

软岩工程力学

◆
何满潮
景海河 著
孙晓明
◆

科学出版社

软 岩 工 程 力 学

何满潮 景海河 孙晓明 著

科 学 出 版 社

2002

内 容 简 介

本书从软岩的概念出发,把工程地质学研究和非线性大变形力学研究相结合,通过研究软岩的微观和宏观的物理力学特性、软岩变形力学机制、复合型软岩变形力学机制的转化以及软岩非线性大变形力学设计方法等,形成了软岩工程力学的理论体系。全书共分10章:第一章综述了软岩工程力学理论研究现状;第二章提出了软岩的概念与分类体系;第三章系统地研究了软岩的物理力学特征;第四章介绍了软岩工程岩体力学及软岩大变形力学基础;第五章介绍了软岩工程控制理论;第六章提出了软岩巷道支护荷载的确定方法;第七章建立了适合软岩特性的软岩工程非线性大变形力学设计方法;第八章介绍了软岩工程稳定性控制技术;第九章介绍了典型软岩巷道支护工程实践;最后一章对21世纪软岩工程新技术进行了展望。

本书内容丰富、理论先进、技术可行、叙述系统,是国内外第一本既有理论又有大量工程实践的软岩工程力学方面的专著,可供煤炭、水利、矿山、土木、铁道、人防、国防、交通等系统的广大科技工作者及相关专业的高校师生、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

软岩工程力学/何满潮,景海河,孙晓明著. —北京:科学出版社,2002
ISBN 7-03-010340-8

I. 软… II. ①何… ②景… ③孙… III. 软弱岩石-岩石力学
IV. TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 020382 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年5月第一版 开本:720×1000 B5

2002年5月第一次印刷 印张:16 1/4

印数:1—3 500 字数:318 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

软岩问题从 20 世纪 60 年代就作为世界性难题被提了出来,特别是煤矿软岩问题一直是困扰煤矿生产和建设的重大难题之一。“九五”期间,我国 10 个能源建设基地有 8 个都相继出现了软岩问题,造成多对矿井的停产停建。全国有 30 多个矿区存在着软岩问题,每年约有 $6 \times 10^6 \text{m}$ 的巷道在软弱围岩中开掘,随着开采深度的增加,软岩问题愈趋严重,直接影响煤矿安全生产,危及人身安全。随着人类工程活动的不断增强,在大型隧道工程和边坡工程中,如安太堡露天煤矿边坡、抚顺露天煤矿边坡、小浪底导流隧洞工程等等也相应出现了软岩问题。

软岩是一种特定环境下的具有显著塑性变形的复杂岩石力学介质,其基本力学理论和方法迫切需要深入研究。为此,国际岩石力学学会和广大岩石力学工作者做出了不懈努力。然而,多年来关于软岩的概念、软岩工程设计等理论问题,国内外一直尚无定论,给工程应用带来了诸多不便。

软岩工程力学是近年来发展起来的,是与岩石力学有关的一门新兴力学分支,它是借助工程地质学和大变形力学的集成分析方法,研究在工程力扰动作用影响范围内软岩工程岩体的力学行为的科学。和常规力学不同,软岩工程力学特别注重研究软岩变形破坏后又重新达到稳定状态的规律。

作者从软岩的概念研究入手,把工程地质学研究和非线性大变形力学研究相结合,建立了以软岩的概念及分类、软岩连续性概化模型和连续性概化方法、软岩本构关系模型及其参数确定、软岩工程岩体大变形计算方法的应用、软岩工程非线性大变形力学设计等为基础的软岩工程力学理论体系。同时,以该理论体系为基础,注重软岩巷道的变形机制确定和复合型软岩转化技术研究。在调查分析的基础上,用实验室非线性大变形力学数值模拟试验来再现破坏过程,优化、预测和模拟新支护方案的过程和效果,优选出最佳方案,在现场软岩巷道支护中实施和验证,完成实践-认识-再实践-再认识的过程,从而探索出各种类型软岩工程支护技术。通过近十余年的理论研究和工程实践,软岩工程力学新理论、新设计和新技术不断得到完善和发展,解决了所承担的煤炭、水利、交通、国防等 22 个工程单位 31 项关键工程和国际合作项目中的软岩支护难题,取得了显著的经济效益和社会效益。

本书是何满潮教授十余年来关于软岩工程力学理论与实践研究成果的总结。景海河博士和孙晓明博士分别在深部软岩变形机制和软岩巷道支护计算方面做出了贡献,并协助何满潮教授完成了书稿。何满潮教授的研究生邹正盛博士、邹友峰博士、李洪志博士、姜衍祥博士、姚爱军博士、王旭春博士、苏永华博士、薛廷河博

