

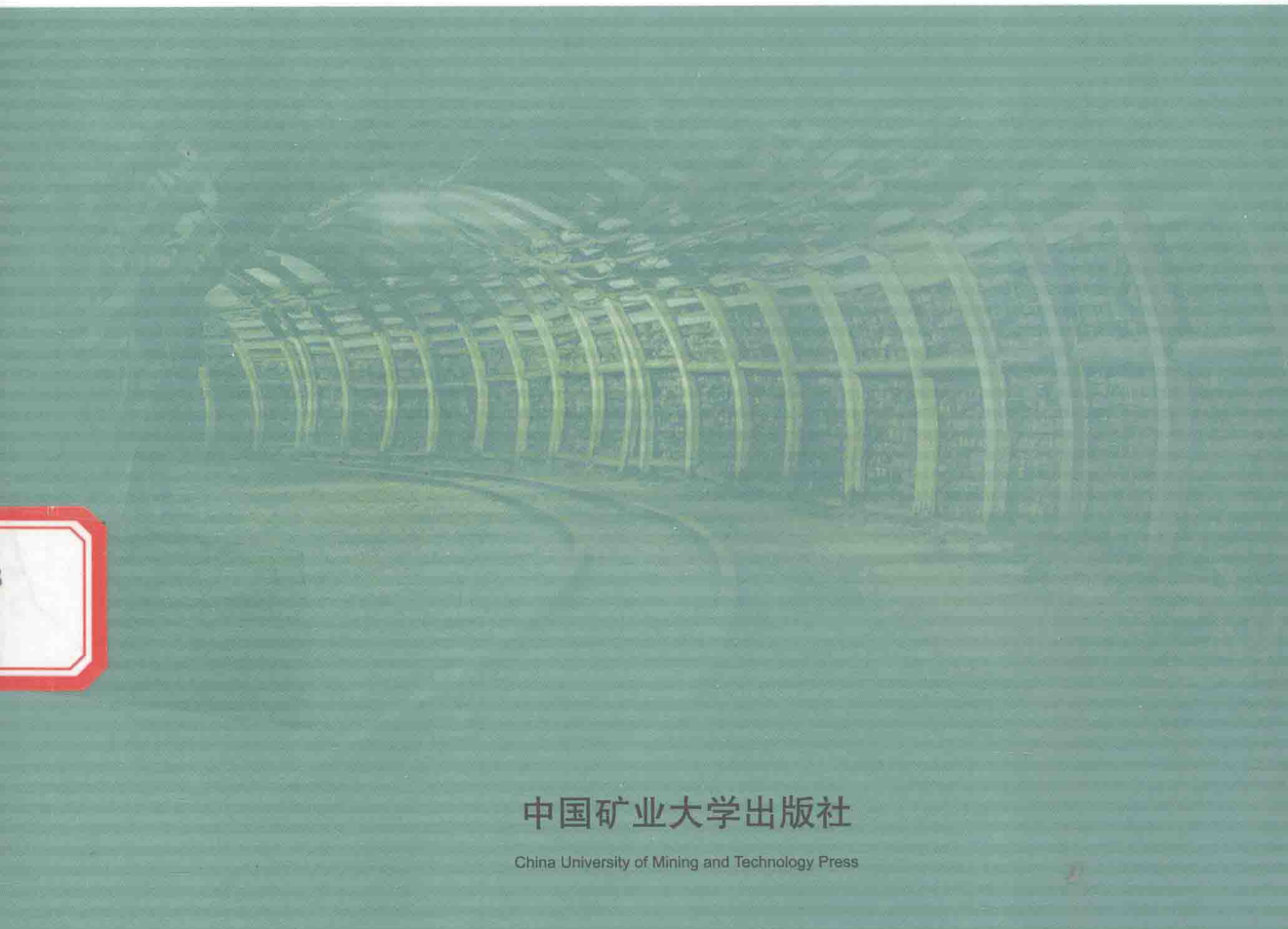
国家重点基础研究计划 (973) 项目 (2013CB036003)

国家自然科学基金 (51404255, 51374198)

# 平顶山矿区深部巷道

## 围岩稳定控制与支护技术

张建国 靖洪文 郭建伟 等著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家重点基础研究计划(973)项目(2013CB036003)

国家自然科学基金(51404255, 51374198)

# 平顶山矿区深部巷道 围岩稳定控制与支护技术

张建国 靖洪文 郭建伟 等著

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书是中国平煤神马能源化工集团有限公司近年来在深部开采与支护技术方面的总结分析,全书共分为9章,主要内容包括平煤矿区深部巷道及支护概况、深部巷道围岩强度衰减特征、破坏模式、灾害形成机理以及深部巷道围岩控制的系列成套控制技术及应用等,并形成了一套行之有效的深部巷道支护技术规范 and 支护专家系统,可为其他矿区的深部巷道支护提供参考。

本书可作为煤矿现场工程技术人员、相关技术管理人员、煤炭科研人员及院校师生的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

平顶山矿区深部巷道围岩稳定控制与支护技术 / 张建国等著. —徐州:中国矿业大学出版社,2017.1

ISBN 978-7-5646-3392-9

I. ①平… II. ①张… III. ①矿区—巷道围岩—围岩控制—平顶山②矿区—巷道围岩—巷道支护—平顶山  
IV. ①TD263②TD353

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 313458 号

书 名 平顶山矿区深部巷道围岩稳定控制与支护技术  
著 者 张建国 靖洪文 郭建伟 等  
责任编辑 吴学兵  
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 徐州中矿大印发科技有限公司  
开 本 787×1092 1/16 印张 19.25 字数 480 千字  
版次印次 2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷  
定 价 65.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



## 前 言

煤炭是我国的主体能源,在一次能源结构中占70%左右。在未来相当长时期内,煤炭作为主体能源的地位不会改变。在我国已探明的煤炭资源中,约有50%的煤炭埋深超过千米,深部开采问题中巷道围岩稳定控制关键技术始终面临着系列新的挑战,出现了许多前所未有的复杂困难巷道,如深部强动压巷道、软岩大变形流变巷道、高应力碎裂围岩巷道等,对现有的支护方式和材料提出了更高、更苛刻的要求。

