

岩体结构力学

孙广忠 著

科学出版社



岩体结构力学

孙广忠 著

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书作者在地质研究基础上,明确地提出了“岩体结构控制论”是岩体力学基础理论,“岩体结构力学效应”是岩体力学的力学基础,系统地阐述了岩体变形、岩体破坏及岩体力学性质基本规律;将岩体按岩性、结构及环境应力条件划分为连续介质、碎裂介质、板裂介质及块裂介质等四种力学介质,提出了岩体力学系由连续介质岩体力学、碎裂介质岩体力学、板裂介质岩体力学及块裂介质岩体力学组成的力学体系;并扼要地阐述了岩体力学分析原理及方法。本书是岩体力学基础理论专著,对进一步开展岩体力学和岩体工程研究和实践具有重要指导意义。

本书可作为研究生教材,亦可供地质、地震、土木、水利水电、矿山工程技术人员和高等院校师生参考。

岩 体 结 构 力 学

孙 广 忠 著

责任编辑 谢洪源 周文辅

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988 年 10 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1988 年 10 月 第一次印刷 印张: 24 1/2

平 1—2,490 插页: 平 2 精 3

印数: 精 1—720 字数: 565,000

ISBN 7-03-000487-6/P·86 (平)

ISBN 7-03-000640-2/P·105 (精)

定 价: 平 装 11.40 元
布 脊 精 装 12.90 元

前 言

岩体是经受过变形、遭受过破坏的地质体的一部分。岩体力学是研究经受过变形、遭受过破坏的地质体,在环境应力条件改变时,产生再变形和再破坏的规律及运用这些规律解决工程建筑中的地质工程问题的一门应用性科学。

岩体力学作用和力学性质严格地受构成岩体的组成成分、结构及其赋存条件的控制,特别是受岩体结构面及岩体结构特征的控制。

岩体结构力学效应是岩体力学理论的中心内容。如果没有这一特点,岩体力学与其它固体力学也就没有区别,或者说,如果没有结构面也就没有岩体力学。据此,本书选定以岩体结构控制作用分析为纲,将岩体力学研究 with 地质研究紧密地结合起来,简明地论述岩体结构地质特征及其力学效应,以此为基础对岩体力学分析展开论述。

岩体力学越来越受到重视。目前国内一些重要的生产和科研部门都有专门的岩体力学工作队伍,这些部门的科研人员已为生产建设作出了有价值的贡献,获得了一定的信誉。许多高等院校(如地质院校、冶金院校、矿业院校、铁道院校、水利水电院校)都在开设岩体力学课。为了普及岩体力学知识,急生产之所需,近年来开办了各种类型的岩体力学讲习班。人们对岩体力学的认识已经改变,认识到岩体力学是地质工程建设的基础学科。许多工程技术工作者又都感觉到现有的岩体力学理论和技术还不能令人满意地解决当前工程建设中提出来的问题。关于这个问题,著者认为,其主要原因有两条:①岩体力学研究 with 地质研究脱节问题还没有解决好;②现有的岩体力学观点和理论还不能如实反映岩体力学作用规律。现有的岩体力学理论主要是材料力学观点,而岩体力学课题中许多是结构力学问题,仅用材料力学观点去解决具有结构力学特点的岩体力学课题显然是不够的。要解决这个问题,必须在岩体力学工作中紧密地与地质相结合,以地质为基础开展岩体力学研究,这是国内外一致的呼声。工程地质工作者迫切要求与力学相结合发展工程地质,使工作定量化,而岩体力学工作者也迫切要求与工程地质相结合发展岩体力学理论。如何解决这个问题,目前还在探索。著者认为,要解决这个问题需要从以下几个方面入手:首先要对岩体基本性质有一个认识,针对岩体的性质研究其力学作用规律,探讨解决地质工程问题的理论和技术方法,为地质工程设计和施工服务。我们不仅要做到所提出来的研究课题有用,而且还必须解决在实践中好用的问题。目前谁都认为地质资料对岩体力学研究来说是十分重要的。但是,由于地质资料与岩体力学作用、岩体力学性质规律间的关系没有解决好,因此使十分有用的地质资料因不好用而得不到应用。这是岩体力学研究 with 地质研究脱节的具体表现。岩体中存在节理、断裂等不连续面造成岩体与其它固体间的巨大区别。岩体在节理和断裂切割下形成自己的独特结构——割裂结构。这就要求在研究岩体力学作用和岩体力学性质时,必须考虑岩体结构力学效应。根据岩体结构规律研究岩体力学作用规律,这是一个十分重要的基本观点。因此,为了解决岩体力学与地质脱节问题,岩体力学研究应从岩体结构及岩体结构力学效应研究出发,运用结构