士、段庆伟博士、武雄博士、刘天习硕士、张晗硕士、赵俊龙硕士、王树仁硕士等在参加作者所领导的软岩科研项目中做了大量的工作,对本书的形成做出了一定的贡献;聂孟荀教授、夏家腾教授级高工审阅了全书,并提出了许多宝贵的意见;本书的理论研究得到了国家杰出青年科学基金项目(No. 59825114)的资助。在此一并表示衷心的感谢。由于作者水平有限,书中难免存在一些缺点和不足,恳请专家、学者不吝批评和赐教!

目 录

前 言

第一章 绪论	1
1.1 软岩工程力学的概念	1
1.2 软岩工程力学的研究现状	1
1.3 岩石力学理论在工程应用中存在的主要问题	5
1.4 软岩工程力学的研究内容及研究方法	7
第二章 软岩的概念及其分类	10
2.1 软岩的概念.....	10
2.2 软岩的基本力学属性.....	12
2.3 软岩的工程分类体系.....	14
第三章 软岩的物理力学特性	20
3.1 软岩的成分.....	20
3.2 软岩中的膨胀性矿物及其特征.....	23
3.3 我国膨胀软岩的赋存特点.....	29
3.4 软岩的力学特性.....	31
3.5 软岩的工程力学特性.....	35
3.6 软岩的抗剪强度恢复.....	42
第四章 软岩工程岩体力学基础	45
4.1 软岩工程岩体的连续性模型概化.....	45
4.2 软岩工程岩体的本构关系.....	51
4.3 软岩大变形几何场理论.....	62
4.4 软岩工程岩体强度.....	80
4.5 软岩工程岩体力学参数确定新方法.....	89
第五章 软岩工程稳定性控制理论	94
5.1 软岩变形力学机制.....	94
5.2 软岩变形力学机制的确定	100
5.3 软岩巷道支护技术关键	101
5.4 软岩巷道支护原理	102
5.5 最佳支护时间和最佳支护时段	103
5.6 关键部位耦合支护理论	105
第六章 软岩巷道支护荷载的确定	108

6.1	静压条件下软岩巷道支护荷载的确定	108
6.2	动压条件下软岩巷道支护荷载的确定	128
第七章	软岩工程非线性大变形力学设计方法	135
7.1	软岩工程支护原则	135
7.2	软岩巷道非线性大变形力学设计方法	136
7.3	软岩巷道支护非线性大变形力学设计数值分析	140
第八章	软岩工程稳定性控制新技术	154
8.1	软岩泵房吸水井集约化	154
8.2	刚柔层(RFL)和刚隙柔层(RGFL)支护技术	156
8.3	超前锚杆支护技术	158
8.4	锚杆与围岩耦合支护技术	163
8.5	锚网耦合支护技术	165
8.6	锚网-锚索耦合支护技术	169
8.7	立体桁架支护技术	170
第九章	软岩巷道支护工程实践	172
9.1	S型软岩巷道支护工程实践	172
9.2	H型软岩巷道支护工程实践	183
9.3	J型软岩巷道支护工程实践	196
9.4	HS复合型软岩巷道支护工程实践	205
9.5	HJ复合型软岩巷道支护工程实践	217
9.6	HJS复合型软岩巷道支护工程实践	235
第十章	软岩工程新技术展望	244
10.1	软岩工程信息技术	244
10.2	软岩工程测试技术	245
10.3	软岩实验技术	246
参考文献		248

第一章 绪 论

1.1 软岩工程力学的概念

软岩工程系指与塑性大变形工程岩体有关的岩体工程,如软岩边坡工程、软岩隧道及软岩巷道工程等^[1]。

煤与沉积岩体共生,沉积岩体与火成岩体、变质岩体比较,往往是强度低、变形较大,特别是沉积岩岩体中与煤系地层共生的砂质页岩、泥岩、泥质砂岩类岩体更是如此。因此,煤矿软岩巷道工程出现问题更为突出。本书的软岩工程一词,主要指煤矿软岩巷道工程,简称软岩工程。软岩工程的研究任务,就是研究软岩巷道的变形力学机制及软岩巷道的支护对策技术。

软岩工程力学是近年来发展起来的,是与岩石力学有关的一门新兴力学分支,它是借助工程地质学和大变形力学的集成分析方法,研究在工程力扰动作用影响范围内软岩工程岩体的力学行为的科学。

