

岩石力学与
工程研究著作 **丛书**

煤矿深部岩巷稳定控制理论与 支护技术及应用

◎刘泉声 高玮 袁亮 著



科学出版社

www.sciencep.com

岩石力学与工程研究著作丛书

煤矿深部岩巷稳定控制理论与支护技术及应用

刘泉声 高 玮 袁 亮 著

中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-152)

国家自然科学基金重点项目(90510019)

“十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAK28B00)

岩土力学与工程国家重点实验室重点项目(SK LZ0807)

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了作者课题组近年来在煤矿深部岩巷稳定控制理论与支护技术方面的研究成果。首先从深部围岩赋存条件入手,揭示了深部围岩的地质条件特征、地应力场特征及物理力学性质特征,首次提出了深部岩巷围岩稳定性分级体系;其次通过物理模拟和数值模拟两方面的研究,揭示了深部围岩变形破裂过程的演化机理,提出了开挖卸荷过程的断裂损伤理论和稳定性演化的 THM 耦合作用理论;然后根据稳定性演化机理研究的成果,创造性地提出了深部岩巷稳定控制理论及相应的支护技术措施;最后通过多个典型巷道工程的应用证明了所提出的支护理论和技术的有效性和实用性。

本书可供从事深部地下工程稳定性和煤矿深部岩巷稳定控制理论与支护技术研究的专业人员及从事深部地下工程设计施工的工程技术人员参考,也可作为地下工程、矿井建设、采矿工程等专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿深部岩巷稳定控制理论与支护技术及应用/刘泉声,高玮,袁亮著.
—北京:科学出版社,2010
(岩石力学与工程研究著作丛书)
ISBN 978-7-03-026333-9

I. 煤… II. ①刘…②高…③袁… III. ①煤矿-围岩稳定性-控制②煤巷-巷道支护 IV. TD325 TD353

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 001072 号

责任编辑:刘宝莉 张 丽 / 责任校对:朱光光
责任印制:赵 博 / 封面设计:鑫联必升

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 1 月第一次印刷 印张:18

印数:1—1 500 字数:340 000

定价:70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《岩石力学与工程研究著作丛书》编委会

名誉主编: 孙 钧 王思敬 钱七虎 谢和平

主 编: 冯夏庭

副主编: 何满潮 黄润秋 周创兵

秘书长: 黄理兴 刘宝莉

编 委: (以姓氏汉语拼音字母顺序排列)

蔡美峰	曹 洪	戴会超	范秋雁	冯夏庭
高文学	郭熙林	何昌荣	何满潮	黄宏伟
黄理兴	黄润秋	金丰年	景海河	鞠 杨
康红普	李 宁	李 晓	李海波	李建林
李世海	李术才	李夕兵	李小春	李新平
廖红建	刘宝莉	刘汉东	刘汉龙	刘泉声
吕爱钟	栾茂田	莫海鸿	潘一山	任辉启
余诗刚	盛 谦	施 斌	谭卓英	唐春安
王 驹	王金安	王明洋	王小刚	王学潮
王芝银	邬爱清	徐卫亚	杨 强	杨光华
岳中琦	张金良	赵 文	赵阳升	郑 宏
周创兵	周德培	朱合华		

《岩石力学与工程研究著作丛书》序

随着西部大开发等相关战略的实施,国家重大基础设施建设正以前所未有的速度在全国展开:在建、拟建水电工程达 30 多项,大多以地下洞室(群)为其主要水工建筑物,如龙滩、小湾、三板溪、水布垭、虎跳峡、向家坝等,其中白鹤滩水电站的地下厂房高达 90m、宽达 35m、长 400 多 m;锦屏二级水电站 4 条引水隧道,单洞长 16.67km,最大埋深 2525m,是世界上埋深与规模均为最大的水工引水隧洞;规划中的南水北调西线工程的隧洞埋深大多在 400~900m,最大埋深 1150m。矿产资源与石油开采向深部延伸,许多矿山采深已达 1200m 以上。高应力的作用使得地下工程冲击岩压显现剧烈,岩爆危险性增加,巷(隧)道变形速度加快、持续时间长。城镇建设与地下空间开发、高速公路与高速铁路建设日新月异。海洋工程(如深海石油与矿产资源的开发等)也出现方兴未艾的发展势头。能源地下储存、高放核废物的深地质处置、天然气水合物的勘探与安全开采、CO₂ 地下隔离等已引起政府的高度重视,有的已列入国家发展规划。这些工程建设提出了许多前所未有的岩石力学前沿课题和亟待解决的工程技术难题。例如,深部高应力下地下工程安全性评价与设计优化问题,高山峡谷地区高陡边坡的稳定性问题,地下油气储库、高放核废物深地质处置库以及地下 CO₂ 隔离层的安全性问题,深部岩体的分区碎裂化的演化机制与规律,等等,这些难题的解决迫切需要岩石力学理论的发展与相关技术的突破。

