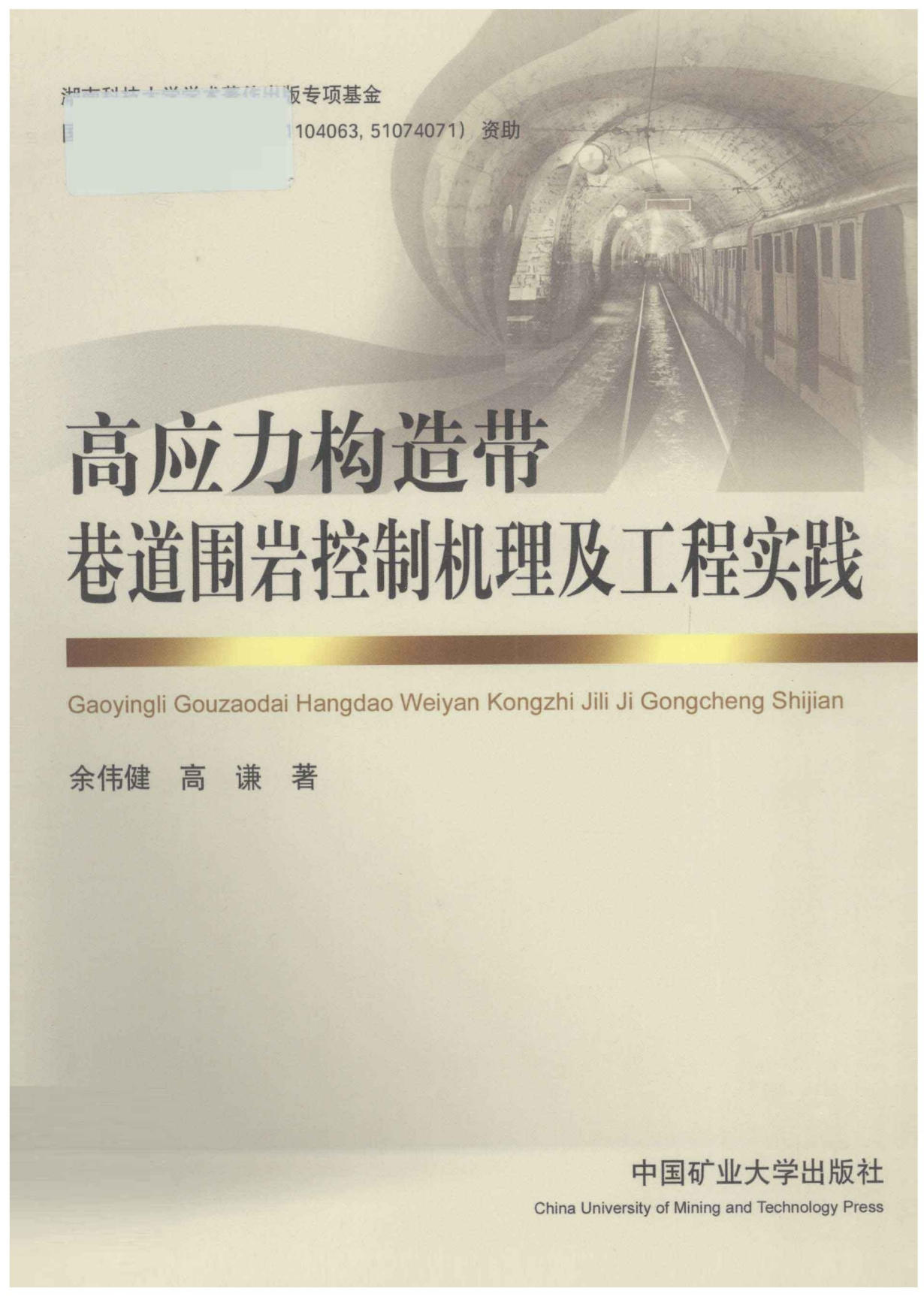


湖北省自然科学基金出版专项基金

104063, 51074071) 资助



高应力构造带 巷道围岩控制机理及工程实践

Gaoyingli Gouzaodai Hangdao Weiyang Kongzhi Jili Ji Gongcheng Shijian

余伟健 高 谦 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



著作出版专项基金

项目(51104063,51074071) 资助

高应力构造带巷道围岩 控制机理及工程实践

余伟健 高 谦 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书采用现场调查、监测、试验和理论分析等手段开展了高应力构造带巷道围岩的力学机制、控制机理和稳定性等问题的研究。主要内容包括:岩体结构面特征及力学参数、围岩变形特征及微细损伤分析、非线性耦合稳定性分析方法、流变特性及支护时机研究、动态开挖与适当让压支护设计、高应力采场巷道稳定性分析及其控制技术、叠加拱强度理论、围岩一支护承载体动态可靠度和长期稳定性。