平煤集团的主干生产矿井中,已有一矿、四矿、五矿、八矿、十矿、十一矿和十二矿等进入了埋深超过700 m的深部开采,占整个矿区矿井数量的一半以上,深部巷道支护难题严重制约平煤矿区的安全和高效生产。针对此问题,本书以平煤矿区深部巷道围岩工程安全控制为核心,以深部巷道围岩变形破坏机理研究为重点,介绍了深部巷道破坏机理研究的室内试验、三维相似模拟、现场测试、理论分析和数值模拟方法,分析了深部巷道围岩强度衰减特征、破坏模式、灾害形成机理,并提出深部巷道围岩稳定控制的系列成套技术。根据相关研究成果,制定了平煤集团公司企业标准“深部巷道围岩分类及支护技术规程”,并开发了平煤矿区深部巷道支护专家系统。

本书是平煤股份公司在进入深部开采后,对深部巷道支护难题研究成果的系统总结,本书内容可为相关深部巷道支护设计、施工和管理人员提供参考。

本书的整体构思、前言撰写及全部的统稿及审定由张建国和靖洪文负责。全书共分9章,第1、7、8章主要由张建国、靖洪文、郭建伟、陈坤福编写,第2章主要由靖洪文、郭建伟编写,第3章由靖洪文、陈坤福编写,第4、5章主要由杨战标、陈荣柱、焦继红、宋锦虎编写,第6章主要由张建国、靖洪文、郭建伟、曹其俭编写,第9章主要由杨战标、曹其俭、陈荣柱、焦继红、杨睿、陈星明、魏思祥编写。

本书在撰写过程中,借鉴了有关平煤集团大量科技成果及参考文献,在此向这些成果的完成者及作者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,本书难免存在不足和错误之处,恳请各位读者批评指正。

编者

2016年9月

## 目 录

<b>第 1 章 平顶山矿区深部巷道及支护研究概况</b> .....	1
1.1 平顶山矿区主采煤层特征及构造 .....	1
1.2 平顶山矿区主要生产矿井及深部巷道概况 .....	3
1.3 深部巷道支护研究现状 .....	8
<b>第 2 章 平顶山矿区地应力分布规律及反演分析</b> .....	11
2.1 概述.....	11
2.2 地应力实测及空间区划研究.....	12
2.3 地应力场反演分析.....	33
2.4 地应力总体分布规律.....	53
<b>第 3 章 深部巷道围岩强度衰减规律的研究</b> .....	55
3.1 概述.....	55
3.2 基于声波测试的深部巷道围岩强度衰减时间演化规律.....	55
3.3 基于原位测试的深部巷道围岩强度衰减空间演化规律.....	62
3.4 基于深部巷道围岩强度衰减空间演化规律的数值计算分析.....	72
<b>第 4 章 平顶山矿区深部巷道围岩松动圈分布规律</b> .....	85
4.1 概述.....	85
4.2 地质雷达测试方法.....	85
4.3 平顶山矿区围岩松动圈测试数据整理与分析.....	87
4.4 平顶山矿区深部巷道松动圈分布规律分析 .....	107
4.5 巷道围岩松动圈的智能预测方法 .....	110
4.6 平顶山矿区各类巷道松动圈综合判断方法 .....	115
<b>第 5 章 深部巷道围岩破坏演化机理与过程</b> .....	123
5.1 概述 .....	123
5.2 三维物理模拟试验系统与试验方法 .....	123
5.3 深部高应力巷道围岩变形破坏机理试验研究 .....	133
5.4 深部高应力巷道围岩变形破坏机理数值模拟研究 .....	155

<b>第 6 章 平顶山矿区深部巷道围岩破坏模式与支护技术</b> .....	170
6.1 平顶山矿区深部巷道破坏模式分析 .....	170
6.2 地应力对矿区巷道破坏模式的影响分析 .....	179
6.3 针对破坏模式的巷道稳定控制对策 .....	190
6.4 深部巷道合理围岩控制技术 .....	193
6.5 大变形围岩让压、均压理论与锚杆、锚索设计 .....	205
6.6 破碎围岩内外承载与整体结构匹配设计 .....	212
6.7 动压巷道卸压与防冲结构设计 .....	219
<b>第 7 章 平顶山煤业股份公司深部巷道支护技术规范(试行)</b> .....	223
<b>第 8 章 平顶山矿区深部巷道支护专家系统</b> .....	241
8.1 用户角色设置及登录 .....	241
8.2 基础参数录入 .....	246
8.3 项目审核 .....	257
8.4 方案入库 .....	259
<b>第 9 章 工程实例及支护专家系统应用分析</b> .....	261
9.1 平煤四矿深部巷道支护设计与应用 .....	261
9.2 平煤五矿-650 m 进风石门支护设计与应用 .....	266
9.3 平煤五矿己三下延巷道支护设计与应用 .....	275
9.4 平煤九矿丁二回风下山支护设计与应用 .....	277
9.5 平煤十一矿大跨度车场交岔点支护设计与应用 .....	281
9.6 平煤十一矿丁 <sub>5-6</sub> 深部动压巷道支护设计与应用 .....	283
9.7 平煤十二矿三水平己 <sub>15</sub> 深部动压巷道支护设计与应用 .....	287
<b>参考文献</b> .....	297

# 第1章 平顶山矿区深部巷道及支护研究概况

煤炭是我国的主体能源,深部煤炭资源储量占60%以上。目前,全国煤矿的开采深度以8~12 m/年的速度向深部延深,采深超过1 000 m的矿井达47处。我国煤炭的大规模可持续开采立足于深部资源、依赖于深部开采。

