学为基础,以地质体改造为核心的一类工程。

对地质工程的定义尚有其他说法。可见,到目前为止,人们对地质工程的理解,还有很多分歧,包括地质工程与岩土工程、地质工程与工程地质等的界定,仍有很多不同的说法,这也正说明,一门新的理论体系或学科,是需要理论界、工程界经过不同的归纳演绎过程,才能真正走向成熟,从而具有强大生命力的。作者经过大量文献查阅,结合已有成果积累,将地质工程定义为:以对地质体的认识、评价和改造为主体的一类工

程。以此为基础,将以工程地质学、岩土力学、基础工程学、岩土工程施工及测试技术和现代系统科学为理论基础,以研究并解决与工程地质体有关的工程问题的科学,定义为地质工程学。它把地质体乃至地质环境作为工程系统的有机组成部分,包含岩土工程和地质灾害防治及地质环境保护两个方面。岩土工程是指人类工程建设中涉及的岩土体开挖与加固有关的工程,属土木工程范畴;地质灾害防治与地质环境保护工程是指对自然或人为地质作用中产生的有害地质现象进行防护与治理。

通常,人们把边坡问题的研究内容称之为边坡稳定性分析。人们应用现有的边坡科学理论成功地解决了大量工程实际问题。然而由于地球上可观的人口增长速度和密度,人类工程活动已成为地球表层系统中重要的“非自然地质营力”,并以前所未有的速度诱发或导致自然边坡的失稳破坏。因此,人类对边坡地质体的研究,就不能仅停留在原先的稳定性分析方面,而是要从经济、安全、高效的角度,去设计边坡,改造或加固边坡,使之成为人们无忧的环境场所,或者说成为生产、工作或居住的良好环境。显然,边坡稳定性分析已不能适应社会实践的需要,人们对边坡问题的研究,再不能将边坡地质体作为一种孤立封闭的系统,而要求将边坡地质体看成为人类工程的组成部分。

边坡地质工程可定义为:以认识、评价、改造边坡地质体及边坡地质环境为主体的一类特殊工程。从这一定义可以看出,边坡地质工程,将边坡稳定性分析、边坡工程设计、边坡地质体的改造以及边坡地质工程的管理几部分均纳入人类相关工程的组成部分,并成为人类工程中不可缺少的重要内容。在此基础上,将以边坡工程地质、边坡稳定性设计、边坡地质体改造、边坡地质工程管理为主要内容,以研究和解决与边坡地质体及边坡地质环境有关的工程问题的科学,称之为边坡地质工程学。边坡地质工程学的基本理论包括工程地质学、岩土力学、基础工程学、岩土工程施工与测试技术等。显然,边坡地质工程学的重要基础是边坡工程地质研究,工程地质研究是地质工程工作的基础和前提,而边坡地质工程学自然成为地质工程的一个分支。

1.3.2 地质工程学的研究范畴

边坡地质工程学是地质工程的一个分支。要分析边坡地质工程学的研究内容,首先应先看看地质工程学的研究范畴。

地质工程成长为一门学科只是近几年的事情,虽然早在十几、二十多年前就有地质工程的说法,但真正从理性上去分析研究,尚不到10年的时间。从孙先生发表的三本专门论著看,对地质工程学的研究范畴尚无明确的说法。按《孙广忠地质工程文选》一书的分法,地质工程学包括地质工程基本理论、岩体地质工程、土体地质工程、矿山地质工程及地质灾害防治。显然这种划分方案会引起混乱。胡海涛教授认为地质工程学可以概括为三个方面的内容:勘探与资源开发地质工程、地质灾害防治和地质环境保护。胡海涛先生的划分方案更强调地质灾害防治和地质环境保护的特色和作用。刘玉海教授在论述21世纪中国工程地质的文章中,将地质工程学划分为三个部分,即地基与基础工程地质、边坡工程地质、地下工程地质。这一划分方案是将地质工程纳入未来工程地质的有机组成部分时的一种方案,主要是基于工程地质的思路。从该文的整体精神看,21世

纪的工程地质内容和目前地质工程学科有异曲同工之处。刘传正博士认为地质工程学包括岩土工程学和地质灾害防治工程学两个部分。

从上述研究现状可以看到,对地质工程的研究范畴尚有不同的说法。作者认为,这是一种非常正常的现象,不同的学者,基于各自的知识结构和经历,从不同的目的和角度,自然会有不同的思路 and 方案。一般来说,任何一门学科的划分方案均有两种不同形态的划分体系:一是按自然科学发展的科学形态来划分,它重视的是基本规律和共性的认识;二是按社会生产实践部门需要的社会形态划分,它强调的是不同行业、不同实践部门各自的专业特点。

遵照自然科学发展的科学形态,理性的地质工程学研究范畴(分支)如下:

(1) 区域地质工程学,它着重研究区域地壳稳定性及区域地质体的改良和环境保护问题。

(2) 边坡地质工程学,它主要研究边坡地质体的变形破坏及形成演化机制、边坡工程的设计、边坡地质体的改造、边坡工程管理等方面的问题。

(3) 地下地质工程学,它着重研究各类地下洞室的赋存环境、地质结构、地应力状态、变形破坏类型(如岩爆、大变形、瓦斯、突水)、围岩改造技术、超前预报等内容。

(4) 地基地质工程学,其内容包括各类地基地质体的稳定和改良技术等问题。

(5) 灾害地质工程学,它以崩塌、滑坡、泥石流等地面地质灾害为主要研究对象,着重于各类灾害的评价、勘测、设计、施工等问题的分析。

(6) 环境地质工程学,一般以与地质工程或生活环境有关的环境的开发、利用、治理和可持续发展等问题的研究为主体。

按社会生产实践部门需要的社会形态分,地质工程学研究范畴基本有如下内容:

(1) 矿山地质工程学;

(2) 水利水电地质工程学;

(3) 城市地质工程学;

(4) 交通地质工程学;

(5) 海洋地质工程学。

边坡地质工程学作为地质工程学的分支,其研究范畴则是它的主要研究内容。

1.3.3 边坡地质工程学的主要研究内容

边坡地质工程学的主要研究内容至少包括以下几个方面:①边坡地质体的形成演化机制;②边坡地质体稳定性分析理论与方法;③边坡地质体的预测预报理论与方法;④边坡工程的稳定性设计;⑤边坡地质体的加固改造理论与技术;⑥边坡地质体的工程监测技术与方法;⑦边坡地质工程的管理与决策;⑧边坡地质工程的监理等。概括起来,边坡地质工程学主要内容有五个部分组成,即边坡工程地质基础、边坡稳定性设计、边坡地质体改造、边坡工程管理、边坡工程监理等。作者依据自己的体会和研究,将边坡地质工程学的主要研究内容概括成如图 1-1 所示。