本书可供从事采矿工程和地下工程等与岩石力学相关的高等学校教师及研究生、研究人员和设计人员参考,也可以供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高应力构造带巷道围岩控制机理及工程实践/余伟健,
高谦著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2012. 5

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1108 - 8

I. ①高… II. ①余… ②高… III. ①巷道围岩—围
岩稳定性 IV. ①TD325

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第130091号

书 名 高应力构造带巷道围岩控制机理及工程实践
著 者 余伟健 高 谦
责任编辑 王美柱
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏徐州新华印刷厂
开 本 787×960 1/16 印张 10.5 字数 200 千字
版次印次 2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

随着矿产资源的持续开发,开采深度越来越大,采矿技术条件也越来越复杂,由此给矿床开采带来严峻考验。尤其是高地应力环境下不良地层的巷道掘进与支护,在很大程度上影响着采矿效益,并使采矿生产面临安全隐患。例如,金川镍矿、丰城曲江煤矿和贵州泰来煤矿等。在这种岩体中开掘巷道和大跨度硐室,围岩变形和控制问题尤为突出,即使进行了高强度支护,仍未能从根本上解决围岩的大变形破坏问题。

众所周知,采场巷道应力分布与采矿活动密切相关,对于受到采动影响的不良地层中的巷道工程,在高应力环境下变形不仅大,而且持续时间长,具有显著的蠕变特性。围岩大变形不仅导致矿区的矿产开发比原计划拖后较长时间,而且给矿山生产带来巨大的经济损失和不良的社会影响,在很大程度上影响国民经济的发展。

处于构造带影响范围内的围岩,在受到高应力作用时呈极不稳定状态,具有变形速度快、变形量大和变形持续时间长等特点。影响此类围岩稳定性的因素是非常复杂的,作用机理呈现高度的非线性。目前,处于高地应力环境下的构造带岩体中开挖工程存在着一系列未能解决的问题,包括高地应力环境下的构造带工程围岩变形机制、巷道工程的合理支护设计、二次支护时机判别准则、支护结构力学特点及围岩工程的长期稳定性等。因此,本书在总结前人工作的基础之上,以高应力构造带工程围岩为对象,首先,深入现场进行工程地质调查

与室内实验研究,在此基础上对高地应力构造带岩体的力学特性和微观结构进行分析;然后,采用现场监测、理论分析和数值模拟等综合手段,进行岩体开挖过程的变形机制分析,提出了该类工程围岩的支护设计,并讨论高应力采场巷道围岩的综合控制技术;最后,采用现有理论对支护结构进行力学和可靠性分析。

书中的很多研究成果源于金川镍矿矿区的第一手资料,在此,衷心地感谢金川有色集团公司的有关管理与工程技术人员。该书的出版得到湖南科技大学学术著作出版专项基金、国家自然科学基金项目(51104063,51074071)、湖南省高校科技创新团队支持计划、湖南省“十二五”重点学科建设经费和湖南省教育厅一般项目(10C0665)的资助,在此一并感谢。书中引用许多国内外专家的文献资料,对这些专家和学者亦表示诚挚的谢意。

由于作者水平和学识所限,书中难免存在错误和疏漏之处,恳请专家、读者不吝批评和赐教。

著 者

2012年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 高应力巷道围岩力学机制研究的意义.....	1
第二节 复杂地质条件下的工程围岩变形机制与控制技术综述.....	3
第三节 深部高应力岩体力学研究进展.....	7
第二章 高地应力构造带工程围岩结构面特征及岩体参数	9
第一节 巷道围岩的现场地质调查及分析方法.....	9
第二节 结构面网络及程序现实	19
第三节 工程围岩的计算参数分析	24
第三章 构造带工程岩体变形特征及微细损伤分析	34
第一节 高地应力构造带围岩的变形特征	34
第二节 微细损伤实验分析	39
第四章 复杂条件下工程围岩的非线性耦合稳定性分析方法	44
第一节 岩石工程系统理论	44
第二节 非线性耦合分析的基本思想	45
第三节 影响因素分析	46
第四节 综合作用矩阵的建立	46
第五节 岩石工程系统稳定性能评价指标及应用	64
第五章 高地应力构造带围岩流变特性及支护时机研究	68
第一节 围岩流变研究概述	68
第二节 基于现场变形监测的流变模型	69
第三节 地下工程围岩流变数值分析	77
第四节 合理支护时机讨论	79