随着开采深度的增加,煤矿地下工程所面临的地质环境趋于复杂化,高地应力、高地温、高瓦斯、高水压等引起的工程灾害和事故愈来愈多,如矿井冲击地压、巷道围岩大变形流变、地温升高、瓦斯爆炸等,对深部煤炭资源的安全高效开采也提出了严峻的挑战。在高应力环境下,煤岩体的力学特性常常发生较大的变化:浅部具有脆性特征的岩体,进入深部可能转化为塑性或延性特征,并多具有较强的时间效应,表现为明显的流变;煤岩体节理、裂隙张开,出现新裂纹,导致显著的扩容膨胀;同时地温增高也引起地应力变化;岩溶水压升高,矿井突水会变得严重;深部岩体冲击地压现象显著。正是由于深部岩体“三高一扰动”(高地温、高地压、高水压和采矿扰动)的工程特点,因而深部巷道开挖后位移量显著增大、变形速度加快、底鼓严重,支护结构损坏严重,巷道返修量急剧增加,巷道维护变得异常困难,严重制约了矿井安全高效生产。

## 1.1 平顶山矿区主采煤层特征及构造

### 1.1.1 主采煤层特征

平顶山矿区含煤地层时代属二叠、石炭纪。煤系地层总厚约800 m,共含煤7组,其中二叠系含煤6组(甲、乙、丙、丁、戊、己煤组),石炭系太原群含煤1组(庚煤组),共含煤60余层。煤层总厚为31.59 m,含煤系数达3.94%。可采煤层有丙<sub>3</sub>、丁<sub>5</sub>、丁<sub>6</sub>、戊<sub>8</sub>、戊<sub>9</sub>、戊<sub>10</sub>、己<sub>15</sub>、己<sub>16-17</sub>、庚<sub>20</sub>、庚<sub>21</sub>、庚<sub>22</sub>计11层,可采煤层总厚度19.74 m,见表1-1。其中主要可采煤层有丁<sub>5-6</sub>(局部合层)、戊<sub>8</sub>(部分可采)、戊<sub>9-10</sub>(局部合层)、己<sub>15</sub>、己<sub>16-17</sub>(含夹矸)8层。山西组己<sub>16-17</sub>和己<sub>15</sub>煤组,间距一般0~13 m(平均6.5 m),己<sub>15</sub>煤层厚0~4.70 m(平均0.91 m),己<sub>16-17</sub>煤层厚0.14~20.54 m(平均3.50 m)。下石盒子组下部戊<sub>9-10</sub>煤层厚3.0~4.5 m(平均4.3 m),距己<sub>15</sub>煤层165 m左右。下石盒子组中部丁<sub>5-6</sub>煤层厚0.8~2.6 m(平均2.01 m),距戊<sub>9-10</sub>煤层86 m左右。戊<sub>8</sub>煤层位于戊煤组顶部,在灰白色中~粗粒长石石英砂岩及灰白色细~中粒石英砂岩之间,上距丁<sub>6</sub>煤层一般为73 m,下距戊<sub>9-10</sub>煤层16 m,煤层厚0~3.24 m,平均厚为0.99 m。煤层结构一般较简单,厚度变化大。



表 1-1 平顶山矿区可采煤层情况一览表

煤层名称	钻孔穿过煤层点数	煤层开采点数	煤层厚度 最小~最大	一般厚度 /m	煤层间距 最小~最大	煤层结构	煤层稳定程度
			平均(参数点数) /m		一般 /m		
丙 <sub>3</sub>	25	19	$\frac{0.57 \sim 2.94}{1.63(21)}$	0.60~1.50	70~110	结构简单	较稳定
丁 <sub>5</sub>	25	21	$\frac{0.28 \sim 3.51}{1.65(23)}$	1.60~2.50	80.0 0~12	结果简单	较稳定
丁 <sub>6</sub>	35	28	$\frac{0.07 \sim 5.75}{2.31(30)}$	1.50~2.00	3.0 50~90	结构单一	稳定
戊 <sub>8</sub>	36	25	$\frac{0 \sim 3.24}{0.99(33)}$	0.70	73.0 6~25	结构较简单	较稳定
戊 <sub>9</sub>	13	9	$\frac{0 \sim 1.59}{0.74(13)}$	0.60~1.00	16.0 0~6	结构较简单	较稳定
戊 <sub>10</sub>	39	33	$\frac{0 \sim 4.29}{2.22(35)}$	1.50~2.50	1.2 140~240	结果简单	稳定
己 <sub>15</sub>	46	26	$\frac{0 \sim 4.70}{0.91(39)}$	0.60~1.20	185.0 5~18	结构单一	较稳定
己 <sub>16-17</sub>	53	47	$\frac{0.14 \sim 20.54}{3.50(50)}$	5.00~7.00	12 40~80	结构简单	稳定
庚 <sub>20</sub>	34	22	$\frac{0.23 \sim 2.91}{1.19(23)}$	0.80~1.20	55 1~6	结构单一	稳定
庚 <sub>21</sub>	32	17	$\frac{0 \sim 1.96}{0.94(22)}$	0.50~1.20	3.0 2~11	结构较复杂	较稳定
庚 <sub>22</sub>	32	20	$\frac{0 \sim 1.42}{0.66(28)}$	0.50~1.00	6.5	结构简单	稳定

注:该表选自部分区段。

由于受到李口向斜的影响,各层在前部倾角较大,随着深度的增加,煤层倾角由 25°左右逐渐过渡到 7°左右。随着开采接近向斜轴部,构造应力逐渐增大,对回采巷道的稳定性带来较大的影响。

### 1.1.2 平顶山矿区构造纲要

平顶山矿区构造变形受秦岭褶皱带演化的控制,主体构造为一宽缓复式向斜(李口向斜),轴向 NW50°,NW 向倾伏,向斜两翼倾角 5°~15°,由轴部向两翼由浅至深倾角逐渐变小。次一级褶皱有位于李口向斜轴以南的郝堂向斜、诸葛庙背斜、牛庄向斜和郭庄背斜,以及位于向斜轴以北的白石沟背斜、灵武向斜和襄郟背斜。次级褶皱的明显特征是向斜宽缓、背斜窄陡。

由于锅底山断裂和李口向斜的控制作用,平顶山矿区可划分为东西2个部分:

① 矿区西部的锅底山断裂是一个控制性、开放性断裂,有利于应力释放,位于锅底山断裂附近的四矿、五矿、六矿、香山公司和一矿井田的西半部,巷道围岩中积聚的弹性能较少。

② 矿区东部的十矿、十二矿井田以及一矿井田东半部,受北西向展布的郭庄背斜、牛庄向斜、十矿向斜、牛庄逆断层、原十一矿逆断层的控制,是一个北西向展布的逆冲推覆断裂褶皱挤压构造带;八矿位于李口向斜轴的南东转折仰起端,处于北西向构造与北东向构造交汇复合、联合处,既有北西向展布的任庄断裂、张湾断裂,又有北东向展布的辛店断裂;既有北东向展布的前聂背斜,又有北西向与北东向构造复合控制的焦赞背斜,还有北西向构造与北东向构造联合作用控制的盆形构造任庄向斜。矿区东部构造复杂,煤层破坏强烈,构造煤极为发育,属应力集中比较严重的局域。

## 1.2 平顶山矿区主要生产矿井及深部巷道概况

平顶山矿区1952年被列为国家“一五”计划的重大建设项目,1953年被列为全国十个矿区建设项目之一,是新中国开发建设的第一个大型矿区。1954年4月,平顶山煤矿筹备处成立,1955年9月,平顶山第一对矿井“二矿”动工兴建,1957年平顶山矿务局成立,1964年5月平顶山矿务局划归煤炭工业部直接领导,1996年1月改制为国有独资的有限责任公司,1998年9月平顶山煤业(集团)有限责任公司下放河南省管理,2002年12月改制为多元投资主体的有限责任公司,2008年12月与神马集团重组,成立中国平煤神马能源化工集团有限责任公司。

### 1.2.1 主要生产矿井概况

#### (1) 一矿

一矿位于平顶山市区北郊,井田属于平顶山煤田,是新中国成立后我国自行设计兴建的第一座大型煤矿,1957年12月兴建,1959年12月投产。经过改扩建,矿井年生产能力由1.5 Mt/a提高到5 Mt/a,跨入全国特大型矿井行列。

平顶山、落凫山位于井田中部,两座山南陡北缓,基本呈单面山形,走向近东西,地势北高南低,形成本井田范围内的分水岭;南北两侧冲沟发育,多为季节性冲沟,南侧冲沟汇集入湛河。主、副井口位于落凫山南麓,主井口标高为+150 m。平顶山海拔+411.1 m,落凫山海拔+492.7 m。井田内地面山间冲沟发育。

井田东以26勘探线为界与十矿相邻,西以36勘探线为界与四矿、六矿相邻,北以李口向斜轴为界,南部边界为人为边界,分别为丙<sub>3</sub>煤层+150 m等高线、丁组煤+150 m等高线、戊组煤+130 m等高线。井田面积39.7 km<sup>2</sup>。矿井开采方式为地下开采,采用立井-斜井多水平联合开拓方式,第一水平标高为-25 m,第二水平标高为-240 m,第三水平标高为-517 m。目前一水平为残采水平,二、三水平为生产水平,采煤方法为走向长壁采煤法。矿井生产过程中水文情况变化不大,对生产影响也不大。但随着开采深度的增加,瓦斯和地压也越来越大,对煤矿生产构成威胁。

#### (2) 二矿

二矿位于平顶山矿区中部,平顶山市区北部,紧邻市区。2008年“豫煤层行(2008)875

号”文批准核定其生产能力为 1.7 Mt/a。井田西部的浅部与三环公司相邻,西部的深部与四矿相邻,北部未开发,东部的浅部与十矿、吴寨矿相邻,东部的深部与十矿相邻,南部煤层露头自然风氧化带,紧邻平顶山市区,井田面积约 25.5 km<sup>2</sup>。

矿井采用立斜井多水平开拓方式,通风方式为中央边界式,通风方法为抽出式,开采方法为走向长壁采煤法,顶板控制为全部垮落法。采煤工艺为综合机械化采煤,主要开采己组、庚组煤。

矿井现有 1 个生产水平,即二水平;有 3 个生产采区(庚一采区、己二采区和庚三采区),接替采区为二水平己一采区、三水平己庚一采区。二水平标高为-86~-450 m,接替水平为三水平。

### (3) 四矿

四矿位于平顶山西部,距市中心 5 km,井田东西走向约 2 km,南北倾斜约 5.5 km,井田面积约 12 km<sup>2</sup>,可采煤层 4 组 9 层。矿井于 1958 年建成投产,原设计能力 0.6 Mt/a。1985 年二水平投产,新增设计能力 0.6 Mt/a。后经多次技术改造,现矿井生产能力已超过 3 Mt/a。井田内煤层赋存比较稳定,煤层倾角为 8°~12°,平均煤厚 4 m,整体地质条件比较简单,瓦斯和二氧化碳含量相对较高,涌水量不大。

矿井采用立井上下山开采,煤层采用采区上下山联合布置的开拓方式,一水平深部标高为-510 m,二水平深部标高为-530 m。地面为低山丘陵地形,标高一般在+160~+460 m,最高点为 506.5 m;井田中部高,南北低,擂鼓台、小擂鼓台及 407.7 m 高地一线为近东西向分水岭,分水岭以南坡度较陡,以北坡度较缓,基本呈单面山地形。主要开采己组煤与庚组煤。煤层具有自然发火危险性,自然发火期为 4~6 个月。相对瓦斯涌出量为 11.24 m<sup>3</sup>/t,为高瓦斯矿井,煤尘无爆炸危险。

### (4) 五矿

五矿位于平顶山市西部,东距平顶山市约 8 km,西距宝丰县 28 km,行政区划隶属平顶山市管辖。矿区地处汝河以南、沙河以北的低山丘陵地带,北部主要为平顶山砂岩组成的低山,自西向东有红石山、龙山、擂鼓台、落鳧山、平顶山、马棚山等,最高点擂鼓台,标高为+505.6 m;南部有蝎子山、芦山和九里山等,主要由震旦系片岩和片麻岩及寒武系灰岩组成,海拔为+150~+158 m。