软岩工程力学一方面强调地质体受地质过程和地质建造的影响,其力学行为有过去地质构造的烙印;另一方面,软岩工程力学强调工程扰动力的作用以及工程岩体在其作用下所发生的显著塑性变形。显著的塑性变形是指以塑性变形为主体的变形量超过了工程设计的允许变形值并影响了工程的正常使用,它包含显著的弹性变形、粘弹塑性变形、连续变形和非连续变形等。受扰动作用影响范围内的工程岩体是软岩工程力学研究的主要对象,包括岩块、结构面及其空间组合特征。

软岩工程力学是研究和解决软岩工程问题的理论基础。

1.2 软岩工程力学的研究现状

1.2.1 软岩巷道支护理论

20 世纪初发展起来的以 Haim、Rankine 和 Ишук 理论^[2]为代表的古典压力理论认为,作用在支护结构上的压力是其上覆岩层的重量 γH 。其不同之处在于: A. Haim 认为侧压系数为 1, W. J. M. Rankine 根据松散体理论认为是 $\tan^2(45^\circ - \varphi/2)$, 而 A. H. Ишук 根据弹性理论认为是 $\mu/(1-\mu)$, 其中, μ 、 φ 、 γ 分别表示岩体的泊松比、内摩擦角和容重。

但是随着开挖深度的增加,人们发现古典压力理论许多方面都有不符合实际之处,于是,坍塌拱理论应运而生,其代表有 Terzaghi 和 Протоdjяконов 理论^[3]。坍塌

落拱理论认为:坍落拱的高度与地下工程跨度和围岩性质有关。K. Terzaghi 认为坍落拱形状为矩形,而 М. М. ПротоДьяконов 则认为坍落拱形状呈抛物线形。坍落拱理论的最大贡献是提出巷道围岩具有自承能力。

20 世纪 50 年代以来,人们开始用弹塑性力学来解决巷道支护问题,其中最著名的是 Fenner^[4]公式和 Kastner^[5]公式。

20 世纪 60 年代,奥地利工程师 L. V. Rabcewicz 在总结前人经验的基础上,提出了一种新的隧道设计施工方法,称为新奥地利隧道施工方法(New Austrian Tunneling Method),简称新奥法(NATM)^[6],新奥法目前已成为地下工程的主要设计施工方法之一。1978 年,L. Müller 教授比较全面地论述了新奥法方法的基本指导思想和主要原则,并将其概括为 22 条。

1980 年,奥地利土木工程学会地下空间分会把新奥法定义为“在岩体或土体中设置的以使地下空间的周围岩体形成一个中空筒状支承环结构为目的的设计施工方法”。新奥法的核心是利用围岩的自承作用来支撑隧道,促使围岩本身变为支护结构的重要组成部分,使围岩与构筑的支护结构共同形成坚固的支承环。新奥法自奥地利起源之后,先后在欧洲诸国,特别是在意大利、挪威、瑞典、德国、法国、英国、芬兰等大量修建山地与城市隧道的国家得以应用与发展,然后世界各国,特别是亚洲的日本、中国、印度;北美洲的美国、加拿大;南美洲的巴西、智利;非洲的南非、莱索托以及大洋洲的澳大利亚、新西兰等国家都成功地把它应用于一些不同地质情况下的隧道施工之中,并且从最初的隧道施工扩展到采矿、冶金、水利电力等其他岩土工程领域。虽然新奥法的应用已如此广泛,但不同的应用者对它的解释还存在着许多矛盾^[7~9]。实际工程中存在着一种倾向,就是盲目地把新奥法应用于不适宜的地质条件,因而使这些巷道工程出现这样或那样的问题。这种情况在我国也同样存在,尤其是煤矿,人们对软岩的物理含义和力学性质理解不够,对利用仪器进行巷道变形及荷载测量的重要性认识不足,不仅时常出现不合理地套用新奥法理论来解释煤矿采动影响巷道、极软弱膨胀松散围岩巷道的支护机理,而且也出现过因应用新奥法不当而造成锚喷或锚喷网支护的巷道大面积垮落、坍塌等事故,导致人力、物力的巨大浪费与损失。

日本山地宏和樱井春辅提出了围岩支护的应变控制理论^[2]。该理论认为,隧道围岩的应变随支护结构的增加而减小,而容许应变则随支护结构的增加而增大。因此,通过增加支护结构,能较容易地将围岩应变控制在容许应变范围之内。支护结构的设计则是在由工程测量结果确定了对应于应变的支护工程的感应系数后确定的。