第六章 高地应力构造带大断面硐室动态开挖与适当让压支护设计	82
第一节 开挖与支护方案的提出	82
第二节 适时让压支护设计的数值分析	83
第三节 最佳开挖与支护方案的三维计算分析	90
第七章 高应力采场巷道稳定性分析及其控制技术	103
第一节 采场围岩整体稳定性评价指标	103
第二节 深部采场构造失稳块体预测方法	106
第三节 高应力采场巷道综合控制技术及其应用	111
第八章 高应力巷道围岩的叠加拱强度理论及应用研究	121
第一节 锚杆和锚索联合承载结构力学分析	121
第二节 等效耦合围岩参数强化分析	129
第三节 金川Ⅲ矿破碎站硐室承载结构强度分析	133
第四节 硐室工程后期的现场监测分析	138
第九章 高应力构造带围岩—支护承载体动态可靠度及长期稳定性	143
第一节 基于叠加拱承载理论的动态可靠度分析	143
第二节 等效耦合围岩的长期稳定性问题	149
参考文献	153

第一章 绪 论

第一节 高应力巷道围岩力学机制研究的意义

随着资源的大量消耗,贮藏在较浅部的矿产已越来越少,于是人们开始向地下深处寻找和采掘资源。在深部资源开发过程中,出现许多难以解决的问题,其中围岩的变形机制及其稳定性最为突出。而且很多工程由于前期工作做得不够完善,特别是地质勘探工作非常缺乏,对于复杂地质条件下的岩体力学及变形机理研究不够深入,导致在建设和开挖相关工程过程中出现许多大变形及失稳等相关问题,给工作造成了一定的障碍。

从各矿区的深部巷道应力特征及变形情况来看,由于开采较深,地应力大,并位于构造带影响范围内,即使进行了高强度的支护也仍然未从根本上解决围岩大变形与破坏的问题。加上巷道围岩的应力场还与采场应力环境密切相关,即巷道的应力环境是原岩应力与采动应力叠加后的应力环境,巷道围岩表现出的大变形现象更是穷出不尽。根据现场调查和资料分析,并从围岩失稳的诱发机理可以发现,引起复杂环境下工程围岩稳定性差的主要影响因素可归纳为以下三点:

(1) 地应力大

目前,我国许多矿井随着开采深度和强度的增加,也逐渐认识到在诸多影响井巷工程稳定性的因素中,地应力是最主要和最根本的因素之一。最大主应力通常是垂直应力的 0.5~5.5 倍,如果不考虑最大水平应力的作用而进行设计和施工,往往造成地下采场或硐室的坍塌或破坏,影响矿井安全生产,造成人员伤亡和重大经济损失。地应力测量数据表明,地应力大是影响深部构造带工程围岩稳定性的关键因素之一。例如,金川Ⅲ矿区 1 220 m 水平以下围岩地压显现突出,致使主井井壁和平硐巷道两帮收敛变形量都达到 0.5 m 以上。

(2) 工程地质条件复杂

地下巷道工程的地质条件是先天形成的,是不可改变的。所以,矿山工程与水电、军工、人防等地下工程的地质条件的可选择性相比,巷道地质条件更复杂

多变,稳定性更差。一般来讲,工程地质条件包括矿岩体性质、节理裂隙发育程度、产状、矿区断层、剪切破碎带、矿岩接触带以及地下水等。地质条件是矿体在成矿过程中以及成矿后的历次地质构造运动的产物,它与成矿构造运动和后期作用密切相关。一般情况下,矿岩体构造越发育、岩体越破碎、地质条件越复杂,矿岩体就越不稳固。例如,根据施工条件推测,金川Ⅲ矿区各开挖工程均受 F_2 和 F_1 断层的构造作用,而且这种构造带围岩不仅含有强膨胀性矿物,还具有显著的软岩流变特性,严重影响大硐室开挖及其长期的稳定性,主井建成1~2 a后就产生了将近0.28 m的绝对变形量,造成该矿投产前就进行了大规模的返修工程。