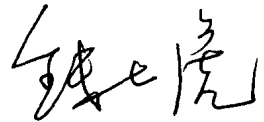
近几年来,国家 863 计划、国家 973 计划、“十一五”国家科技支撑计划、国家自然科学基金重大研究计划以及人才和面上项目、中国科学院知识创新工程项目、教育部重点(重大)与人才项目等,对上述科学与工程难题的攻克陆续给予了有力资助,并针对重大工程在设计和施工过程中遇到的技术难题组织了一些专项科研,吸收国内外的优势力量进行攻关。在各方面的支持下,这些课题已经取得了很多很好的研究成果,并在国家重点工程建设中发挥了重要的作用。目前组织国内同行将上述领域所研究的成果进行了系统地总结,并出版《岩石力学与工程研究著作丛书》,值得钦佩、支持与鼓励。

该研究丛书涉及近几年来我国围绕岩石力学学科的国际前沿、国家重大工程建设中所遇到的工程技术难题的攻克等方面所取得的主要创新性研究成果,包括深部及其复杂条件下的岩体力学的室内、原位实验方法和技术,考虑复杂条件与过程(如高应力、高渗透压、高应变速率、温度-水流-应力-化学耦合)的岩体力学特性、变形破裂过程规律及其数学模型、分析方法与理论,地质超前预报方法与技术,工

程地质灾害预测预报与防治措施,断续节理岩体的加固止裂机理与设计方法,灾害环境下重大工程的安全性,岩石工程实时监测技术与应用,岩石工程施工过程仿真、动态反馈分析与设计优化,典型与特殊岩石工程(海底隧道、深埋长隧洞、高陡边坡、膨胀岩工程等)超规范的设计与实践实例,等等。

岩石力学是一门应用性很强的学科。岩石力学课题来自于工程建设,岩石力学理论以解决复杂的岩石工程技术难题为生命力,在工程实践中检验、完善和发展。该研究丛书较好地体现了这一岩石力学学科的属性与特色。

我深信《岩石力学与工程研究著作丛书》的出版,必将推动我国岩石力学与工程研究工作的深入开展,在人才培养、岩石工程建设难题的攻克以及推动技术进步方面将会发挥显著的作用。



2007年12月8日

《岩石力学与工程研究著作丛书》编者的话

近二十年来,随着我国许多举世瞩目的岩石工程不断兴建,岩石力学与工程学科各领域的理论研究和工程实践得到较广泛的发展,科研水平与工程技术能力得到大幅度提高。在岩石力学与工程基本特性、理论与建模、智能分析与计算、设计与虚拟仿真、施工控制与信息化、测试与监测、灾害性防治、工程建设与环境协调等诸多学科方向与领域都取得了辉煌成绩。特别是解决岩石工程建设中的关键性复杂技术疑难问题的方法,973、863、国家自然科学基金等重大、重点课题研究成果,为我国岩石力学与工程学科的发展发挥了重大的推动作用。

应科学出版社诚邀,由国际岩石力学学会副主席、岩石力学与工程国家重点实验室主任冯夏庭教授和黄理兴研究员策划,先后在武汉与葫芦岛市召开《岩石力学与工程研究著作丛书》编写研讨会,组织我国岩石力学工程界的精英们参与本丛书的撰写,来反映我国近期在岩石力学与工程领域研究取得的最新成果。本丛书内容涵盖岩石力学与工程的理论研究、试验方法、实验技术、计算仿真、工程实践等各个方面。出版时间计划为2007~2011年,分期分批出版。到2007年底,已有二十多本专著列入出版计划。