井田设计范围为己<sub>15</sub>煤层北部以-650 m 煤层底板等高线为界,南部以锅底山正断层-250 m 煤层底板等高线为界,西部以 F<sub>10</sub>及次生断层为界,东部以 43 勘探线为界。井田东西走向长约 3.716 km,南北倾向长约 1.74 km,井田面积约为 6.3 km<sup>2</sup>。

井田含煤地层平均厚度为 789 m,含煤 81 层,常见 43 层,煤层总厚约 27 m,含煤系数为 3.4%左右。可采及局部可采煤层共 9 层,其中庚<sub>20</sub>、己<sub>16-17</sub>、戊<sub>8</sub>、戊<sub>9-10</sub>、丁<sub>5-6</sub>为主要可采煤层,己<sub>14</sub>、己<sub>15</sub>、丙<sub>3</sub>为局部可采煤层,庚<sub>21</sub>为偶尔可采煤层。可采煤层总厚为 17.24 m,可采系数为 2.2%左右。煤层层总体走向 SE130°~155°,倾向 N40°~45°E,倾角 5°~30°(一般 15°左右)。己<sub>15</sub>煤层位于山西组下部,上距砂锅窑砂岩 39~81 m,平均 60 m。时有泥岩伪顶,伪顶为炭质泥岩;直接顶为泥岩或砂质泥岩,厚 5~10 m;基本顶为中粒砂岩,厚 10~20 m;底板为己<sub>16-17</sub>煤层顶板。

### (5) 六矿

六矿位于平顶山矿区中部,始建于 1958 年,1970 年投产。目前,矿井原煤产量已达

4 Mt/a。六矿矿井井田面积 29.68 km<sup>2</sup>，系缓倾斜近距离煤层群。井田内主要可采煤层为丁组煤、戊组煤，丁组煤与戊组煤的层间距为 72.9 m。目前，矿井主采煤为戊组煤，其中戊<sub>8</sub>煤层与戊<sub>9-10</sub>煤层的层间距为 1.02~20.07 m。戊<sub>8</sub>煤层厚度为 1.3~4.0 m，均厚 2.6 m；戊<sub>9-10</sub>煤层厚 2.2~3.8 m，平均煤厚 3 m。煤层倾角为 4°~7°，戊组煤顶板均为泥岩及砂质泥岩，顶板破碎，难于管理。

#### (6) 七矿

七矿位于平顶山矿区西南侧，井田北部以锅底山正断层为自然边界与三环公司、六矿相连，南部和东部至庚组煤露头，西部以 43 勘探线东 200 m 平行线为界与五矿相连。东西走向长 6.25 km，南北倾向宽 1.72 km，面积约 8.17 km<sup>2</sup>。矿井设计生产能力 0.9 Mt/a，后经 1987 年改扩建，矿井生产能力增至 1.2 Mt/a。

井田内主要地层有寒武系、石炭系、二叠系、第三系和第四系地层。井田南部寒武系地层出露地表，其他地层均为第四系含钙质结核的黏土覆盖。井田地势西高东低，湛河自西向东流经井田南部。赫堂向斜是井田主体构造，轴向 N50°W，其南翼倾角为 8°~22°，北翼为一系列断裂切割，形态不完整。地质条件较复杂，对掘进工程有较大影响。

井田主要开采己<sub>17</sub>煤层，煤层埋深 250~301 m，地面标高为 +109 m，井下标高为 -141~-192 m。己<sub>17</sub>煤层属粉末状，煤尘较大。煤厚度为 0.2~4.3 m，平均煤厚 2.4 m。煤层走向 110°~125°，倾向北东。煤层倾角 18°~24°，平均倾角 22°，煤层赋存总体较稳定。

#### (7) 八矿

八矿位于平顶山煤田东部，距市中心 11 km。矿井范围东以沙河为界，西与十矿、十二矿为界，南部至煤层露头，北至李口向斜轴和白石沟断层。矿井东西走向长 12.5 km，南北倾向宽 3.36 km，井田面积 41.42 km<sup>2</sup>。

矿井设计生产能力为 3 Mt/a，服务年限 65 年，2006 年核定综合生产能力为 3 Mt/a。矿井采用立井多水平、岩石集中大巷、石门、采区上下山开拓。有 -430 m 和 -693 m 两个水平，采区内以走向长壁后退式采煤法回采，全部垮落法管理顶板。矿区内现有 8 个井筒，分别为主井、副井、新副井、西一风井、西二进风井、东风井、丁一风井、北风井。

矿井可采煤三组四层，即丁<sub>5-6</sub>（煤厚 0.8~2.5 m，平均厚度 2.01 m）、戊<sub>9-10</sub>（煤厚 3~5.5 m，平均厚度 4.3 m）、己<sub>15</sub>（煤厚 2.5~5.33 m，平均厚度 3.61 m）、己<sub>16-17</sub>（煤厚 0.5~2.6 m，平均厚度 1.7 m，局部可采），煤层倾角西翼 8°~30°，东翼 8°~20°。丁<sub>5-6</sub>与戊<sub>9-10</sub>层间距 86 m 左右，戊<sub>9-10</sub>与己<sub>15</sub>层间距 165 m 左右，己<sub>15</sub>与己<sub>16-17</sub>层间距 0~13 m。

八矿为自然发火矿井，三组煤均具有自然发火危险性，自然发火期为 4~6 个月；三组煤均具有煤尘爆炸危险性，爆炸指数为 25.28~36.19。八矿为水文地质条件中等型矿井，矿井设计正常涌水量为 600~700 m<sup>3</sup>/h，最大涌水量为 1 080~1 260 m<sup>3</sup>/h，二水平正常涌水量为 30~50 m<sup>3</sup>/h，目前矿井实际涌水量为 520~580 m<sup>3</sup>/h。矿井水文地质类型为中等。另外井下地温较高，为一级热害矿井。

#### (8) 九矿(香山矿)

九矿井田东邻五矿，西接十一矿，南到己组煤露头，北到锅底山正断层（-900 m 水平）。井田东西走向长 2 km，南北倾向长 2.7 km，井田面积 5.4 km<sup>2</sup>。