20 世纪 70 年代,M. D. Salamon 等人又提出了能量支护理论^[2]。该理论认为,支护结构与围岩相互作用、共同变形,在变形过程中,围岩释放一部分能量,支护结构吸收一部分能量,但总的能量没有变化。因而,主张利用支护结构的特点,使支架自动调整围岩释放的能量和支护体吸收的能量,支护结构具有自动释放多余

能量的功能。

目前,数值计算方法的发展日趋成熟,如有限单元法、边界元法、离散元法等,以此为理论基础的计算机软件大量涌现,如 ADINA、NOLM、FINAL、UDEEC、SAP、FLAC 等程序都为广大用户所熟知,这些软件与一些支护理论相结合,在地下工程支护中得到了广泛的应用。

我国软岩巷道支护系统研究工作始于 1958 年,当时辽宁的沈北矿区开发,在前屯矿建设中出现井口报废,以致停工数年。此后,蒲河矿、大桥矿、京西木城涧矿也出现重大技术事故。为此,原煤炭工业部集中了一些科研院所、高校和设计院的技术力量,在前屯矿二、三井进行了多种巷道支护形式的试验和测试工作,在巷道断面、支护形式及施工工艺等方面都取得了初步经验。

20 世纪 80 年代以来,与软岩工程相关的全国性会议召开了 20 余次,使地下工程软岩问题的理论研究进入了一个新的阶段。

于学馥教授等人(1981)提出“轴变论”理论^[10],认为巷道坍塌可以自行稳定,可以用弹性理论进行分析,围岩破坏是由于应力超过岩体强度极限引起的,坍塌改变巷道轴比,导致应力重分布,应力重分布的特点是高应力下降,低应力上升,并向无拉力和均匀分布发展,直到稳定而停止。应力均匀分布的轴比是巷道最稳定的轴比,其形状为椭圆形。近年来,于学馥教授等人运用系统论、热力学等理论提出开挖系统控制理论^[11,12],该理论认为:开挖扰动破坏了岩体的平衡,这个不平衡系统具有自组织功能。

冯豫、陆家梁、郑雨天、朱效嘉教授等提出的联合支护技术是在新奥法的基础上发展起来的^[1],其观点可以概括为:对于巷道支护,一味强调支护刚度是不行的,要先柔后刚,先抗后让,柔让适度,稳定支护。由此发展起来的支护形式有锚喷网技术、锚喷网架技术、锚带网架技术、锚带喷架等联合支护技术。

孙钧、郑雨天和朱效嘉教授等提出的锚喷-弧板支护理论^[1]是对联合支护理论的发展。该理论的要点是:对软岩总是强调放压是不行的,放压到一定程度,要坚决顶住,即采用高标号、高强度钢筋混凝土弧板作为联合支护理论先柔后刚的刚性支护形式,坚决限制和顶住围岩向中空位移。

松动圈理论^[13]是由中国矿业大学董方庭教授提出的,其主要内容是:凡是坚硬围岩的裸体巷道,其围岩松动圈都接近于零,此时巷道围岩的弹塑性变形虽然存在,但并不需要支护。松动圈越大,收敛变形越大,支护难度就越大。因此,支护的目的在于防止围岩松动圈发展过程中的有害变形。

主次承载区支护理论^[14]是由方祖烈教授提出,认为巷道开挖后,在围岩中形成拉压域。压缩域在围岩深部,体现了围岩的自撑能力,是维护巷道稳定的主承载区;张拉域形成于巷道周围,通过支护加固,也形成一定的承载力,但其与主承载区相比,只起辅助的作用,故称为次承载区。主、次承载区的协调作用决定巷道的最终稳定。支护对象为张拉域,支护结构与支护参数要根据主、次承载区相互作用过程

中呈现的动态特征来确定。支护强度原则上要求一次到位。

应力控制理论^[15],也称为围岩弱化法、卸压法等。该方法起源于前苏联,其基本原理是通过一定的技术手段改变某些部分围岩的物理力学性质,改善围岩内的应力及能量分布,人为降低支承压力区围岩的承载能力,使支承压力向围岩深部转移,以此来提高围岩稳定。

软岩工程力学支护理论^[1,16~23]是由何满潮教授运用工程地质学和现代大变形力学相结合的方法,通过分析软岩变形力学机制,提出的以转化复合型变形力学机制为核心的一种新的软岩巷道支护理论。它涵盖了从软岩的定义、软岩的基本属性、软岩的连续性概化,到软岩变形力学机制的确定、软岩支护荷载的确定和软岩非线性大变形力学设计方法等内容。近10年来,该理论在我国8个省15个局矿的推广应用均取得了成功,经济效益和社会效益显著。