(3) 地下采矿扰动大

地下矿山不仅包括控制性工程,如主、副井系统和主要运输巷道等,还包括大跨度地下硐室、各联络巷道工程和大面积采场等,这些工程的开挖都会相互影响。特别是由于地下多次采矿扰动活动引起的多次应力叠加,会严重影响巷道的稳定性。可以预测,对于受扰动影响的主要巷道和大断面硐室的施工和稳定性维护必将面临更大困难。

以上三个因素为主导因素,实质上,复杂地质环境下工程围岩稳定性还包括许多其他影响因素。这些因素是同时和并行作用着的,形成一个非常复杂的系统,造成表现出来的岩石力学特征呈高度的非线性特性,而这种非线性特征又很难描述和求解。概括起来,此类围岩中的开挖工程存在的一系列未能解决的问题主要有以下几个方面:

(1) 高地应力环境下的构造带工程围岩变形机制

由于前期勘探工作的不全面,地质构造影响范围尚不清楚就进行开挖工作,致使围岩变形较大。目前各矿区巷道围岩变形监测结果表明,在地应力环境下构造带围岩体的变形受多种因素影响,包括岩体自身特性、构造应力、开采与动压影响、水的渗透和支护方式等。因此,这种不稳定围岩的变形机制也是模糊的、不确定的,受多种因素并行、同时和连续作用着。

(2) 大型硐室工程的合理支护设计

在采矿领域中,硐室工程开挖与支护设计要充分考虑其服务年限和采矿用途等因素。对于大型硐室,一般都具有特殊的用途,而且在较大程度上决定着采矿效率、出矿量、安全生产等方面,其支护设计最为关键,要求尽量全面考虑经济实用和安全可靠。根据金川矿区一些采准巷道和硐室工程的调查发现,多数支护不是支护形式不够先进,也不是支护强度达不到要求,而是支护质量的控制不到位。由于支护设计中忽略了支护时机的把握,出现初次支护强度不能及时达到设计要求、二次支护时机延后、后期补救措施不力、变形监测不实时等问题,从

而导致支护抗力滞后,围岩变形过大。

(3) 支护时机的判别准则

复杂地质构造环境中深埋围岩的强度低、应力高、变形大等特点,导致其支护设计和稳定性分析复杂化、模糊化、动态化、非线性化,存在着诸多的可变影响因素。目前,有关于这方面的研究比较多,主要集中于支护形式、支护强度和结构体作用特点等方面。但怎样进行合理的支护设计并没有形成比较系统而又完善的方法,特别是如何衡量合理支护时机,在国内外很少见到实用且直观的标准。一般来讲,支护时的关键问题在于适当让压,也就是岩体开挖后需要释放多少压力或者说多少变形后进行支护是比较合理的。

(4) 支护结构的力学特点及其稳定性

在进行支护设计时,需要对承载结构进行力学分析,包括支护结构的作用原理和可靠性。在一些典型矿区,很多巷道工程进行支护后,很少涉及承载结构力学与安全评价,支护结构是否能保证围岩的稳定尚不清楚。加上影响因素复杂多变,支护结构的承载能力、稳定性和可靠性很难把握,使矿山巷道工程许多支护结构存在着潜在的失稳因素。

综上所述,本研究借助于现代力学和工程系统的观点和方法,并遵从现场监测数据,建立适合于高地应力构造带工程围岩变形机制的力学本构方程。结合工程地质调查及监测的结果,依靠现代力学理论和数值分析工具达到优化支护方案、合理评价围岩工程稳定性的目的。为各矿区未来建设及开采工作提供一定的理论研究基础,并形成一整套适用于复杂地质条件下的工程围岩的力学研究体系和开挖与支护设计方法。

第二节 复杂地质条件下的工程围岩 变形机制与控制技术综述

复杂地质条件下的围岩,从本质上来讲是指处于大埋深、高地应力、复杂地质构造(特别是断层及节理影响带)等环境中,并伴有裂隙水、岩体强度差等特性的工程围岩。这种岩体处于高地应力作用下,产生碎胀蠕变行为,影响因素非常复杂,呈现出高度的非线性。有研究者发现,这种条件下岩体的宏观特性主要取决于原始的岩体构造条件和应力状态。当岩体开挖后,周边岩体的构造在高应力作用下会变得更加复杂和突出,导致其他影响因素的作用机理路径进一步向不利形势发展,形成了一种不良循环机理路径,而这种作用机制又是非线性和动态性的。