• i •
321 40/02

力学手段、理论、方法,研究岩体力学作用和性质,以解决地质工程问题。

岩体力学全部内容由两大部分组成:即①将地质模型转化为力学模型;②将力学模型转化为数学语言。前一个转化主要依赖于岩体结构及其力学效应,后一个转化则主要依赖于岩体结构力学效应定量得到的本构规律和破坏判据。这是岩体力学研究中的一个核心问题。这个问题不解决好,岩体力学研究结果还是脱离实际的。当前出版的岩体力学著作中在这两个转化上,特别是将地质模型转化为力学模型上解决得还不好,不少著作中还只把岩体作为连续介质处理。岩体中确实有连续介质部分,但它不都是连续介质。因此仅用连续介质力学理论解决岩体力学问题是不够的。岩体中存在大量节理、断裂,它们使岩体具有不连续性,这是岩体有别于其它固体的主要性质。而当前教科书中有很大一部分似乎还不承认这个特点,这个问题反映在岩体力学的一些方面。为了使读者对岩体力学问题有较全面的了解,本书将从岩体地质特征探讨入手,重点阐述岩体变形、破坏及力学性质等基本规律,并以分类的方法介绍、分析地质工程问题的力学方法,即岩体力学分析方法。

目前流行的概念好象是把“岩石”和“岩体”等同起来,这样既看不到岩体结构特征,也看不到其赋存环境的特殊性。这就出现了一种观点,认为“岩石”和“岩体”只不过是一个名词问题而已。实际上不是,而是一个重要的观点问题。岩石只是组成岩体的一种材料。而岩体是经受过变形、遭受过破坏的地质体。这个问题不清楚,也就弄不清楚岩体力学与岩石力学的区别所在。甚至误认为岩石力学加试块大型野外试验就是岩体力学,这是由于对岩体缺乏正确的概念所造成的。因此,著者在本书的第一部分首先探讨岩体的地质特征。某些人认为,岩体太复杂、很难找到规律,岩体力学太难了,是的,岩体力学的确是一个难题,但不是不可捉摸的。

岩体力学作用和力学性质是否有规律,主要决定于岩体是否有规律。著者认为,岩体是有规律的。岩体的规律主要表现在岩性、结构及其赋存条件三个方面。而岩体结构是核心因素,岩体结构规律弄清楚了,等于岩体力学问题解决了将近一半。从岩体力学的角度来说,岩体结构规律不是指区域构造规律,而主要是指与工程力学作用直接有关的坝基、边坡、地下洞室等位置地段的岩体结构,或称为“小小构造”规律。岩体结构特征是不连续性,它标志着结构面切割的方式和程度。

岩体结构是由一定的结构单元和结构模式构成的。所谓岩体力学规律决定于岩体结构,实际上是决定于结构单元的力学性质及结构模式的力学作用规律。提出岩体结构单元不是摆设,而是岩体力学的真正基础。与一般物质特性决定于组成它的分子、电子性质及其排列型式(结构)一样,岩体力学性质也决定于组成岩体结构单元及其组合、排列特征,即结构特征。这是岩体力学中又一重要观点。

岩体变形本构规律是目前岩体力学研究中基础性课题之一,但如何研究这个课题,也有两种观点。其一是力学的,另一是地质力学的。单纯从力学角度讨论这问题时,本构方程往往是由一大堆力学参数、“严密”的理论构成的。实际上,“严密”的理论并不严密,因为它不是从岩体实际出发抽象出它自身存在的内在规律,而有一些是以想象代替实际,多半是从唯象上给予唯理的规律,是否真有其事,考虑的并不多。这也是岩体力学研究脱离岩体的地质实际的一种表现。著者认为,这个问题应该从岩体变形本构规律,亦即从岩体结构单元的力学性质及岩体结构特征出发,研究岩体变形本构规律才能得到符合实际的

结果,这就是地质力学观点。

实践经验和实际资料表明,岩体破坏机制在很大程度上控制于岩体结构,同时也受岩体赋存条件左右着。岩体破坏判据,按理应以岩体破坏机制为依据来建立,亦即应以岩体结构为基础,按其力学作用机制不同,来建立不同的破坏判据。目前有一种观点,即企图用一种破坏判据,如库仑-莫尔判据统治全部岩体破坏条件。实际上是行不通的,也不符合岩体实际。岩体实际是岩体有多种结构、多种力学介质和多种力学模型,它不是只有一种破坏机制,更不可能仅用一种破坏判据判断所有岩体破坏条件。这个问题也应该以岩体结构为基础等来研究,才能获得令人满意的结果。

目前,人们一谈到岩体力学性质就想到岩体力学试验。常常把原位大型岩块力学试验结果视为岩体力学性质。实际不然。试验结果只能表征岩体内一小部分或称为典型地质单元的力学性质。岩体是比较复杂的,岩体力学性质不能采用一般的力学试验方法取得,必须考虑岩体地质特性及工程作用特点,采用科学的方法分析取得。实际上,今天在工程实践中所应用的多半是采用原位大型试块试验结果。其原因在于:一是小试块试验结果如何与大型岩体实际相结合的纽带没有解决好;二是难于查清复杂的岩体地质特征。从用途来说,岩体力学性质有两大类型:一类是用于评价岩体质量;另一类是用于岩体变形和破坏分析。服务于前一类型内容时,常常采用几个特征性力学指标(如单轴抗压强度、变形模量 E 等),服务于后一类型的岩体力学性质的研究内容,必须与工程岩体变形和破坏规律的判断相结合,即以一定的力学模型为指导,组织岩体力学试验,通过综合分析,取得表征工程岩体力学性质的资料。