1.2.2 软岩工程技术

在软岩巷道支护方面,由过去单一的支护形式逐步发展为各种多次支护、联合支护形式,并形成了各种系列支护技术,如锚喷、锚网喷、锚喷网架、锚喷网架注系列技术、钢架支护系列技术、钢筋混凝土支护系列技术、料石喧支护系列技术、注浆加固系列技术和预应力锚索支护系列技术。特别是近年来锚索技术的发展十分迅速,已经成为深部矿井软岩巷道支护的重要技术,其独特优点是能把深部围岩强度调动起来,和浅部支护岩体共同作用,控制巷道稳定性,这将是21世纪我国软岩巷道支护的主流方向。

1.2.3 软岩工程设计

20世纪60年代和70年代,软岩工程设计基本上沿用工程类比设计。进入80年代,出现了位移反馈设计、松动圈支护荷载设计、弹塑性力学数值法设计。到90年代,又出现了锚网耦合设计和关键部位二次耦合设计。90年代末期,我国软岩工程设计与施工初步形成了一套比较成熟的将类比定性、定量计算和施工位移反馈相结合的动态综合设计程序。

1. 工程类比方案设计

工程类比的依据是系统的、可靠的基础资料,主要包括围岩的地质、水文、工程地质资料,岩石的物理、化学、力学性质以及工程环境资料,类似地质条件相邻矿井的支护及围岩变形的有关资料。在对这些资料、工程条件分析的基础上进行类比方案设计。

2. 理论验算进行参数校核

理论验算是根据软岩工程岩体和工程环境的有关资料确定软岩类别、岩体结构、地压显现类型,建立正确的力学模型和计算方法。通过验算巷道周边位移预计、支架的最大反力及支护结构力学参数等,从总体上验算类比法所选取的支架类型

和支架设计参数是否符合巷道围岩变形规律。随着电子计算机和各种计算软件的迅速发展,使得理论验算校核类比参数变得更加高效、快捷。

3. 施工监测与反馈设计

根据软岩工程的现场试验观测数据进行有关工程参数的高速反馈十分重要。因此,巷道开工后立即加以实验、监测等是十分必要的,监测的主要内容是:

- (1)岩石的物理力学性质的确定。
- (2)软岩巷道收敛变形规律。
- (3)巷道围岩施加于支护上的实际荷载。
- (4)典型地段的巷道围岩深部位移。

对上述4部分实测资料进行分析整理,然后调整工程设计参数,使设计更为完善。

值得提出的是,近几年,随着非线性力学理论的发展和对软岩工程的深入研究,软岩工程正面临着从小变形岩土工程向大变形岩土工程飞跃。例如,深埋隧道工程的大变形岩土工程大量涌现,若仍然沿用常规设计,就可能发生失稳、塌方等事故。深刻的理论原因是深埋隧道区别于浅埋隧道的显著力学标志是大变形、大地压、难支护。近年来,屡屡发生的岩土工程恶性事故也在呼唤着软岩工程设计的新阶段——非线性大变形力学设计理论及方法^[24]。

1.3 岩石力学理论在工程应用中存在的主要问题

岩石力学发展到今天,为解决工程实际问题提供了有力的理论指导,做出了巨大的贡献。但是,在当今日益复杂的工程实践中也存在着许多问题,正如孙广忠教授在他的著作《岩体结构力学基础》(1991)的前言中写的那样:岩体力学的现状是“声誉很高,信誉尚低”。为什么岩石力学的发展具有这样一个现状呢?我们认为主要有以下5方面的原因。

1. 工程岩体的连续性问题

人们普遍认为工程岩体是一种高度非连续介质,但迄今为止,人们沿用的力学理论是连续介质力学理论,因此,发表的很多岩体力学研究文献都属于用连续介质力学理论来分析人们认为是高度非连续介质的岩体力学问题,这本身确实是一个尖锐的矛盾。

2. 工程岩体的本构关系问题

工程岩体的本构关系既不是岩块的本构关系,也不是岩体结构面的本构关系,而是结构面和岩块在空间呈一定组合状态,又在地下水等复杂因素影响之下受到工程力的扰动所表现出来的应力应变之间的关系。这样的本构关系很难确定;但另一方面,我们在进行岩体力学分析时,又必须用到岩体的本构关系,这是一个很强烈的矛盾。

E. Heok 于 1981 年在伦敦“Rankine Lecture”所做的学术报告“Strength of Jointed Rock Masses”中讲到,岩体的本构关系是一个非常繁难的理论课题和实际问题,现在还没有真正解决。由此可见,工程岩体的本构关系问题是一个世界性难题。