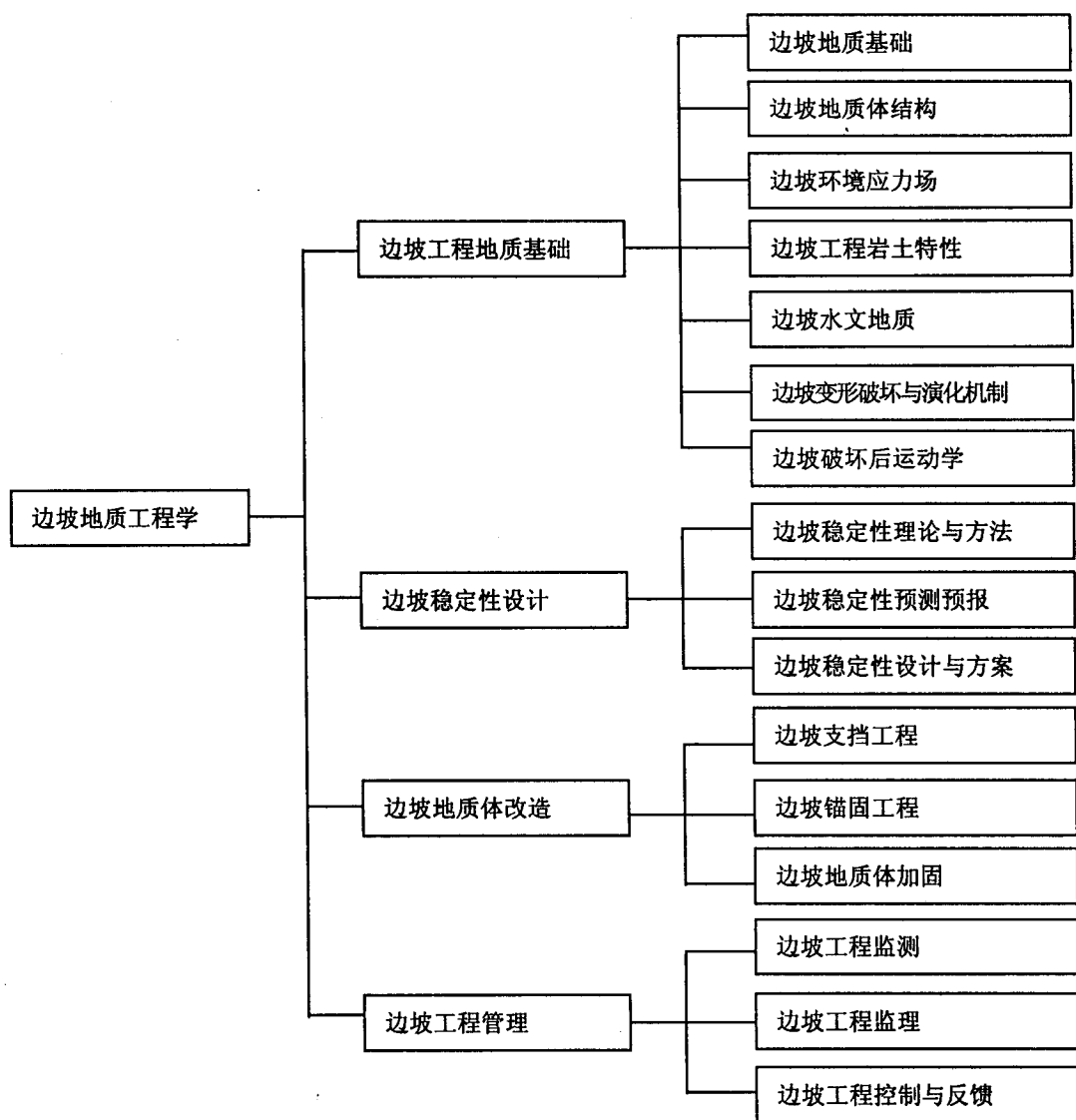


图 1-1 边坡地质工程学主要研究内容框图

1.3.3.1 边坡工程地质基础

边坡工程地质基础理论和分析是边坡地质工程学的奠基石。在工程实践之与地质有关的失事事件中，除了存在严重的地质与工程脱节的现象外，另一个重要问题是忽视工程地质基础研究，或对边坡工程地质基础研究不够，判定分析失误。目前广泛兴起的铁路、公路及地下交通工程，港口码头工程，矿山工程中均不同程度地存在着对边坡工程地质基础内容研究、重视不够，甚至根本不进行工程地质基础研究工作，从而导致了大量工程失事或造成极大浪费的问题。这是一种极不正常的现象。加强和重视边坡工程地质基础研究，是搞好边坡地质工程的关键问题之一。边坡工程地质基础理论主要包括边坡地质基础、边坡地质体结构、边坡环境应力场、

边坡工程岩土特性、边坡水文地质条件、边坡变形破坏与演化机制、边坡破坏后运动学等基本研究内容。

1.3.3.2 边坡稳定性设计

边坡工程设计，不同于常规的人工结构设计，它是由边坡地质工程的特殊性决定的。边坡地质体具有耗散结构和非线性特征等复杂性，它不仅仅是一种地质材料，也是一种地质结构和地质环境，同时具有自身的稳定潜能。所以对于边坡工程设计，作者认为，应是一种边坡稳定性设计，它包括边坡稳定性评价、边坡稳定性预测、边坡稳定性设计与决策等三个方面的基本内容。其中，边坡稳定性设计主要指选择合适的边坡外形，如稳定坡角、坡高等的设计，包括了经济边坡与稳定、安全边坡的矛盾统一关系。而边坡稳定性决策实际相当于广义的工程设计概念，是指对不稳定边坡或临界稳定边坡选择最优的防治方案，并制订出详细的方案计划（包括方案的平面布置、结构类型、方案的综合比较以及费用估算或概算等，应能总体上包括最终的实施方案及费用）。它是决策者对边坡地质体改造的主要决策依据，相当于一般工程设计中的方案论证阶段的工作。同时边坡地质工程设计不同于一般工程设计，它强调地质的主体作用，充分发挥地质工程师在边坡地质工程工作中的作用，所以要求地质工程师具有地质和工程学科两方面的知识。

1.3.3.3 边坡地质体改造

边坡地质体改造包括边坡地质体防护、支护、锚固、灌浆加固、坡形改造、环境改造等方面的内容，是在边坡工程设计的基础上，依据边坡地质体变形破坏特点、稳定程度和阶段，完成具体的工程结构的计算、设计和施工工作。其中的设计工作是常规意义的狭义设计，即具体的结构设计，通常由地质工程师和结构工程师合作完成，而施工则是由专业施工队伍完成，地质工程师参与并协调施工工作的全过程。所以，边坡地质体改造主要包括三个方面的基本理论，即边坡支挡工程、边坡锚固工程、边坡地质体加固。一般意义上，边坡地质体的改造是指边坡地质体结构的改造、地质材料性质的改造和边坡地质环境的改造。这里突出体现了边坡地质体既是被改造对象又是改造结构和材料的特点。

1.3.3.4 边坡工程管理

边坡工程管理贯穿边坡地质工程全过程，是工程的灵魂、枢纽和桥梁。边坡工程管理，包括边坡工程的信息化管理体系、质量保证体系、风险决策与安全体系等基本内容，所以其基本理论由边坡工程监测、边坡工程监理、边坡工程控制与反馈等三个部分组成。其中，边坡工程监测是信息化管理的重要组成，也是信息化勘察、设计、施工的信息源，是后两个部分的基础；边坡工程监理是指边坡地质工程勘察、设计、施工的全过程监理，是质量保证体系的核心部分；而边坡工程的控制与反馈则是依据边坡地质体认识水平和实际条件，及时调整、变更工程结构的具体设计、施工过程，其目的是使工程更加优化、经济安全。这也是地质工程不同于一般工程的特点所在。

任何学科的形成或创立，都有一个不断发展和完善的过程。边坡地质工程学也是这样，其主要研究内容将会随着社会生产实践和工程的需要而得到补充或修正。