许多岩体力学书籍、文献以及日常的岩体力学工作中常常谈到岩体稳定性分析。这方面工作的主要内容是以极限平衡条件为准则,分析工程岩体能否破坏。这里有两个观点问题需要探讨:一个是在岩体力学分析中把所有的岩体都看作是连续介质,另一个似乎是只要岩体不破坏,工程就不会由于岩体的原因而产生破坏。实际不然。岩体既不是一种力学介质,而岩体稳定不破坏,不能保证工程不发生破坏。大量事实表明,虽然岩体不破坏,但因岩体变形过大或变形不均匀同样可引起工程破坏。显然,为了保证工程安全,从岩体方面来说,只考虑岩体破坏条件,即岩体稳定性问题已经不够,还必须考虑岩体变形过大或不均匀引起工程破坏的可能性。而对于岩体变形量计算仅用连续介质力学理论往往得到与实际相比偏小的结果,也导致工程破坏。对于工程规模日趋增大的今后,这个问题显得更加重要。在岩体力学分析中,必须对变形和破坏对工程的影响等同看待。

著者一再强调,“岩体”不能等同于“岩石”,“岩体力学”不等同于“岩石材料力学”。“岩体”是经受过变形、遭受过破坏的地质体,“岩体力学”是研究岩体赋存条件改变时产生再变形和再破坏的科学。因此,在岩体力学研究中,许多观点、概念都需要认真推敲,不能任意抄袭。根据这一原则,著者以“岩体结构控制论”为基本观点,对岩体力学中一系列问题进行了研究,对岩体力学这门年轻的学科作出了一定的贡献,著者对岩体力学的贡献可概括为如下五点:

1) 1974年提出了“岩体结构力学效应”这一命题,经过十多年的研究工作,对岩体变形、岩体破坏、岩体力学性质结构效应进行了一系列的研究,明确地提出了岩体力学的基础理论是“岩体结构控制论”,岩体力学的力学基础是“岩体结构力学效应”,从而建立了岩

体结构力学理论基础。

2) 将岩体划分为连续、碎裂、板裂及块裂四种力学介质,提出了岩体力学系由连续介质、碎裂介质、板裂介质及块裂介质四种介质岩体力学构成的力学体系,并对碎裂介质岩体力学及板裂介质岩体力学进行了基础性研究。

3) 提出了岩体变形系由岩石材料变形和岩体结构变形共同构成的概念,并以结构控制论为指导,研究了岩石材料变形和岩体结构变形的基本规律(或称本构规律)。

4) 提出了岩体破坏系岩体结构改组及岩体破坏系受岩体结构控制的基本概念,并建立了多种破坏机制和多种破坏判据体系,批判了不分具体情况一概采用库仑-摩尔判据的错误观点,研究了岩石材料破坏和岩体结构改组的各种破坏判据。

5) 将岩体力学性质结构效应概括为三个法则,即爬坡角效应法则、尺寸效应法则及各向异性效应法则,从而为岩体力学性质分析建立了理论基础,并对岩体力学性质综合分析方法进行了基础性研究。

以上这几点是本书的新鲜内容。综合前人研究成果及著者自己的研究结果,著者将岩体力学核心内容归纳为如下五条,这五条可称谓岩体结构力学基本观点或岩体力学基本定理:

1) 岩体是经过变形、遭受过破坏,由一定的岩石成分组成,具有一定的结构和赋存于一定地质环境中的地质体。岩体力学是研究环境应力改变时岩体再变形和再破坏的科学。

2) 岩体在结构面控制下形成有自己独特的不连续结构。岩体结构控制岩体变形、破坏及其力学性质。岩体结构控制作用远远大于岩石材料的作用。

3) “岩体结构控制论”是岩体力学基础理论,“岩体结构力学效应”是岩体力学的力学基础,岩体结构分析方法是岩体力学研究的基本方法。

4) 岩体赋存于一定的地质环境中。岩体赋存环境条件可改变岩体结构力学效应和岩石力学性能。

5) 在岩体结构、岩石及环境应力条件控制下,岩体具有多种力学介质和力学模型,岩体力学是由多种力学介质和多种力学模型构成的力学体系。

上列五条便是著者对岩体力学基本力学的基本观点,也就是岩体结构力学的基本观点。

作者以上述观点为基础,从1978年到现在(每年一次),在中国科学院、中国科学技术大学研究生院开了一门学位课——岩体结构力学。本专著就是作者在总结自己多年从事岩体力学研究结果,在研究生院讲授岩体结构力学的讲稿基础上写成的。

岩体结构力学观点问世后,得到了国内外同行们的广泛支持和鼓励。他们纷纷邀请作者介绍、交流岩体结构力学原理和方法,聘请作者作兼职教授和科学技术顾问。在这些活动中,一方面交流了学术观点,另一方面也帮助作者整理了思想。