3. 工程岩体的大变形问题

实践中出现的工程岩体力学问题是大变形问题,如开采沉陷、软岩巷道的底臃、收帮等,它们有的为几十厘米,有的达到几米(如图 1.1 所示),显然是大变形问题。然而,工程岩体力学目前沿用的弹塑性理论虽然考虑了材料的物理非线性问题,但严格地从几何理论角度看,仍然是小变形近似理论。因此,岩石力学面临的状况是正在用小变形假设为前提的弹塑性理论来解决工程岩体大变形问题,这实际上构成了岩体力学的第三个基本矛盾。

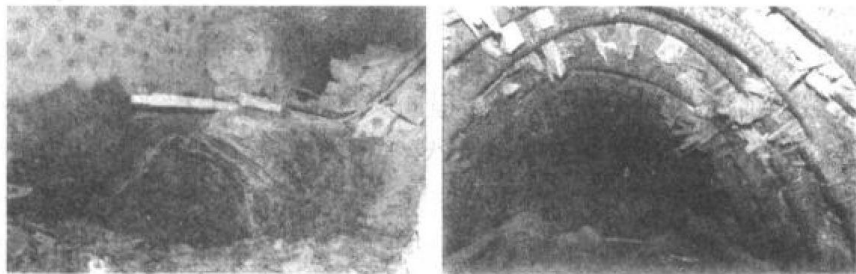


图 1.1 工程岩体的大变形

4. 岩体结构的惟一性问题

我国岩体力学的研究在国际上独树一帜,处于国际先进水平。我国学者建立的岩体力学的理论核心是岩体结构控制论。然而研究表明,岩体结构的确定存在着惟一性问题。

一般说来,岩体力学理论将岩体结构分为整体结构、块状结构、层状结构、碎裂结构和散体结构。划分的依据是建立在对结构面、结构体形成过程和所具备特性研究的基础上,根据结构面发育程度和特性、结构体组合排列和接触状态,深入探讨它们的工程地质特性和在工程作用下不同岩体的不同反应。但是,在实际工程应用中,由于工程规模或尺寸的变化,岩体的结构也是相对的,应以工程尺寸作为划分岩体结构类型的参考系,否则就会造成应用上的困难。图 1.2 为某一工程岩体,其中发育着两组近于正交的节理。对于这一工程岩体,其岩体结构类型随工程尺寸的变化而不同。图中 1、2、3、4、5 为待建的不同规模的洞室,由图可以明显看出:相对于 1 号洞室,该岩体可视为整体结构;而相

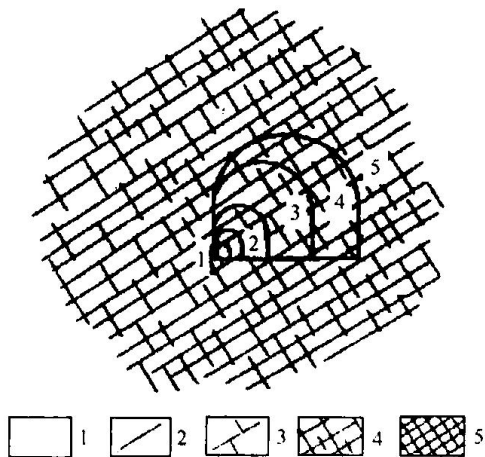


图 1.2 岩体结构

1. 整体结构;2. 块状结构;3. 块裂结构;
4. 碎裂结构;5. 散体结构

对于 1 号洞室,该岩体可视为整体结构;而相

对于 2、3、4、5 号洞室,该岩体应分别划分为块状结构、块裂结构、碎裂结构和散体结构。这也清楚地表明,在地质条件的客观基础上,只有当工程尺寸一定时,岩体结构才是确定的。

5. 工程岩体力学设计理论和设计方法问题

工程岩体的变形是高度非线性的,其力学设计应该非线性大变形力学设计。目前,研究岩体非线性力学问题的很多,但是对如何进行非线性力学设计的研究却甚少。因此,截至目前,工程岩体力学设计仍属于以小变形力学为依据的参数设计方法。然而,对于大变形软岩工程而言,其标志是进入了塑性变形阶段,其设计必须依据非线性大变形力学理论。非线性大变形力学区别于线性小变形力学的是其研究的工程岩体已进入到塑性、粘塑性和流变性的阶段,研究的能量场是耗散场,在整个力学过程中,已不服从叠加原理,而且力学平衡关系与各种荷载特性、加载过程密切相关,不同的加载特性及加载过程应对应不同的力学对策,因此,它的设计不能用简单的参数设计,必须按照其特性进行非线性大变形力学设计。