本丛书编委会编委由58位来自全国水利水电、煤炭石油、能源矿山、铁道交通、资源环境、市镇建设、国防科研、大专院校、工矿企业等单位与部门的岩石力学与工程界精英组成。编委会负责选题的审查,科学出版社负责稿件的审定与出版。

在本套丛书的策划、组织与出版过程中,得到了各专著作者与编委的积极响应;得到了各界领导的关怀与支持,中国岩石力学与工程学会理事长钱七虎院士特为丛书作序;中国科学院武汉岩土力学研究所冯夏庭、黄理兴研究员与科学出版社刘宝莉、沈建等编辑做了许多繁琐而有成效的工作,在此一并表示感谢。

“21世纪岩土力学与工程研究中心在中国”,这一理念已得到世人的共识。我们生长在这个年代里,感到无限的幸福与骄傲,同时我们也感觉到肩上的责任重大。我们组织编写这套丛书,希望能真实反映我国岩石力学与工程的现状与成果,希望对读者有所帮助,希望能为我国岩石力学学科发展与工程建设贡献一份力量。

《岩石力学与工程研究著作丛书》

编辑委员会

2007年11月28日

前 言

近年来,国内中东部地区主要国有煤矿相继进入 800~1000m 的深部开采阶段。深部开采面临瓦斯、地压、地温治理的三大技术难题。通过多年的技术攻关,目前对威胁煤矿开采安全的灾害气体“瓦斯”已经探索出了比较好的治理对策,而且在瓦斯的资源化利用方面也取得了重大技术进展。可以预见,随着技术的进一步发展,在不久的将来瓦斯治理将不再是困扰煤矿安全生产的主要技术难题。而随着开采深度的不断增大,地压和地温的显现越来越突出,而且将会是长期困扰我国煤炭生产的技术难题。在瓦斯、地压、地温治理的三大技术难题中,深部岩巷开挖支护面临地压和地温治理两大技术难题和三大技术挑战。

一是高地压(即高地应力)的作用。由于地应力升高,导致深部围岩在强度和变形性质上与浅部显著不同。浅部围岩大多处于弹性状态,进入深部以后,由于围岩内赋存的高地应力与其本身低强度之间的突出矛盾,巷道开挖后二次应力场引起的高度应力集中导致近表围岩受到的压剪应力超过围岩强度,围岩很快由表及里进入破裂碎胀和塑性扩容状态,出现大变形而整体失稳。

二是高地温(主要是开挖扰动区内的高温度梯度)的作用。随着深度增加,地温升高,巷道开挖后,由于通风在距离巷道表面一定深度围岩内产生较大的温度梯度和附加应力,使围岩产生离层,对围岩破裂扩展带来不可忽视的影响。如果考虑季节性的温度变化造成的损伤累积对围岩离层的影响,围岩的破裂扩展程度将更为加剧。截至目前,人们对这一点尚未引起足够的重视,因此,需要进行深入的研究。

三是高渗透压力的作用。随着深度增加,地下水渗透压力相应增大,在裂隙发育且连通性好的地段,由于地下水流出导致巷道开挖后近表围岩内孔隙水压力大幅降低,有效应力显著增大,围岩应力进一步超过岩体强度,从而加剧近表围岩的破坏失稳。在裂隙闭合而连通性差的地段,受通风影响,近表围岩内的水分向巷道空间迅速蒸发,由于煤系地层多为泥质胶结,渗水速度极低,深层水向表层渗流的速度远小于表层水分的蒸发速度,表层岩体将失水收缩而产生拉应力,当拉应力大于岩石的抗拉强度时,即出现拉伸破坏。随着表层水分的蒸发,一方面表层裂隙向深部发展;另一方面破裂空间内因水汽的出现而产生水蒸气压,当水蒸气压增加到

饱和状态时凝结成水附着在破裂面上,使围岩软化而强度降低。这些都将加剧围岩的破坏与变形。

上述的高地应力、高温度梯度和高渗透压力统称为“三高”。由于“三高”的作用,使得深部与浅部在围岩赋存条件上存在根本差异,必须从全新的角度去认识深部围岩的变形破裂机理。本书以“三高”耦合作用为切入点,在深入探索认识深部围岩变形破裂机理的基础上,总结出深部岩巷稳定控制的理论,并以该理论为指导,提出深部岩巷稳定控制的技术措施和支护成套技术。全书主要内容共分为四篇:

第1篇,深部围岩赋存条件特征研究。以典型矿区——淮南矿区为依托,通过现场调查与测试、室内试验及资料分析总结,系统地研究了煤矿深部地质与岩性条件、地应力场、围岩物理力学性质等复杂的围岩赋存条件特征,提出了确定围岩参数的进化神经网络模型新算法,建立了煤矿深部岩巷围岩稳定性分级的技术指标体系。

第2篇,深部岩巷稳定性演化机理研究。通过理论分析,建立了深部岩巷围岩受“三高”耦合作用的控制方程,根据深部围岩的变形破裂特点通过改进传统的Hoek-Brown准则提出了深部围岩的强度准则,为分析深部岩巷的稳定性奠定了理论基础;基于理论研究成果,研发了深部岩巷围岩稳定性多场耦合分析的系统软件,实现了应力应变场扰动、裂隙水浸润软化与流动冲刷、热应力等引起的深部岩巷围岩非线性变形、损伤、离层破坏等复杂过程的全耦合模拟。基于物理与数值模拟研究,分析总结了深部围岩的变形破坏机理和稳定性演化规律。

第3篇,深部岩巷稳定控制理论与支护技术研究。在分析总结深部围岩的变形破坏机理和稳定性演化规律的基础上,提出了以“应力状态恢复改善、围岩增强、破裂固结与损伤修复、应力转移与承载圈扩大”为核心内容的煤矿深部岩巷稳定控制理论。在该理论指导下,提出了深部岩巷稳定控制的技术措施体系,形成了深部岩巷分步联合支护的成套技术,包括:①集高预应力超强锚杆及其施加技术和抗折抗裂喷层材料于一体的高预应力超强锚喷支护技术;②经济型高强高韧注浆材料技术;③集帮脚锚杆、底角注浆锚杆与底板锚注于一体的底臌治理技术;④集水平衡剂消胀、封闭增强支护、泡沫垫层充填预留变形于一体的膨胀岩巷道支护技术;⑤集工作面超前支护、分步开挖与预留核心土于一体的特殊破碎围岩巷道施工安全控制技术。

第4篇,工程应用研究。通过淮南、平顶山、国投新集等大型矿区典型深部岩

巷的支护实践进行了研究成果的工程应用及推广。

本书得到“教育部长江学者奖励计划”和“山东省泰山学者计划”的资助。本书的研究和撰写得到作者课题组刘小燕、张程远、吕颖慧、刘滨等同志的大力合作，现场试验和应用推广工作得到淮南矿业集团煤矿瓦斯治理国家工程研究中心薛俊华、余国锋、王春林与平顶山煤业集团欧阳广斌、李洪等同志的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

随着煤矿开拓开采深度的进一步增加，“三高”问题将日益突出，本书只是对过去七年工作的阶段性总结，在煤矿深部岩巷稳定控制与支护的理论与技术上，还有许多工作需要进一步研究和探索。

由于作者水平所限，书中难免存在不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

目 录

《岩石力学与工程研究著作丛书》序

《岩石力学与工程研究著作丛书》编者的话

前言

第 1 章 概述	1
1.1 研究背景	1
1.2 深部开拓面临的科学技术难题	3
1.3 国内外技术现状	3
1.3.1 国内外研究概况及发展趋势	3
1.3.2 存在的问题	5
1.4 本书主要内容	6

第 1 篇 深部围岩赋存条件特征研究

第 2 章 煤矿深部围岩岩性条件特征	11
2.1 典型矿区深部围岩地质条件特征	11
2.2 典型矿区深部围岩物理力学性质	13
2.2.1 典型矿区深部岩石力学性质试验研究	13
2.2.2 典型岩性深部围岩力学参数反演研究	17
2.3 小结	29
第 3 章 煤矿深部地应力场研究	30
3.1 深部原岩应力场的特点	30
3.2 典型矿区深部原岩应力场测试研究	33
3.2.1 原岩应力场测试方法简介	33
3.2.2 典型测试结果	42
3.3 典型矿区深部地应力场反演研究	49
3.3.1 初始地应力场反演分析法的研究现状	49
3.3.2 初始地应力场回归分析原理	51
3.3.3 初始地应力场回归分析数学模型	52
3.3.4 初始地应力场多元线性回归计算方法	55