岩体力学是应用性学科。岩体力学发展与地质工程建设密切相关。本书便是著者从事地质工程建设中出现的岩体力学问题研究的基本总结,它是1980年写成的《岩体力学基础》一书的深化,观点更加明确、理论阐述更加系统,明确提出“岩体结构控制论”是岩体力学基础理论。因此,决定将本书定名为《岩体结构力学》。书中定有不当之处,敬请读者批评、指正。借此机会,我向邀请我讲学的有关单位和个人、长期与我共同进行岩体力学研究的亲密的伙伴郭志和周瑞光等同志表示衷心感谢。

本书成稿过程中得到了著者的学生张文彬和刘继山的大力帮助；周文辅和谢洪源同志在编辑本书中付出了巨大的劳动，本书中插图由周力同志代为清绘，著者在此一并致以诚挚的感谢。

著 者

1987 年 4 月

目 录

前言

绪论	1
(一) 岩体和岩体力学概念	1
(二) 社会实践要求发展岩体力学	2
(三) 岩体力学与工程地质	3
(四) 岩体力学的属性及特色	5
(五) “岩体结构控制论”是岩体力学的基础理论	6
(六) 岩体力学的发展	8
(七) 岩体力学已经形成为一门独立的分支学科	9
(八) 岩体力学的研究方法	10
(九) 岩体力学的研究动向	12
(十) 岩体力学研究的基本内容	14
第一部分 岩体的地质特征——岩体力学的地质基础	15
一、岩体的形成	15
(一) 建造过程	16
(二) 改造过程	16
二、岩体的组成成分	18
(一) 沉积岩	19
(二) 岩浆岩	21
(三) 变质岩	22
三、岩体结构	23
(一) 概说	23
(二) 结构面的地质规律	25
(三) 结构体特征	52
(四) 岩体结构的级序及类型	57
四、地质模型	61
(一) 基本概念及类型	61
(二) 各类地质模型的基本特征	62
五、岩体赋存环境的特征	63
(一) 地应力	63
(二) 地下水	86
(三) 地热	106
第二部分 岩体结构的力学效应——岩体力学的基本规律	109
一、岩体变形的的基本规律——岩体变形的结构效应	109
(一) 概说	109
(二) 基本概念和几个定义	111

(三) 岩体材料变形机制	114
(四) 若干典型材料变形型岩体变形本构规律	124
(五) 结构变形型岩体变形基本规律	151
(六) 岩体变形综合分析	155
二、岩体破坏机制及破坏判据	159
(一) 概说	159
(二) 岩体破坏现象及破坏机制	162
(三) 破坏判据	168
三、岩体力学性质的基本规律	182
(一) 概说	182
(二) 结构体——岩石力学性质基本特点	185
(三) 结构面的基本力学性质	198
(四) 结构面力学性质的影响因素及结构面力学效应	204
(五) 岩体结构力学效应及岩体力学性质分析方法	221
(六) 岩体力学测试技术及方法要点	236
第三部分 岩体力学分析原理及方法	251
一、岩体力学分析原理	251
二、连续介质岩体力学	255
(一) 连续介质岩体的地质特征	255
(二) 连续性条件	257
(三) 与力学分析有关的几个概念	259
(四) 岩质地基变形分析	261
(五) 均匀应力场内圆形洞室的力学分析	264
(六) 二向不等应力场内圆形洞室力学分析	278
(七) 地下洞室围岩内应力分布近似计算方法	282
三、碎裂介质岩体力学	285
(一) 碎裂介质岩体地质特征	286
(二) 碎裂介质岩体地基变形分析原理及方法	288
(三) 对缝式碎裂结构岩体中应力传播	289
(四) 错缝式碎裂结构碎裂介质岩体中应力传播	296
(五) 碎裂岩体地基变形分析	301
(六) 地下洞室围岩变形分析	303
(七) 地下洞室稳定性分析	304
四、块裂介质岩体力学	308
(一) 块裂介质岩体基本特征	308
(二) 软弱结构面的地质特征	311
(三) 赤平极射投影原理及方法	312
(四) 实体比例投影图及块裂体几何分析	314
(五) 作用于块裂体上的力的分析	319
(六) 块裂介质岩体力学原理	322
(七) 块裂介质岩体力学分析方法	329
五、板裂介质岩体力学	339
(一) 概说	339

(二) 板裂结构岩体存在的地质背景	343
(三) 板裂介质岩体地质特征	344
(四) 板裂介质岩体力学模型	344
(五) 模型试验的启示	346
(六) 板裂介质岩体力学作用分析一般原理	353
(七) 板裂介质岩体边坡力学分析	356
(八) 板裂介质岩体地下洞室边墙围岩力学分析	365
(九) 板裂介质岩体地基力学分析	374
(十) 矿山采场板裂介质顶板力学分析	375
参考文献	379

绪 论

岩体力学是应用性基础学科,是工程地质学与工程力学交叉的边缘学科。岩体力学的基础是工程地质,岩体力学的方法是工程力学。在论述岩体力学基本原理之前,我打算通过对十个小题目的讨论,使读者对岩体力学基本观点及其形成、发展、现状和发展趋势有一个基本了解,以免在应用岩体力学知识解决实际问题时多走弯路。