一、高地应力构造带围岩变形机制

在复杂地质条件下岩体的作用机制是非线性的,各影响因素并不遵循线性分布规律,作用机理和路径是非常复杂的。因此,一般高地应力下构造带围岩的变形属于大变形范畴,有别于线性小变形特征,大变形岩体介质已进入塑性、黏塑性和流变性阶段。

俄罗斯科学家廖勒、沿尔等在现场及模型试验中观察到了深部岩体硐室周围存在交替的松弛和压密现象,并提出了洋葱皮状多重壳层应力分布的模型概念^{[1]~[3]}。

钱七虎院士认为,在深部岩体中开挖硐室或巷道时,在其两帮和掌子面的围岩中,会产生具有逐次交替的破裂区和未破裂区的分区破裂化现象^[4]。围岩中的分区破裂化现象大致发生在复杂地质条件下的岩体中的初始垂直地应力 σ 大于岩体单轴抗压强度极限 σ_c 的情况下,分区破裂化现象中破裂区的数量取决于比值 σ/σ_c ,比值越大,破裂区越多,反之则越少。分区破裂化现象既发生在巷道钻爆法施工的情况下,也发生在巷道机械化掘进的情况下。

何满潮教授认为,复杂地质条件下的巷道围岩作用是多相力学行为,特别是对于深埋岩体,地温、高地应力、地下水等形成多相作用,导致围岩产生非线性力学机制^[5]。

郑榕明、王永岩等学者认为,高地应力作用下的软岩和软黏土所表现的流变特性都是非线性的^{[6],[7]}。现场监测结果也表明,应力—应变关系不仅与时间有关,还与当时的应力大小、地质结构面、地下水等因素有关。而且这种非线性的表现程度均随时间和应力的增加而加剧。

王德荣教授、钱七虎院士等认为,深部复杂地质条件下的围岩具有以下特点:结构的非均匀、非连续特点,结构变形的非协调、非连续特点,非一般高地应力状态、含能特点和块系结构特点^{[8],[9]}。

另外,何满潮教授将高地应力软岩的变形性质概括为三点^[10]:① 脆性向延性转化的特性——岩石在不同围压下表现出不同的峰后特性,在较低围压下表现为脆性的岩石在高围压下可以转化为延性;② 流变特性明显——在深部高地应力环境中,岩石具有较强的时间效应,表现为明显的流变或蠕变;③ 扩容现象不明显——试验表明,在低围压下岩石往往会在低于峰值强度时由于内部微裂纹张开而产生扩容现象,但在高围压下,岩石的这种扩容现象不明显甚至完全消失。

二、高地应力围岩支护设计理论研究现状

1. 支护设计理论研究现状

地下围岩支护设计是保证和提高矿山工程质量的一个重要因素,它涉及安全、成本、高效和社会效益等问题。但是由于受多种因素的影响,使得地下工程围岩,特别是软弱不稳定围岩的支护设计存在着很大的困难。

目前,应用较广的设计理论与方法主要有工程类比法、理论分析法和监测法^{[11]~[13]}。工程类比法是建立在已有工程设计和大量工程实践基础上,以围岩分类为技术基础的一种设计方法,它简单实用、应用范围大。过去几十年,工程类比在矿山锚杆支护设计中占有主导地位,并取得了令人瞩目的成就。我国许多专家学者、工程技术人员在软岩或煤巷锚杆支护研究、设计与施工中,做了大量的工作,积累了丰富的经验,确定了锚杆支护参数。但是随着新的安全高效矿井建设的需要,锚杆支护得到普及,特别是大断面支护尚无经验可借鉴。因此,地下大跨度硐室的支护设计采用工程类比法是不可行的,而且其不能较全面地考虑支护结构、支护参数变化和安全经济性等因素。

监测法比较接近工程的实际情况,是比较符合矿井支护设计特点的一种设计方法,它是根据现场实际监测资料,利用数理统计方法进行围岩支护设计^{[14]~[16]}。这种方法在 20 世纪 90 年代开始采用,如采用超声波检测仪监测围岩松动范围,然后根据松动圈大小提出相应的锚喷支护设计参数。但这种设计方法必须以某一个典型的支护工程实际围岩变形监测为基础,如果没有实际监测数据,本方法无能为力,这大大限制了其应用。