3.3.5 淮南矿区地应力场反演	57
3.4 小结	65
第4章 煤矿深部岩巷围岩分级研究	66
4.1 概述	66
4.2 巷道围岩分类方法现状分析	66
4.2.1 单指标分类法	66
4.2.2 多指标分类法	68
4.2.3 多因素综合单一指标分类法	74
4.3 巷道围岩分类方法评述	76
4.3.1 围岩分类的理论基础	76
4.3.2 存在的问题	76
4.4 煤矿深部岩巷围岩分级体系研究	77
4.5 小结	82

第2篇 深部岩巷稳定性演化机理研究

第5章 深部岩巷稳定性演化的物理模拟研究	85
5.1 概述	85
5.2 深部岩巷典型围岩物理力学性质模拟试验研究	85
5.2.1 模拟条件	85
5.2.2 相似材料研制	86
5.3 典型条件下深部岩巷稳定性模拟试验研究	93
5.3.1 模型试验台架	93
5.3.2 模型制作及元件埋设	93
5.3.3 模型试验	98
5.4 小结	106
第6章 深部岩巷围岩稳定性演化的数值模拟研究	107
6.1 深部岩巷围岩变形破坏的机理	107
6.1.1 开挖卸荷过程分析的断裂损伤理论	107
6.1.2 深部围岩稳定性演化的 THM 耦合作用理论	110
6.1.3 深部岩巷围岩变形破坏的强度准则	119
6.2 深部岩巷稳定性分析软件的开发	121
6.2.1 耦合程序基本原理	122

6.2.2 耦合程序开发	123
6.3 典型条件深部岩巷稳定性数值模拟研究	127
6.3.1 模拟条件	127
6.3.2 “三高”耦合作用下深部岩巷稳定性数值模拟研究	130
6.3.3 深部岩巷支护参数优化研究	161
6.4 小结	177

第 3 篇 深部岩巷稳定控制理论与支护技术研究

第 7 章 深部岩巷稳定控制理论与支护成套技术研究	181
7.1 概述	181
7.2 “三高”作用下深部岩巷围岩的变形破裂机理	181
7.2.1 高地应力作用下的变形破裂机理	181
7.2.2 高渗透压力作用下的变形破裂机理	182
7.2.3 高温梯度作用下的变形破裂机理	183
7.3 深部岩巷稳定控制理论	183
7.4 深部岩巷支护技术措施体系	187
7.4.1 围岩应力状态恢复改善措施	188
7.4.2 围岩增强与固结修复措施	188
7.4.3 应力转移与承载圈扩大控制措施	191
7.4.4 分步联合支护理念及其技术措施	191
7.5 深部岩巷支护成套技术	192
7.5.1 高预应力超强锚喷支护技术	192
7.5.2 经济型高强高韧注浆材料技术	200
7.5.3 底臃治理技术	201
7.5.4 膨胀岩巷道支护技术	202
7.5.5 特殊破碎围岩巷道施工安全控制技术	205
7.6 小结	207

第 4 篇 工程应用研究

第 8 章 工程应用	211
8.1 深部Ⅱ级围岩典型巷道工程应用	211

8.1.1	淮南望峰岗井—817m 水平轨道石门大巷	211
8.1.2	淮南谢桥矿—720m 水平轨道石门	216
8.2	深部Ⅲ级围岩典型巷道工程应用	221
8.2.1	淮南谢一矿—780m 水平 13 槽煤底板运输巷	221
8.2.2	淮南张集矿—650m 水平东翼 11-2 采区胶带机巷	227
8.2.3	淮南潘三矿—750m 水平西翼 8 煤皮带机石门	232
8.2.4	国投新集刘庄煤矿—745m 西区制冷峒室	238
8.3	深部Ⅳ级围岩典型巷道工程应用	242
8.3.1	淮南顾北煤矿—648m 南翼回风大巷	242
8.3.2	平煤四矿—480m 戊九采区轨道下山	250
8.4	深部Ⅴ级围岩典型巷道工程应用(顾桥矿南翼轨道大巷地质异常断 裂带)	257
参考文献		267