九矿是一座经过多次延深改造的衰老矿井，于 1958 年 8 月 21 日破土动工，设计生产能力 0.21 Mt/a。其前后因多种原因停产，1970 年开始复矿生产，1989 年由原平顶山矿务局

九矿转为平煤香山多种经营公司,2005年矿井核定生产能力0.32 Mt/a,2009年归属平煤股份,2010年达到百万吨级矿井。

根据矿井生产布局和煤层赋存条件,矿井技改工程二水平己二采区、戊二采区采煤工作面均为综合机械化采煤工作面。

#### (9) 十矿

十矿位于平顶山市东北部,平顶山煤田东部。井田边界西以26勘探线与一矿、二矿接壤,丁、戊组煤东以21勘探线东500 m与八矿相邻,己、庚组煤以23勘探线东500 m与十二矿相邻,南以各煤层露头为界,北至李口向斜轴部及-1 000 m煤层底板等高线为界。井田东西走向长4.8 km,南北倾斜长7.5 km。

矿井于1958年8月开工建设,1964年2月移交生产。原设计生产能力1.2 Mt/a,2007年底核定矿井生产能力为2.9 Mt/a。2007年估算全矿井总资源储量248.216 Mt,其中保有储量149.076 Mt,动用储量99.14 Mt,矿井剩余服务年限为43.5年。2008年,800 m埋深以下的采掘工作面有8个,采煤工作面最大开采深度为1 039 m。

矿井采用立井、斜井多水平联合开拓,采区上下山双翼布置,走向长壁垮落法回采,全部采用综合机械化采煤工艺。矿井主生产水平两个,一水平标高为-140 m,二水平标高为-320 m,三水平正在建设中。

#### (10) 十一矿

十一矿位于平顶山市西郊香山脚下,于1979年1月建成投产,矿井井田面积约23.5 km<sup>2</sup>,可采储量142.7 Mt,原设计生产能力为0.6 Mt/a。1997年,矿井经改扩建后年产量达1.2 Mt,成为平煤集团骨干矿井之一。矿井开拓方式为中央立井、主石门、底板岩石大巷联合布置,采区石门贯穿各煤层。全井田有两个开拓水平,各水平以上下山方式布置,一水平标高为-180 m,二水平标高为-593 m。矿井采煤方法为走向长壁式,采煤工艺为综采,采空区处理方式为全部垮落法。

矿井位于平顶山煤田西部,含煤地层为石炭系上统太原组、二叠系下统山西组和下石盒子组、二叠系上统上石盒子组,煤系地层总厚794.03 m,含煤9组88层,煤层总厚度25.31 m,含煤系数为3.19。可采煤层为二<sub>1</sub>、四<sub>2</sub>、五<sub>12</sub>煤层,局部可采煤层为一<sub>4</sub>、二<sub>2</sub>、四<sub>3</sub>、五<sub>22</sub>、六<sub>2</sub>煤层,可采煤层总厚14.30 m。

矿井处于李口向斜西南翼,浅部地层陡,倾角高达67°,局部倒转,深部倾角缓,倾角一般为5°~12°。区内褶皱与大中型断裂构造均不甚发育,多为NW-SE向。

#### (11) 十二矿

十二矿位于平顶山市东部,距平顶山市区中心约7.5 km。矿区工业场地有矿区专用铁路与京广线、焦枝线连接。十二矿改扩建设计生产能力为0.9 Mt/a,2006年省煤炭工业局下达生产能力复核结果为1.3 Mt/a。

矿井东以20勘探线东500 m平行线与八矿为界,西以23勘探线与十矿为界,南以己组煤露头线为界,北至李口向斜轴。十二矿井田走向长约5 km,倾斜宽约3 km,井田面积约15 km<sup>2</sup>。矿井开采上限标高约-75 m,下限标高约-850 m。

十二矿共划分为3个水平,分别是一水平(-150 m)、二水平(-270 m)、三水平(-600 m)。共7个采区,分别为己一采区、己二采区、己三采区、己四采区、己五采区、己六采区和己七采区,目前只有2个采区生产,即己六采区和己七采区。

矿井采取1对(立井(副井)、1个主斜井、3个水平(-150 m水平、-270 m水平和-600 m水平)上下山开拓,走向长壁综合机械化采煤法采煤,全部垮落法管理顶板。

### (12) 十三矿

十三矿位于襄、陕两县结合部位的汝河河谷地区,井田走向长15 km,倾斜宽2.3~5.0 km,井田面积45 km<sup>2</sup>。十三矿于1993年12月18日开工建设,2002年5月18日正式生产,2007年河南省煤炭工业局核定生产能力为1.8 Mt/a。

十三矿共有2个开采水平,一水平标高为-525 m,二水平标高为-700 m;矿井现有3个生产采区,1个准备采区,其中己一、己二采区在二<sub>1</sub>煤层露头区东西向并列布置,三采区位于己一采区下部。己一采区的涌水量为66 m<sup>3</sup>/h,己二采区的涌水量为145 m<sup>3</sup>/h;己一、己二采区均为上山采区,己一采区轨道上山有水沟,己二采区轨道上山有水管与大巷水沟直接相连。

### (13) 首山一矿

首山一矿井田位于平顶山市东北,距平顶山市约25 km,距许昌50 km,井田位于平顶山矿区李口向斜北翼东端。首山一矿紧临许平南国道及漯宝、平禹铁路,交通十分便利。井田内14条断层中,落差大于100 m的有1条(即F<sub>14</sub>),落差大于30 m的有6条(即F<sub>1</sub>、F<sub>6</sub>、F<sub>7</sub>、F<sub>9</sub>、F<sub>12</sub>、F<sub>13</sub>),落差为30~15 m的有5条(即F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>8</sub>、F<sub>10</sub>、F<sub>11</sub>),落差小于15 m的有2条(即F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>)。除F<sub>9</sub>正断层及F<sub>13</sub>逆断层出露地表外,其余均为隐伏断层。矿井井田面积47 km<sup>2</sup>,东西走向14.5 km,南北倾向宽1.1~4.6 km,地质储量582 Mt,可采储量308 Mt。矿井和水文地质条件简单,矿井正常涌水量为405.3 m<sup>3</sup>/h,最大涌水量为486.4 m<sup>3</sup>/h。矿井年设计生产能力2.4 Mt,服务年限为92年。