(一) 岩体和岩体力学概念

岩体是地质体,它经历过多次而反复的地质作用,经受过变形,遭受过破坏,形成一定的岩石成分、一定的结构、赋存于一定的地质环境中,在作为力学作用研究对象时被定义为岩体。岩体不是简单的材料概念,它和岩石不同,而是具有独特结构的地质体。这就决定了它在力学作用上具有特殊性,其特点是不连续性和有条件转化性。如碎裂岩体,在低地应力环境中具有不连续性,而在高地应力环境中可以转化为连续介质岩体,这是环境因素给岩体带来的特殊性。

岩体力学与一般材料力学不同,它是研究经受过变形、遭受过破坏的地质体在环境因素改变时再变形和再破坏规律的理论 and 应用的科学。应当特别注意,岩体经受过变形和再变形规律、岩体遭受过破坏和再破坏规律是什么。对这个问题如不了解,就无法认识岩体力学的特点。岩体在经受变形过程中岩石的存在状态发生了重要的改变。首先在岩体内蓄存一定的应力,这种应力使岩石变形在应力-应变曲线结构上留有痕迹。如在低地应力条件下不发生变形或变形量很小;而在高地应力条件下才发生正常变形。岩石的这种变形特征与一般材料变形很不相同,这是由于岩体在其形成过程中曾经受过变形的结果。破坏也是一样。岩体是一种已经破碎的地质体。岩体结构是岩体破坏方式和破碎程度的表征。已经遭受过破坏的地质体再破坏时,其破坏规律则亦有别于一般完整材料的破坏规律,其破坏极大程度上受岩体结构控制着。同样,其变形也是受岩体结构控制着。在岩体结构控制下,其变形和破坏方式是多种多样的,其变形和破坏条件不能简单地用一般材料变形本构规律和破坏判据来判断。岩体力学研究的变形和破坏是已经破坏的地质体的再变形和再破坏规律问题,这个问题的特殊性就在于岩体结构特点。

上述特征表明,岩体力学研究中蕴藏着一种不同于一般的特殊问题。岩体由于经受过变形、遭受过破坏,岩体内不仅蓄存有初始地应力,而且有初始应变;同时形成一种特殊结构——割裂结构。这种特殊的岩体结构既控制其变形,又控制其破坏机制。其变形和破坏中不仅有材料变形和材料破坏的成分,而且更重要的是其变形中包括结构变形,其破坏主要是结构失稳和结构改组。因此,岩体力学分析也不能简单地用材料力学方法处理,结构力学分析才是基本的方法。在岩体力学分析中,如果不把岩体的地质特征搞清楚,那么任何精确的计算等于无用,这就是岩体力学的特点。岩体力学工作者必须清楚地了解

这一特点,按照岩体力学原理办事,才能做出有效的功。否则将是事倍功半,甚至劳而无功。

(二) 社会实践要求发展岩体力学

早在本世纪 30 年代就有人写书论述岩体力学问题,可是当时并不为人们所重视。直到 60 年代以后,岩体力学才被重视起来。因为在工程规模较小时,工程师不用岩体力学理论,单凭经验一般也可以解决工程建设中遇到的岩体力学问题。即使发生事故,造成浪费也不大。在第二次世界大战以前,一般来说,工程建筑规模不大,岩体力学发展缓慢是不足为奇的。第二次世界大战以后,工程建筑规模迅速发展,特别是在矿山。矿山工程与土木工程有所不同,它涉及的地质工程规模比土木工程大得多,出现的事故也多。工程规模大了,成灾的规模也大,造成的危害也大。如采深近 400m 的露天矿边坡角增减 1° 将影响投资变化可达 2,000—5,000 万元。而且一旦边坡出现失稳造成的生命财产损失是很难估计的,其它类型工程也是一样。

随着工程规模的增大,出现了一类新的工程类型——地质工程。过去这类工程主要出现于水利水电建筑、矿山开发、铁路建筑中,这些建筑中出现的地质工程主要有:坝基、边坡、地下洞室(规模较小)等。今天情况不同了,不仅工程规模大了,而且地质工程类型也增多了。如水电建设中的大跨度高边墙地下厂房,民用建筑中的地下工程,石油天然气开发中的采油采气工程和储油储气地下洞室,矿山开发中大规模地地下开挖和地面开挖工程等一系列的地质工程问题。今天,在资源、能源开发中,工业民用建筑中,国防和交通建设中无不存在地质工程问题,因而地质工程将成为工程建筑中的重大课题。目前我们在工程建筑中遇到高于 100—200m 的边坡就感到为难,不久将出现 300—500m 高边坡;现在我们遇到 200—250m 高坝水利枢纽工程时对地质工程问题已感到为难,不久将出现 300—500m 高坝水利枢纽工程;现在我们在地下建筑中遇到跨度为 30—40m,边墙高 50—60m 地下空间的地质工程问题也感到有些为难,未来将出现跨度达 60—70m,边墙高达 100m 的地下空间工程,甚至是多排、多层的地质工程。在这些重大的地质工程即将出现的今天,我们必须早做准备,研究工作要早走一步。这项研究的中心课题是人类活动与地质环境相互作用及岩体改造问题。岩体改造是极为重要的大课题。对自然的岩体不进行任何改造,就想建成人们所需要的地质工程是不可能的。岩体改造问题的研究必须及早提出来。地质工程是一个综合性很强的课题。工程地质主要研究第一环境问题,而地质工程工作必须在第一环境的研究基础上,运用岩体力学理论和方法研究解决地质工程建筑问题。地质工程是岩体力学研究的服务对象,岩体力学研究是实践的需要,如果没有地质工程问题,也就没有必要发展岩体力学,也发展不起来。工程地质是岩体力学研究的基础,地质工程是岩体力学研究的服务对象。所以,工程地质、岩体力学、地质工程必须三位一体的提出来。否则,不是搞不清,就是搞不好。