1.4 软岩工程力学的研究内容及研究方法

1.4.1 研究内容

1. 软岩工程力学理论研究

包括软岩的概念体系、软岩的基本特征与基本力学属性,软岩的强度恢复特性,软岩的工程分类,软岩巷道变形力学机制及转化,软岩工程岩体的连续性概化,软岩工程岩体的本构关系,软岩工程岩体的大变形问题,软岩工程岩体强度的确定,软岩巷道支护原理及支护荷载的确定,关键部位耦合支护理论等。

2. 软岩工程新技术、新设计方法

包括软岩巷道支护原则,软岩巷道支护非线性力学设计方法,泵房吸水井集约化设计、刚柔层(RF)和刚隙柔层支护技术、锚网耦合支护技术、锚索-锚网耦合支护技术及立体桁架支护技术等软岩巷道支护新设计与新技术体系的研究。

3. 软岩巷道支护技术的应用研究

包括膨胀(S)型软岩、高应力(H)型软岩、节理化(J)型软岩及复合型(HS、HJ、HJS)软岩等 6 类软岩巷道支护技术的应用研究。

1.4.2 研究方法

在综合分析前人研究资料的基础上,以软岩工程岩体力学为基础,以软岩的工程地质特征及软岩巷道变形力学机制为切入点,从软岩巷道支护理论研究、软岩工程设计研究和软岩巷道支护技术研究 3 个方面,全面系统地探求和建立适合我国国情的软岩巷道支护理论体系(图 1.3)。

(1)在理论研究方面,把工程地质学研究和工程力学研究相结合,通过软岩微

观 SEM 和 X 射线分析技术、细观偏光显微技术和宏观现场调查分析的手段,探索软岩的微观、细观和宏观的变形力学机制、支护破坏机理以及巷道支护-围岩相互作用的规律,总结出软岩巷道支护理论。