井田范围内可采煤为戊<sub>9-10</sub>煤层和己<sub>16-18</sub>煤层,戊<sub>9-10</sub>煤层平均厚2.5 m,己<sub>16-17</sub>煤层平均厚6.5 m,两组煤均具有突出危险性、煤尘爆炸性和自然发火倾向性,属煤与瓦斯突出矿井。己<sub>16-17</sub>煤层属于厚煤层,结构较简单,为稳定煤层,其全区可采,为井田主采煤层。

## 1.2.2 深部巷道概况

平煤集团的主干生产矿井中,已有一矿、四矿、五矿、八矿、十矿、十一矿和十二矿等进入了埋深超过700 m的深部开采,占整个矿区矿井数量的一半以上。

平煤十二矿三水平设计首采面己<sub>15</sub>-31010工作面地表为高山,最高标高为+430 m,工作面标高为-705~-775 m,垂深在1 015~1 130 m,远超过深井的临界开采深度,该区域竖向应力接近28 MPa,最大水平应力近40 MPa,而且由于巷道开挖和工作面采动作用,巷道及采场周边最大应力可超过80 MPa以上,围岩处于高应力状态。而主采煤层己<sub>15</sub>、己<sub>16-17</sub>煤层均为煤与瓦斯突出煤层,随着矿井开采深度的增加,深井煤岩瓦斯动力灾害问题都将更加严重,特别是进入三水平后,出现了高地应力、高瓦斯、低渗透性和低强度煤体的现象,使原有安全保障技术不能适应开采技术的要求,先后发生了多起煤与瓦斯突出事故,对安全生产造成了严重威胁。

平煤五矿己三轨道下山沿己<sub>15</sub>煤层底板掘进,巷道总长度近1 500 m,巷道原设计断面为半圆拱形,断面尺寸净宽4.0 m,净高3.5 m,巷道下山坡度17°。己三轨道下延所处岩层主要包括砂岩、粉砂岩、泥岩和己<sub>15</sub>、己<sub>16</sub>、己<sub>17</sub>煤。由于岩性较差,围岩表现出松散、软弱的特性,承载能力相对较低,碎胀现象明显,且这些岩层遇水或吸湿后,具有明显的软化现象,在水的作用

下极易出现泥化;该段工程埋深达 600~700 余米,上覆岩层所产生的垂直压力和侧向压力也较大;同时巷道处于上层煤柱集中应力之下,受两侧采动影响比较显著。因此,这些因素严重影响了巷道的稳定性,使得原多种支护方式不能满足支护要求,发生严重的变形破坏,造成巷道发生顶板下沉、底鼓、两帮内挤等破坏现象。大部分巷道虽经 3~5 次修复,但巷道收敛变形仍持续增长、流变显著,维护极其困难,严重影响了矿井运输和生产的正常进行。

平煤四矿是该矿区较早进入深部开采的矿井之一,面临着突出的深部高应力软岩巷道支护难题。由于埋深大(800 m 以上)、围岩软弱和支护不合理等原因,该矿深部多数巷道的围岩松动圈厚度都在 1.5 m 以上,有的甚至超过 3 m,属于较软软岩和极软软岩。在相当长时期内曾经试验了多种高强支护方式,比如大型 U 型钢全封闭支架再喷浆的复合支护、高强锚杆加锚索加喷网复合支护,以及大弧板和网壳支护等,然而,所有这些支护方式的实际效果都不理想,而且大部分巷道虽然经过多次返修加固,但其变形仍然得不到有效控制,一方面极大地增加了支护成本,另一方面又严重影响着矿井的正常安全生产。

平煤十矿中区戊组下山共有 3 条,分别是中区戊组轨道下山、运输下山和瓦斯专用巷,埋深达 490~950 m,巷道变形严重,且长期不能稳定,需要返修。主要原因有:围岩松软破碎,顶底板均为泥岩,煤层的强度低并受小断层切割。经历 2 次修复、扰动,围岩松动圈较大。当围岩产生大变形后,破碎围岩中锚杆的锚固力快速衰减,支护阻力降低,甚至丧失,威胁着矿井的安全生产。

时代的发展、科学的进步及其不断的开采实践和理论研究,使得支护理念由被动转为主动,巷道的支护逐渐由传统的棚式支护、低预应力低强度锚杆支护向高预应力高强度高刚度锚杆锚索支护转化。然而,对于深部地下巷道围岩工程控制效果如何,不仅取决于支护形式的选择,而且受深部巷道所处的地质条件、岩层特征、围岩应力状态等所制约。目前对深部高应力硬岩巷道、深部高应力软岩巷道、具有显著结构面和破碎带的深部巷道等,如何选择合理的支护对策,如何针对深部巷道具体的围岩应力状态应用好锚杆、锚索、注浆等先进经济的支护方式,均需要进行深入、系统的研究。

虽然目前在煤矿巷道围岩稳定控制理论及技术方面,已经取得了长足的进步,但随着开采深度的增加、开采强度的提高以及开采条件的恶化,我国煤矿巷道围岩稳定控制关键技术始终面临着一系列新的挑战,出现了许多前所未有的复杂困难巷道,如深部强动压巷道、深部软岩大变形流变巷道、深部高应力碎裂围岩巷道、特大断面巷道等,对锚杆支护和注浆加固方式提出了更高、更苛刻的要求。传统的单一的支护模式已很难适应深部巷道高应力、大变形、显著流变、强动压、碎裂化的要求,需要采取联合支护模式,才能有效控制深部巷道围岩的变形,但由于联合支护成本高等原因,得不到推广应用,因此需要从深部不同类型巷道围岩变形破坏机理出发,提出和发展一系列有效且经济的深部巷道围岩稳定控制关键技术。