现在许多人已经意识到,任何一门科学技术的发展水平和速度与其基础理论研究水平密切相关。为了较好地解决地质工程问题,必须加强它的基础理论——岩体力学研究。目前已经广泛地出现了这种要求。近 20 年来国际上与岩体力学有关的学术活动十分活跃,而且以各种方式频繁地召开与岩体力学有关的专业学术讨论会和国际大会。许多国

家、地区、行业组织了岩体力学学术活动组织,系统地召开岩体力学讨论会,并出版了许多学术交流刊物和专著。这表明,岩体力学已经广泛地引起重视。因为这个问题不解决,工程建设的速度和水平会严重地受阻。开展岩体力学研究的呼声愈来愈高,这是社会实践的要求,这是客观存在,不依人们的意志为转移。我们必须因势利导,推动其加速发展。岩体力学理论研究必须以工程地质为基础,与地质工程问题研究相结合,使岩体力学问题研究结果不仅有用,而且要好。

(三) 岩体力学与工程地质

前面曾指出过,岩体力学是工程地质学的分支学科。现在来进一步讨论岩体力学与工程地质之间的关系。

今天摆在我们面前的工程,其规模之巨大,问题之复杂是空前的。以水电建设为例,其水库规模小者几十公里,大者达数百公里,一个水力枢纽所占面积也常达数平方公里。在这样大的范围内,要使所有的部位和建筑物都保证工程正常运转,这就要求在建筑之前和建筑中必须查清工程地质条件和解决好地质工程问题。从今天的观点来说,这就要求查清工程建筑的地质环境及人类活动与环境的相互关系。过去的工程地质的主要任务是查清工程地质条件;今天的工程地质工作以工程地质环境研究来概括更恰当些。环境包括大环境及建筑物座落的小环境。环境问题不查清楚,地质工程问题是难以解决好的。只有把环境问题查清楚,才能运用岩体力学理论和方法解决好地质工程问题。这是第一个问题,从环境出发。第二个问题是工程地质量化研究。工程地质量化研究包括的内容十分广泛。从工作过程来讲,工程地质研究可分为工程地质条件普查、工程地质条件详查及施工工程地质工作。与此相适应,岩体力学研究也可分为三个阶段,第一阶段是岩体力学特性普查。这一阶段包括岩体地质特征研究、岩体力学性质研究,在此基础上进行可行性论证。第二阶段是进行地质工程问题专题研究,为方案论证提供依据。第三阶段是施工过程中的岩体变形观测和监测反分析,为修改方案设计提供资料。实际上,岩体力学研究是工程地质工作的一部分。具体地说,以岩体力学性质参数确定为例。目前有两个观点:其一是靠大试件试验,将大试件试验结果作为岩体力学性质参数资料。其二是把试件试验结果看成是典型地质单元的力学性质参数,岩体力学性质参数需要通过试块试验结果与岩体地质特征相结合,进行综合分析确定。岩体力学性质参数仅靠试验结果来确定是不行的,必须由试验结果与小环境地质特征相结合来确定。今天的工程地质工作离不开岩体力学的指导;岩体力学工作也离不开工程地质作基础。近代的岩体力学研究,实际是工程地质量化工作。工程地质量化工作内容可以简要地用下面的方式表示。

工程地质量化途径

(1) 地质因素及其力学效应定量化

1) 岩性及岩层地质特征信息定量化;

2) 岩体结构及其力学效应定量化:

① 结构面地质规律及其力学效应;

- ② 结构体地质规律及其力学效应;
- ③ 软弱夹层地质规律及其力学效应;
- ④ 岩体结构地质规律及其力学效应。

3) 岩体赋存环境因素及其力学效应定量化:

- ① 地应力地质规律及其力学效应;
- ② 地下水地质规律及其力学效应;
- ③ 地温地质规律及其力学效应。

(2) 岩体力学作用及其力学性质规律定量化:

1) 岩体力学作用规律定量化研究:

- ① 岩体变形机制及其本构规律;
- ② 岩体破坏机制及其破坏判据。

2) 岩体力学性质规律定量化研究:

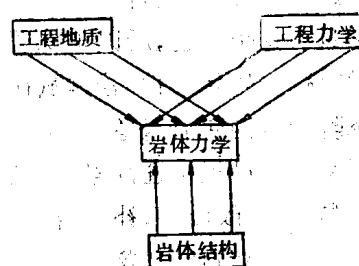
- ① 岩块力学性质规律;
- ② 岩体力学性质的结构效应法则;
- ③ 环境因素对岩体力学性质的影响;
- ④ 岩体力学性质形成规律研究。