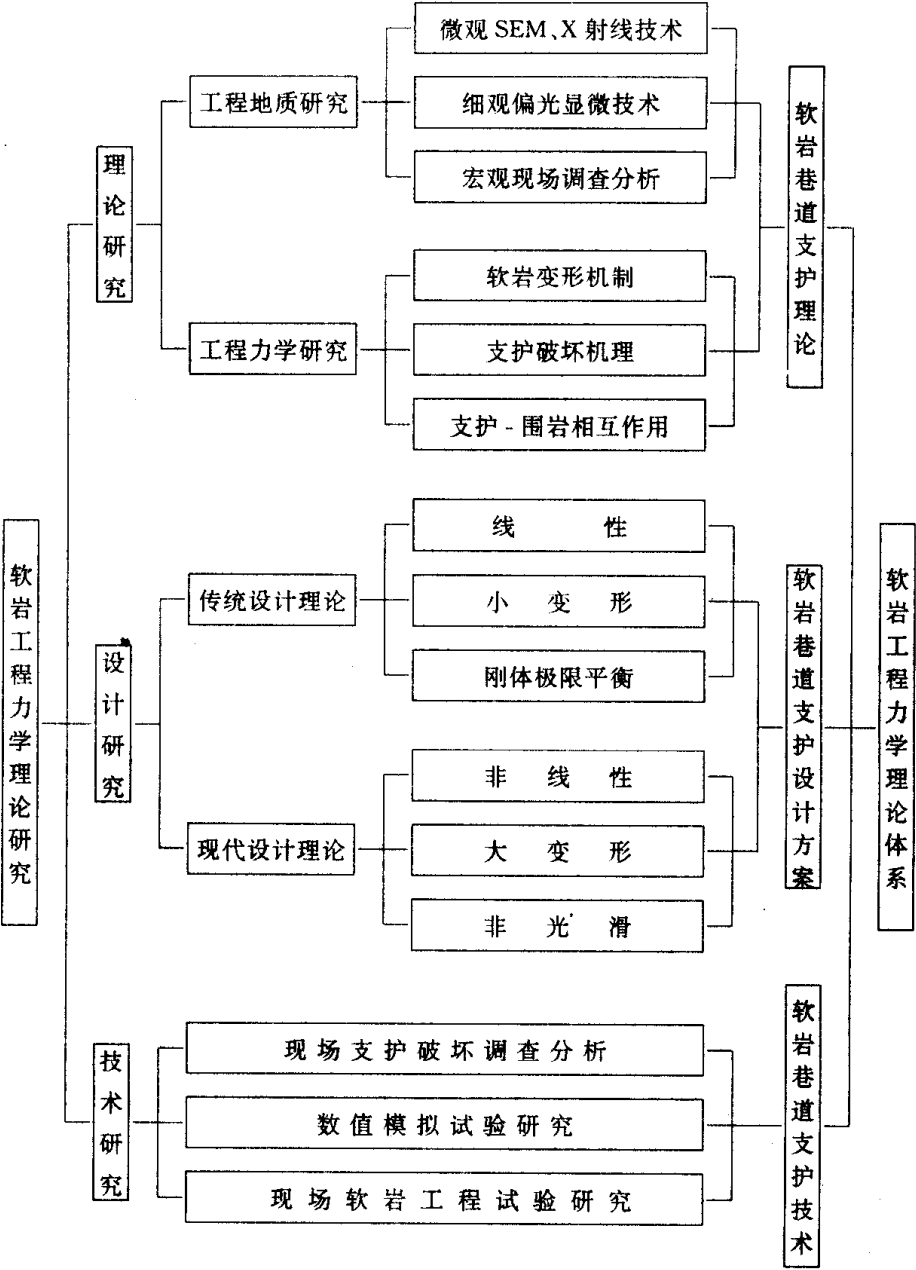


图 1.3 软岩工程力学理论研究总体思路

(2)在设计研究方面,把传统的设计理论(刚体力学、线性小变形力学)和现代设计理论(非线性、非光滑、大变形)加以比较,寻求适合于软岩巷道的设计方法。

(3)在技术研究方面,在十分注重现场支护破坏(相当于原位实验结果)调查分析的基础上,用实验室非线性大变形力学数值模拟试验来再现破坏过程,预测和模拟新支护方案的过程和效果,优选出最佳方案,在现场软岩巷道支护工程中实施和验证,完成实践-认识-再实践-再认识的过程,从而探索出各种类型的软岩巷道支

护技术。

(4)在现场施工、推广研究方面,坚持技术到位、管理到位和质量到位的组织原则,在实施现场组织精干的科研技术人员指导施工,及时反馈信息,做进一步的技术研究,为后续工程提供技术参考和优化方案。

第二章 软岩的概念及其分类

2.1 软岩的概念

2.1.1 概述

从 20 世纪 60 年代到 90 年代初,关于软岩的概念在国内外一直争论不休,产生的软岩定义多达几十种^[1]。1981 年 9 月,国际岩石力学学会委托日本力学协会召开了国际软岩学术讨论会,软岩的概念问题被作为重要的议题进行讨论。1984 年 12 月,我国煤炭工业部矿山压力情报中心站、《煤炭学报》编辑部、中国煤炭学会岩石力学专业委员会联合发起煤矿矿山压力名词讨论会,这次会议集中了国内矿山岩石力学方面的专家、学者,在昆明会议上专门讨论了松软岩层的定义。但是,在近几年的文献^[25~34]中,关于软岩的概念仍然名目繁多、定义各异,各有其优缺点,总括起来,大体上可分为描述性定义、指标化定义和工程定义 3 类。

1. 描述性定义

(1)原煤炭工业部矿山压力情报中心站副站长、软岩分站站长、长春煤炭研究所总工程师陆家梁提出,松软岩层系指松散、软弱的岩层,它是相对于坚硬岩层而言的。松软岩层由于成岩的时间短、结构疏松、胶结程度差,故自身强度很低。

(2)原煤炭工业部软岩分站副站长郑雨天、王明恕、何修仁教授等认为,软岩是软弱、破碎、松散、膨胀、流变、强风化蚀变及高应力的岩体之总称。

(3)淮南矿业学院朱效嘉教授提出,松软、破碎、膨胀及风化等岩层称为松软岩层,简称软岩。

(4)原东蒙煤炭公司的曾小泉高级工程师认为,松软岩层系松散破碎、软弱、强风化和膨胀性岩层的总称。

(5)1984 年 12 月,在昆明市举行的煤矿矿山压力名词讨论会上提出的定义是,松软岩层是指强度低、孔隙度大、胶结程度差、受构造面切割及风化影响显著或含有大量膨胀性粘土矿物的松、散、软、弱岩层。

(6)松软岩层是“低强度的岩体”。

2. 指标化定义

(1)ISRM(国际岩石力学学会,1990,1993)定义:软岩是指单轴抗压强度在 0.5~25MPa 的一类岩石。

(2)G. Russo(1994)定义:软岩指单轴抗压强度小于 17MPa 的岩石。

(3)抗压强度小于 20MPa 的岩层称为软岩。