## 1.3 深部巷道支护研究现状

### 1.3.1 对于“深部”巷道的界定

在对深部工程引起的岩石力学问题研究的过程中,国外采矿、岩土工程界专家学者相继提出了“深部”的概念。通常认为,深部开采是由于矿床埋藏较深,而使生产过程出现一些在



浅部矿床开采时很少遇到的技术难题的矿山开采。世界上有着深井开采历史的国家一般认为,当矿山开采深度超过 600 m 即为深井开采,但对于南非、加拿大等采矿业发达的国家,矿井深度达到 800~1 000 m 才称为深井开采;德国将埋深超过 800~1 000 m 的矿井称为深井,将埋深超过 1 200 m 的矿井称为超深井开采;日本把深井的“临界深度”界定为 600 m,而英国和波兰则将其界定为 750 m。

上述关于“深部”的概念均以具体的工程深度为指标进行定义,在工程应用中具有局限性。如有的工程岩体在所定义深度区间以上就会表现出深部所特有的非线性力学现象;而有的工程岩体处于所定义深度区间范围之内也未必会出现深部工程岩体的非线性力学现象。因此,上述定义在指导工程实践时缺乏实用性,不具科学性。需要针对深部工程所处的特殊地质力学环境,通过对深部工程岩体非线性力学特点的深入研究,建立平顶山矿区深部的概念体系。

### 1.3.2 深部高地应力巷道围岩稳定控制技术现状

国内外煤矿巷道工程实践表明,随着采深的不断增加,巷道围岩所受的应力状态趋于复杂化,赋存环境更加恶劣,许多深部巷道尽管在初始阶段呈稳定状态,但是在经过一段时间后,由于围岩变形随时间的不断发展,巷道围岩经常出现变形破坏情况,如顶板离层、两帮内挤、底鼓等现象。

许多矿井在浅部开采时,所积累的巷道围岩控制经验和有效技术通常难以解决深部开采的难题,必须探索和研究新的更加有效的深部围岩稳定控制技术。深部巷道根据围岩所受的工程扰动情况以及围岩自身的特点,主要有如下两种分类方法:① 根据围岩自身的物理力学性质,可分为深部硬岩巷道、深部软岩巷道和深部碎裂围岩巷道;② 根据围岩所受的扰动程度,可分为深部强动压巷道和深部静压巷道。

为了防止上述不同类型的深部巷道发生变形破坏现象,对于顶板和两帮通常有如下的控制技术措施可选择:锚(杆、索)、带(W型钢带)、网(强力金属网)、注浆锚杆、滞后注浆、U型钢拱形支架、网壳、格栅。底鼓问题往往是巷道破坏和失稳的突破点,而对于深部巷道而言,由于地应力大,底板岩石松软,掘进和回采期间底板变形强烈,底鼓量可达到顶底板移近量的 70%~80%,严重影响巷道使用和安全生产,造成经济损失,因此深部巷道底板控制通常有如下多种技术措施可供选择:① 底角倾斜锚杆;② 锚杆注浆及全封闭式支护;③ 基角深孔爆破卸压;④ 反底拱和注浆;⑤ 锚注加固法和浮渣注浆法。采用上述技术措施的联合,可较好解决深部巷道围岩变形破坏情况。如淮南矿区采用高强度预应力锚杆与滞后注浆技术,解决了深部开采大断面破碎围岩变形破坏问题;济宁二矿采用锚网索联合支护技术,解决了深部回采巷道的变形破坏问题。

不同类型的深部巷道围岩变形破坏主要受高地压的作用、构造应力作用、采场应力作用等因素的影响,然而由于一些深部软岩巷道围岩的大变形流变、深部硬岩巷道所受的冲击地压、深部碎裂巷道围岩显著的碎胀和扩容效应等,因此即使采用了一些联合支护技术来控制这些巷道,巷道围岩仍表现为显著的变形破坏现象,如平煤四矿深部高应力软岩巷道在 U 型钢与锚网喷联合支护下巷道的变形破坏情况,致使部分巷道返修率达 90% 以上,实现煤矿安全高效开采的技术难度增高,成本增加。据统计,采深每增加 100 m,平均吨煤成本增加约 5%。



引起深部巷道围岩变形破坏现象的主要原因是,现有的深部巷道围岩变形破坏机理研究尚不成熟,缺乏对不同类型的深部巷道围岩破坏全过程中的应力、变形等非线性演化机理的掌握。因此,对深部巷道围岩变形破坏机理的研究,首先需要通过深部巷道围岩松动圈及地应力等的现场实测,以及深部巷道围岩物理力学性质的试验分析,开展深部巷道围岩系统分类研究;然后采用模型试验、理论分析与数值模拟等手段,开展深部不同类型巷道围岩的变形破坏特征研究及智能预测分析,这样才能深入揭示深部巷道围岩的变形破坏机理,从而为建立深部巷道围岩稳定控制关键技术提供基础依据与理论支撑。

### 1.3.3 深部大变形流变巷道围岩稳定控制技术水平概述

在我国煤矿煤系地层中,具有软岩的矿井分布十分广泛。软岩巷道具有围岩软、强度低、膨胀性、深度大、应力水平高、无可选择性、动荷载作用、时限性等特点。这些特点使得软岩巷道支护问题成为困扰我国煤矿生产建设的重大问题之一。而且随着矿山开采转向深部,复杂的工程地质条件、高应力、遇水膨胀等不利因素的影响,深部软岩巷道围岩表现出显著的大变形流变特性。对于软岩大变形流变巷道支护问题依然存在着要么支护投入太高,要么支护达不到预期效果的问题,而且在大变形流变软岩支护理论与设计方法上也不完善,这主要是由于目前对软岩流变变形特性及其规律认识不够。

因此,从软岩流变变形机理出发,研究由于采深的增加所导致的大变形流变巷道围岩的稳定控制问题变得尤为重要,需要通过分析软岩巷道围岩的应力规律、流变规律,有针对性地提出深部软岩流变巷道围岩的支护对策,如先弱后强(即先进行低阻力的及时支护,待围岩变形有所衰减后再进行加固和强力支护)的深部软岩流变巷道围岩二次支护技术等。