理论分析及计算法,主要利用力学等理论模拟复杂的地质条件和支护工程结构,对“围岩—支护”系统的变形特征与破坏进行定量分析,这些理论包括弹塑性理论、普氏压力拱理论和松动圈理论等^{[17]~[19]}。对于锚杆支护,理论计算方法主要有悬吊理论、组合梁理论、组合拱理论及各种力学计算方法,它是通过分析巷道围岩的应力与变形,进行锚杆支护参数解析。这种设计方法为锚杆支护提供了理论依据,同时也可与工程类比法相辅相成。虽然这种方法测试岩体力学参数费时、费力,且往往不能取得有代表性的参数,造成分析结果与生产实际相差较大,但随着岩石力学发展水平的提高,将逐步达到科学化和定量化。

近些年来,一些专家学者总结了多年来所积累的成功经验,结合实际应用和需求情况,应用神经网络、灰色理论和遗传算法等人工智能寻优技术^{[20]~[23]},完善了连续介质和非连续介质的计算机数值模拟方法^{[24]~[28]},发展了正交试验和均匀设计等现代设计方法,认为地质调查、设计、施工、监测、信息反馈等都是相互关联、制约和影响的有机整体,因而把它们作为一个系统工程进行研究考察,

形成了以“地质力学评估→支护初始设计→对初始设计选定方案的稳定性进行分析→现场施工→现场监测→信息反馈与修改”为主要思路的支护动态信息集成可视化设计系统^{[29]~[31]}。

综上所述,随着科学技术的进步,地下工程围岩支护设计方法也不断发生着转变,向数字化、并行化、智能化和集成化方向发展。加强设计、施工和监测的信息交流,保证设计质量,从而研究出集地质条件、物理力学性质、初始设计、现场监测和信息反馈、修改和完善为一体的设计方法,这也是未来支护设计的发展方向。

2. 让压支护应用与研究现状

现代支护理念提出:适当允许围岩变形,充分提高和发挥围岩自身承载力,使围岩与支护共同形成互相协调、互相作用的支承系统,这就是让压支护理论,也是新奥法的精髓所在。让压支护允许围岩释放一部分压力,产生适当的变形量,这样不但避免了由于支护结构承受的压力过大而产生破坏,而且充分调动了围岩与支护结构的作用力。国内外有许多学者和工程师研究和应用了多种让压支护技术。松帮让压支护技术是应用较为广泛的成熟技术,已广泛应用于煤矿的煤巷支护当中。其原理是在巷道掘出后,当围岩塑性流变变形达一定量时,及时对巷道两帮进行松帮。其作用一是扩大围岩变形空间,让围岩的扩容流动变形有一定的自由空间,释放变形能,以减弱煤体对支护的荷载;二是通过主动松帮削弱两帮浅部煤体与顶板的接触,使巷道两帮高地应力集中区向煤体深处转移,从而使巷道附近两帮围岩处于卸压状态,改善支架的受力状况,提高支架稳定性。同时,通过主动松帮使巷道两侧的高地应力集中区快速向煤体深部转移,减弱了巷道附近松软底板所受的高地应力及其作用时间,减少了巷道底板底鼓量^{[32]、[33]}。

根据让压支护原理,研制成了一些较新颖的让压支护结构。例如,俄罗斯研制的波形锚杆、德国研制的组合锚杆、合肥煤炭设计研究院研制的让压桁架支护、连传杰等人介绍的新型让压管锚杆以及可缩性支架等^{[34]~[37]}。这些让压支护结构都得到了广泛的应用,效果显著。

虽然让压支护技术已广泛被人们接受和应用,但存在一个瓶颈问题,就是让压多少最为合适,即为支护时机问题。让压量太小起不到预期效果;让压量过大会使围岩应力释放过大,变形大而失稳。因此,如何确定最佳让压大小是研究的重点内容。目前,国内外有关研究支护时机即让压的理论大多数基于现场监测数据和弹塑性流变理论,普遍认为在围岩达到加速流变阶段之前,即当围岩的流变行为在稳定流变阶段时进行支护可认为是最佳支护时机^{[38]~[43]}。研究表明,包括新奥法在内的许多让压支护理论虽然间接地考虑了围岩流变的时间效应和

开挖面的空间效应,但对于围岩合理支护时间与最大允许变形量等支护设计与施工的重要参数,未能给出一个公认的定量解,而且真正比较直观且实用的支护时机确定方法尚不多见。因此,定量地确定合理支护时间,具有重要的现实意义和应用价值。