第 1 章 概 述

1.1 研究背景

随着我国经济的不断发展,对以煤炭为主的化石能源的需求量不断增加。我国预测的煤炭资源总量约 50 592 亿 t,其中埋藏深度大于 1000m 的约占 53%,大于 600m 的约占 73%(如图 1.1 所示)。

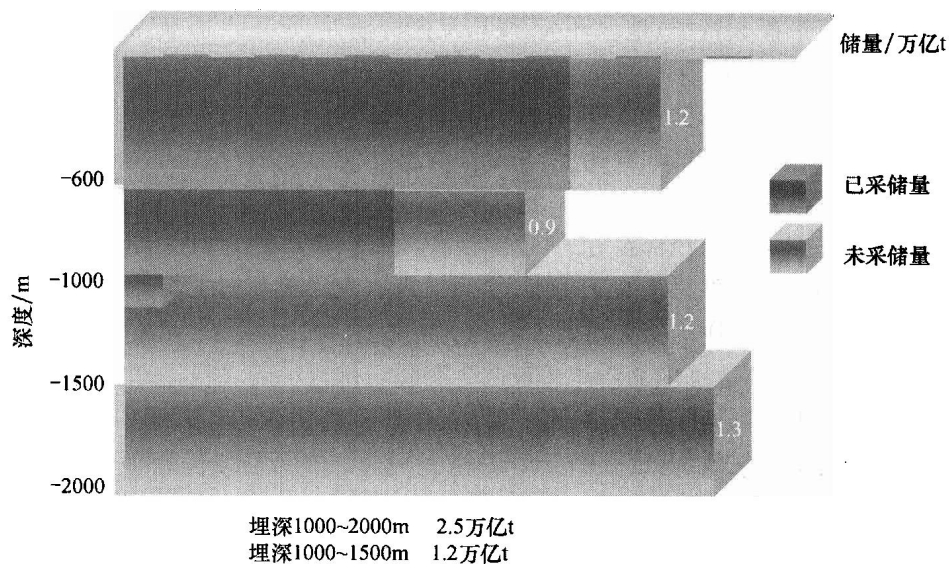


图 1.1 我国煤炭资源埋深分布状况

由于几十年来的大规模开采,浅部资源已走向枯竭,煤炭开采逐渐向深部延伸,国内许多大型矿区的开采或开拓延伸的深度目前均已超过 800m,有的甚至超过 1000m。如,沈阳采屯矿 1197m、长广煤矿 1000m、新汶孙村矿 1055m、北票冠山矿 1059m、徐州张小楼矿 1100m、开滦赵各庄矿 1159m 等。目前,煤矿采深正以 8~12m/a 的速度增加,东部矿井正以 10~25m/a 的速度发展,预计未来 20 年,很多煤矿将进入 1000~1500m 的开采深度,我国重点煤矿平均采深变化如图 1.2 所示。近年来,我国统配煤矿大部分矿井的采深已达 500~1000m,个别矿井深达 1100m 以上。

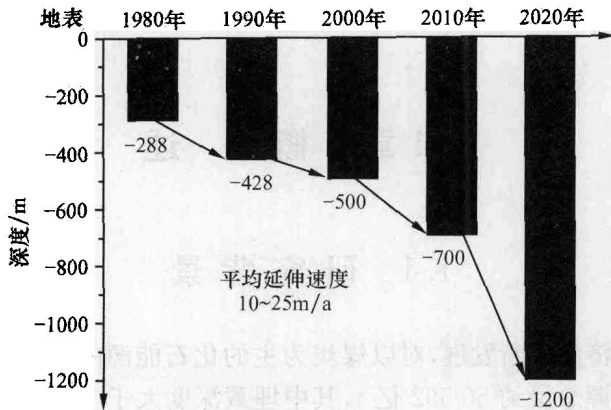


图 1.2 我国煤矿采深发展示意图

从围岩变形破裂特征、地温环境、煤与瓦斯突出性、承压水透水性等方面来看,煤矿深部开采与浅部开采呈现出显著的差异。从目前国内外许多矿井的开采实践来判断,一般当采深达到 700~1000m 时即呈现明显的深部开采特征。