工程地质定量化工作,实质上就是地质因素特征定量描述及其力学效应研究。岩体的地质因素很多。为了掌握岩体地质特征常进行岩体结构分类。岩体结构分类带有很大的人为成分,它只能一般地提供给我们评价和认识岩体质量的有关资料,作为力学研究是不够的。力学研究必须定量化,如何定量化研究岩体结构是一个新问题。我们认为不管岩体结构怎样划分,但岩体结构单元是客观存在的,它不以人们的意志为转移。如结构体形状、尺寸;结构面充填状况、空间分布、切割密度等;软弱夹层厚度、变化及展布等特征都是客观存在的,对这些要给以定量表征。在此基础上,再来研究岩体结构及其力学效应。前一部分是地质规律,后一部分是力学规律。对岩体力学来说,这两个方面缺一不可。环境因素也是一样,首先要把它的存在规律查清楚,给予定量表征,然后,对其力学效应进行研究。在上述研究基础上才能研究岩体力学规律。丢掉地质前题,研究岩体力学规律是空的。例如岩体变形及其本构关系,如不了解变形的地质成分,凭想象研究本构规律等于是臆造。岩体破坏研究也是一样。当前是库仑-莫尔法则统治着岩体破坏判据。实际上不是这样,因为岩体的破坏机制不是一种,只用一种破坏判据统治岩体破坏判据是行不通的。同样,必须在具体的地质研究基础上,搞清其破坏机制才能给出正确的破坏判据。岩体力学性质的研究同样如此,不搞清楚岩体的地质特征,不搞清楚地质因素对岩体力学性质的影响,那就不可能对岩体力学性质作出正确的评价。上述表明,岩体力学研究一步也离不开工程地质工作。岩体力学的基础理论便是“地质控制论”,再概括一下可以称为“岩体结构控制论”或“结构控制论”。这个大前题一定,其它问题就好处理了。如岩体可以划分为四种力学介质,就是岩体结构控制的。如果所研究的岩体属于连续介质,现有的连续介质力学理论和方法都好用。如果所研究的岩体是块裂、板裂或碎裂介质,而不是连续介质,则就不能简单地用连续介质力学理论和方法去研究其力学作用。如果岩体力学介质不清楚,那么就很难有把握地做出正确地岩体力学分析。搞清岩体力学介质的基础是岩体的地质特征研究。根据上面的分析,我们确有把握地说,岩体力学是工程地质定量化研究

的手段,工程地质是岩体力学研究的基础,这两者相互依存,不能分开。尤其是岩体力学研究一步也离不开工程地质。否则,必将导致岩体力学理论脱离实际的结局。

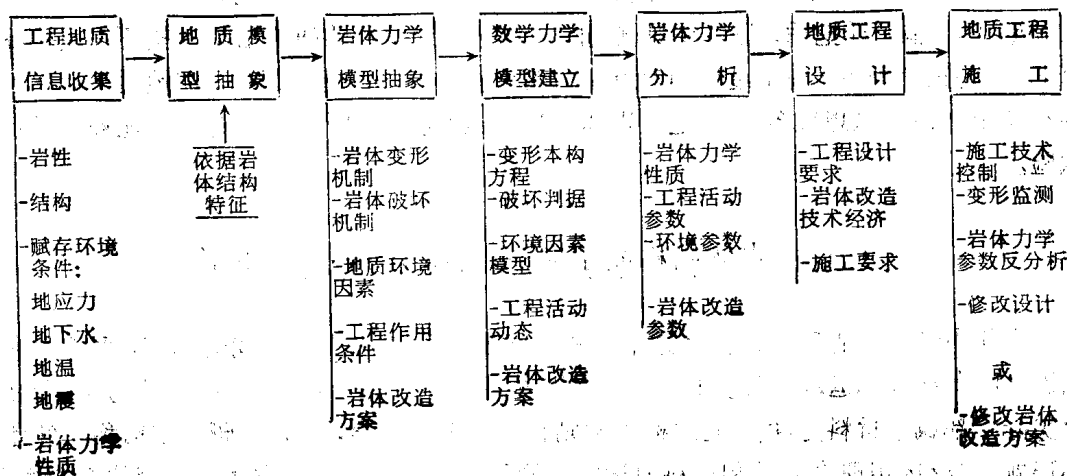
(四) 岩体力学的属性及特色

这个问题涉及到学科功能及学科演化问题。著者认为,首先应认识到,岩体力学是工程地质和地质工程设计、施工研究的桥梁,是工程地质定量化的手段。岩体力学是应用性很强的基础学科。没有地质工程也就没有岩体力学;没有工程地质也建立不起来岩体力学基础。从这个意义上来说,应该承认,岩体力学是工程地质分支学科,这是岩体力学的第一个特色。它的理论是建立在工程地质基础之上的。岩体力学工作者必须明确,岩体力学首先是地质体力学;其次,岩体力学是工程地质与工程力学相互渗透而形成的边缘学科。这个渗透是工程力学知识渗透到工程地质研究领域来,而不是工程地质知识渗透到工程力学里去;是以工程地质研究为基础,运用工程力学知识解决地质工程问题,而不是反过来。所谓以工程地质为基础,实际上主要是以岩体结构为基础。研究岩体力学时岩体结构不是可考虑,也可不考虑的一个因素,而是岩体力学的基础。如果没有岩体结构的特殊性,也就没有岩体力学的特殊性,换句话说,岩体力学也就构不成一个分支学科,这是岩体力学的第二个特色。这个特色可以用下面的略图表示。