第三节 深部高地应力岩体力学研究进展

岩石力学总是伴随着采矿工程和隧道工程的不断深入而发展,研究复杂岩体变形机制也得以广泛发展。按照开采深度的标准,借助于何满潮教授的研究成果,将高地应力构造带围岩归纳入软岩范畴之内。因此,高地应力构造带围岩具有埋藏深、地应力高、地质结构面异常发育、塑性变形和蠕变行为显著等特点。何满潮教授等根据国际岩石力学学会的软岩定义^[44],将容重为 25 kN/m^3 的岩体的临界软化深度定为 500 m ,将大于 500 m 深度范围的地下工程称为深部工程。深部岩体力学已经成为国内外研究的焦点。

早在 20 世纪 80 年代初,国外学者已经开始注意对高地应力复杂岩体问题的研究^{[45]~[48]}。1983 年,苏联的权威学者就提出对超过 $1\,600 \text{ m}$ 的深矿井开采进行专题研究,并进行了三维矿压问题的模拟试验研究。1989 年,国际岩石力学学会在法国专门召开“深部岩石力学”问题国际会议,并出版了相关的专著。近 20 年来,国内外学者在岩爆预测、软岩大变形机制、隧道涌水量预测及岩爆防治措施(改善围岩的物理力学性质、应力解除、及时施作锚喷支护、合理的施工方法等)、软岩防治措施(加强稳定掌子面、加强基脚及防止断面挤入、分断面开挖等)等方面进行了深入研究,取得了很大的成绩,并解决了一些重大问题,如对深部复杂地质条件下的矿山安全、经济开采,微震与岩爆的统计预报,软岩的支护系统、变形机制等进行了卓有成效的探讨和研究。

近些年来,随着我国国民经济和科学技术的发展,对复杂地质条件下的一些铁路、公路隧道的修建,深部开采事故的预防,应用和发展了许多先进的科学技术和理论^[5]。在软岩支护、岩爆防治、超前探测、信息化施工等方面,隧道工程部门、中国矿业大学、中南大学、东北大学、重庆大学、同济大学、西南交通大学等进行了大量的研究和实践,积累了丰富的实践经验,且具有开展相关研究的基础与条件。如“九五”期间,中国矿业大学在深部煤矿开发中灾害预测和防治研究、武汉岩土所在硐室优化及稳定性研究、中南大学在千米深井岩爆发生机理与控制技术研究、北京科技大学在抚顺老虎台矿开采引发矿震的研究方面都做了许多有益工作,取得了重要成果。

但是,由于知识和经验有限,对深部高地应力构造带围岩的非线性动力学特

性了解甚少,所以探讨此类围岩的变形机制和稳定性极为重要。目前,国内外学者研究高地应力构造岩体的力学特征和稳定性主要借助于非线性动力学理论和系统理论等理论。

在非线性理论方面,谢和平教授等^{[49]~[51]}应用法国数学家 B. B. Mandelbrot 创建的分形理论来研究岩石力学问题,运用分形维数定量地刻画出其复杂程度,比经典几何理论更丰富、更符合实际;蒋斌松教授等^[52]用混沌理论讨论了复杂地质条件下的岩体非线性 Kelvin 蠕变变形,认为当差分系数 $\mu > 3.57$ 时,岩体蠕变变形就出现混沌行为;尹光志教授和鲜学福教授等^[53]将岩石非线性动力学应用于岩石失稳破坏与冲击地压发生机理及预测研究当中;黄志全教授^[54]系统地叙述了非线性分析理论在边坡工程中的应用。

在系统理论方面,李世辉教授^[55]在他的专著中首次提出隧道围岩稳定系统分析理论和方法,其理论也在采矿中得到应用和发展^[56]。冯夏庭教授^[57]认为岩石工程的设计、施工、稳定性分析、灾害预测与防治是个复杂的系统工程。英国伦敦大学 J. A. Hudson 教授等^{[58]~[61]}于 1992 年提出岩石工程系统 (rock engineering systems, RES) 理论,该理论是系统分析思想在岩石工程中应用的一大突破,为系统分析方法应用于岩石工程奠定了基础。它的基本思想是,把岩石工程看做完整系统,在岩石工程中,所有岩石力学和施工因素中相关的“物理变量对”(或二元的)机理,都不是固定搭配和孤立存在的,而是同时存在、并行作用和连续发生的动态过程。就是说,是这样一个完全的岩石工程系统,决定岩石工程的总体状态。这是一种综观的方法,它为复杂条件下岩石工程设计提供程序性指导,为多元因素相互作用中关键性机理的识别提供强有力的手段,为工程活动扰动下可能状态的预测提供新的前景。