这种情况在淮南矿区非常典型,从 20 世纪末 21 世纪初开始,淮南矿区主要矿井相继开拓延伸到 800m 左右的深度,全矿区整体进入到深部开拓和开采阶段。由于没有认识到深部与浅部在巷道围岩赋存条件与应力环境上的根本差异,对深部巷道围岩的变形破裂机理缺乏理解,尽管已经进入深部开拓阶段,但整个矿区仍然采用浅部岩巷中常用的支护形式。巷道开挖支护后,裂隙萌生和扩展的速度很快,几天内一定厚度范围内的岩体即被次生裂隙切割成小碎块状,一个月左右即出现严重破坏和大变形而失稳,导致锚杆拉断、喷层严重折断、U 型钢支架严重扭曲等各种形式的支护失效,巷道底臃变形达到 1~2m。由于巷道接连不断的失稳破坏,各矿不得不投入大量精力进行翻修,然而收效甚微,往往是前面刚修好后面又破坏,矿井生产运输受到严重影响,巷道维护成本大大增加,严重制约了整个矿区的煤炭生产。为了从根本上解决深部岩巷的支护难题,清除煤炭生产运输的主要障碍,淮南矿业集团联合中国科学院武汉岩土力学研究所等单位开展了系统的理论研究和攻关,从深部地应力场和围岩赋存条件入手,通过深入揭示巷道围岩变形破裂机理,系统地提出深部岩巷围岩稳定控制的理论,开发出了有效的支护技术。目前在理论和技术上已取得了突破,形成了系统成果,在淮南矿区典型矿井深部岩巷应用中取得良好效果的基础上,已在整个矿区的深部岩巷中得到全面推广应用,收到了巨大的经济效益和社会效益。

与此同时,国内中东部绝大部分重点煤矿,如平煤集团、国投新集能源股份有限公司及徐矿集团等也都相继进入了深部开拓延伸阶段,遇到了同样的技术难题。在同样的需求驱使下,为了使研究成果得到进一步发展完善,能够在更大范围内推

广应用,作者及其课题组结合这些矿区的具体条件进一步开展了试验验证和推广应用,取得了良好的效果。

1.2 深部开拓面临的科学技术难题

进入深部开拓阶段后,地质条件恶化,地应力、水头压力和地温梯度明显升高,给巷道围岩稳定与施工安全控制提出了一系列严峻挑战。

首先,由于地应力升高,导致深部围岩在强度和变形性质上与浅部显著不同。浅部围岩大多处于弹性状态,进入深部以后,由于围岩内赋存的高地应力与其本身低强度之间的突出矛盾,巷道开挖后二次应力场引起的高度应力集中导致近表围岩受到的压剪应力超过围岩强度,围岩很快由表及里进入破裂碎胀和塑性扩容状态,极易出现大变形而整体失稳。

其次,随着采深的增加,地下水渗透压力相应增大,巷道开挖后近表围岩内孔隙水压力大幅降低,导致巷道近场围岩有效应力增大,致使围岩应力进一步超过岩体强度,从而加剧近表围岩的破坏失稳。由于我国煤系地层的多数岩石为泥质胶结,遇水后必然发生软化,有些岩石中含有蒙托石等黏土矿物,遇水将发生膨胀。这些都将加剧围岩的破坏与变形。

最后,随着开拓深度的增加,地温升高,巷道开挖后,由于通风在距离巷道表面一定深度围岩内产生较大的温度梯度和附加应力,使围岩产生离层,对围岩破裂扩展带来不可忽视的影响。如果考虑季节性的温度变化造成的损伤累积对围岩离层的影响,围岩的破裂扩展程度将更为加剧。目前,人们对这一点尚未引起足够的重视,因此,需要进行深入的研究。

综上所述,由于围岩赋存条件和应力环境的明显不同,浅部巷道围岩稳定控制的理论与技术已远远不能适应深部巷道围岩稳定控制的要求,必须尽快发展“三高”(高渗透压力、高地应力、高温度梯度)耦合作用下的深部巷道围岩稳定性分析方法、控制理论和支护技术,形成理论与技术的系统成果,才能有效指导深部巷道的设计和施工,确保其长期稳定和安全运行,实现深部煤炭资源的安全高效开采和可持续利用。

1.3 国内外技术现状

1.3.1 国内外研究概况及发展趋势

关于深部巷道围岩变形破裂机理的研究,首先是关于深部的定义,即深部临界值确定方法的研究。我国学者认为存在一个使巷道围岩极易发生大变形和破裂失