岩体力学的第三个特色是综合性很强。这项工作不仅要考虑地质因素,而且要考虑工程建筑因素;不仅要考虑静的作用,而且要考虑动的作用;不仅要考虑第一环境因素,而且要考虑第二环境的反馈作用;不仅要考虑今天的现状,而且还要考虑这些因素的变化和可能引起的岩体力学性质的变化等。岩体力学工作者和工程地质工作者一样,一定要把视野放宽一些,思维辩证些。下面的略图可以帮助我们理解这个特色。这个略图说明,岩体力学工作不是简单的试验和计算,而是一项工程,即一项为地质工程服务的综合性很强的工作。下面略图表明,岩体力学工作的第一步必须搜集地质信息,包括岩性、结构、岩体赋存环境条

岩体力学工作程序略图



件,也包括岩体力学性质。岩体力学工作最重要的一环是把地质信息抽象为力学模型。为此,首先要以岩体结构为纲,将地质信息抽象为地质模型。地质模型实际上是岩体结构图。在地质模型-地质构造图基础上,研究各种作用,如变形机制、破坏机制。在此基础上,进一步抽象为不同的岩体力学介质。有的可以抽象为连续介质,有的可抽象为块裂或板裂介质,有的可抽象为碎裂介质。然后,根据工程作用条件再抽象为不同的力学模型。有的力学介质只能抽象为一种力学模型,有的可抽象为若干种力学模型。一般来说,完整结构岩体和块裂结构岩体只能抽象为一种力学模型;而板裂结构和碎裂结构岩体则可构成多种力学模型,如板裂结构岩体可形成溃屈力学模型、倾倒力学模型、梁板弯折力学模型等。岩体力学模型选定后,才能输入本构方程、破坏判据、工程活动方案、岩体改造方案,给出数学力学模型、进行力学分析和地质工程设计。到此,岩体力学工作还没有完成,还有第二个回合,即在施工过程中组织变形监测和岩体力学参数反分析。在这每一步过程中都要求进行大量的综合分析。综合分析是岩体力学工作中一步也离不开的方法。综合分析是岩体力学的第三个特色。

岩体力学中许多问题是很复杂的,不容易搞清楚。不论是岩体结构因素,还是岩体力学性质因素,都不可能绝对有把握的搞清楚。它带有很大的不确定性或模糊性。不确定性或模糊性也是岩体力学的一个重要特色。这是岩体力学的第四个特色。正因为岩体力学具有这个特色,所以出现了试图解决这个问题的“实用岩体力学”的倡导。“实用岩体力学”认为,岩体结构、岩体赋存环境、岩体力学性质不可能在地质工程设计前的岩体力学研究阶段内彻底搞清楚,而且也不可能都有唯一的确定解。这个问题可以通过模糊数学分析及施工过程中进行岩体变形监测,通过反分析取得工程作用岩体的岩体结构和岩体力学参数,修改设计,补充岩体改造措施来解决。反分析取得的岩体力学参数是工程岩体的有实际意义的综合参数。应当注意,反分析中选用的力学模型对分析结果的意义具有控制作用。它必须由理论岩体力学来指导而作出正确判断才有实际意义。在反分析中所用的岩体力学模型具有“黑箱模型”的特点,不是真实的岩体实际,如果能够比较接近实际,是很有用的,而且是很好用的。这就是说岩体力学特性很难在工程设计和施工前确切地搞清楚,也可以说是测不准的,其研究结果具有不确定性。应该承认,这是岩体力学的一个特色。这就提出了一个问题,在设计阶段要求岩体力学研究到什么程度就算满足了要求呢?著者认为,大的问题不漏掉,搞清轮廓,施工期间不致于造成大返工和推翻设计方案就够了。施工开始后,观察和观测到的资料与设计阶段的研究结果有些不符是不足为奇的,这是正常现象,施工过程中对设计方案做些小修小改是正常的,在地质工程工作中要有这个认识和思想准备。这是由岩体力学特色所决定的,不能没完没了地补充勘探和试验。

(五)“岩体结构控制论”是岩体力学的基础理论

岩体力学的基础理论是什么这个问题有必要进行专门讨论。我们知道,理论力学研究的是刚体平衡和运动条件。材料力学研究的是材料变形和破坏条件。弹性力学、塑性力学实际上都属于材料力学。而结构力学则有别于上述力学,它是以研究结构稳定性为中心课题、广泛运用理论力学和材料力学知识的科学。不仅如此,它还有一套独立的概念。