第二章 高地应力构造带工程围岩结构面特征及岩体参数

第一节 巷道围岩的现场地质调查及分析方法

一、工程围岩结构面观测

在研究中,工程围岩结构面的观测主要依靠岩体原位观测,它是观测已开挖巷道内的岩体,采用详细线观测法^[62]。主要方案如下:

(1) 测线布置

在纵、横巷道布置测线,如图 2-1 所示,沿巷道揭露围岩壁面距底板 1 m 高处安置测尺作为测线,用以确定各结构因素的位置。测尺必须水平拉紧,基点设在开始调查点。从基点开始沿沿线方向对各构造因素进行测定和统计。

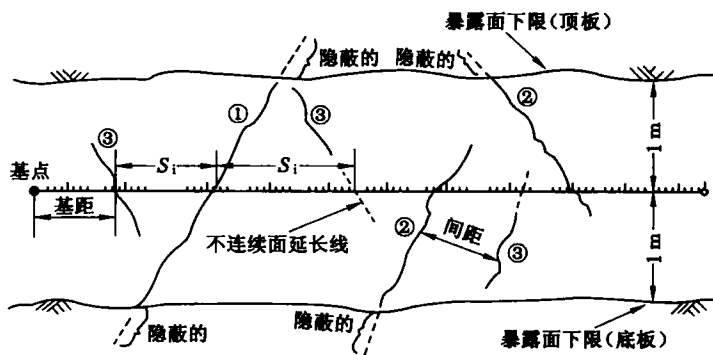


图 2-1 三测线不连续面量测方法示意图

①——两端均隐蔽;②——一端揭露,一端隐蔽;③——两端均揭露; S_i ——伪间距

(2) 测带

将测线上下 1 m 的范围作为测带,调查工作在测带以内进行。但测线的方向应根据节理的产状确定,并且应在同一露头设置不同方向的测线。

(3) 量测、统计和记录

现将主要记录项的基本含义说明如下:

- ① 编号。从基点起算的结构面的条号。
- ② 类型。结构面的类型代号:正断层—— t_r ,逆断层—— c_r ,层面—— L ,节理—— J ,片理面—— S ,软弱夹层—— P 。

③ 基距。在测线上从基点量取的结构面的位置。当测尺不与巷道壁面接触时,沿结构面走向将结构面延长与测线相交,量测交点的基距。

④ 间距。测线上相邻结构面之间的距离。

⑤ 产状。结构面的倾向和倾角。倾向为地理方位角,倾角为从测量水平面至结构面上最陡斜线间夹角。记为倾向/倾角,精确到度。

当结构面平直时,可在其任意段处量测;当结构面呈波状或不规则形状时,量测其变化势产状。

采用罗盘测量时,罗盘贴在结构面的暴露面上。如无暴露面,可用一硬薄板(非铁质)插进结构面,将罗盘贴于薄板上进行量测。由于铁管或钢轨引起的磁偏或由于矿体引起的磁性异常,有时将造成罗盘读数不真。在这种情况下,倾向可用倾斜规与测尺的相对关系来测定,倾斜规的一腿与钢卷尺平行。在分析野外观测结果之前,数据必须用正北方向校正。测尺的方位可借助平面图或地面测量来确定。另外,亦可采用直接读数的方位角量角器来代替倾斜规。

⑥ 持续性。持续性是指结构面表面在某一平面方向延伸尺寸。在出露岩体的表面上观测的结构面迹线长度可以粗略地确定持续性的数值。然而,对它进行任何定量都是非常困难的。这里把它限制在测带范围内进行粗略的表示。结构面在量测范围内有五种出露方式,因此,将结构面持续性分为以下五类:

第一类——结构面与测线相交,但不跨测带上下界,记为“1”。

第二类——结构面在测线与测带上、下界之间,不与测线和测带上、下界相交。结构面在测线与测带上界之间,记为“2A”;结构面在测线与测带下界之间,记为“2B”。这类结构面的定位,可将结构面延长至测线,记录基距,并量取结构面靠测线一端到测线的垂直距离 H 。

第三类——结构面只与测带上界或下界相交。结构面与测带上界相交,记为“3A”;结构面与测带下界相交,记为“3B”。此类结构面的定位与第二类相似,即将结构面延长至测线,记录基距,并量测结构面靠测线一端至测线的垂直距离 H 。