

413
Quanguo Meikuang Qianmi Shenjing Kaicai Jishu

全国煤矿 千米深井开采技术

中国煤炭工业协会 编
山东能源新汶矿业集团

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

全国煤矿千米深井开采技术

中国煤炭工业协会 编
山东能源新汶矿业集团

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

全国煤矿千米深井开采技术/中国煤炭工业协会,山东能源新汶矿业集团编. —徐州:中国矿业大学出版社,2013.7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1916 - 9

I. ①全… II. ①中… ②山… III. ①深井—采煤方法 IV. ①TD823.84

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 147020 号

书 名 全国煤矿千米深井开采技术
编 者 中国煤炭工业协会 山东能源新汶矿业集团
责任编辑 姜志方
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 889×1194 1/16 印张 30.75 字数 930 千字
版次印次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价 120.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

编 委 会

编委会主任	王显政			
编委会副主任	梁嘉琨	彭建勋	卜昌森	
编委会成员	姜智敏	田 会	解宏绪	刘 峰
	王虹桥	王广德	李希勇	
主 编	彭建勋	张 文	张 农	
编辑组成员	孙守仁	张 宏	陈养才	陈 奇
	刘 富	杨树勇	尹兆祥	姚利军
	葛维明	秦彦磊	孙春江	翟明华
	辛恒奇	张 明	周 明	李 伟
	刘志钧	刘永禄	秦加福	安和人
	张胜利	刘建功	杜计平	张树良
	邵太升	王方荣	华心祝	陈文波
	陆 伦	葛均刚	黄志彬	张卫东
	韩顺兴			

前 言

能源是人类生存和发展的重要物质基础,攸关国计民生和国家安全。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。随着对能源需求量的增加和开采强度的不断加大,我国煤炭开采逐步转向深部,煤矿开采深度以8~12 m/a的速度增加。

据不完全统计,全国千米深井已有47处,主要分布在山东、江苏、安徽、河北、辽宁、黑龙江、吉林和河南等省区,其中山东省就有21处。目前,全国最深的矿井是新汶矿业集团孙村煤矿,其开采深度已达到1 501 m。随着煤矿开采深度逐年增加,深部“五高两扰动”的复杂地质力学环境,使得开采面临巷道维护、高温热害、冲击地压、煤(岩)与瓦斯突出、突水、煤层自燃和生产成本提高等突出问题,导致煤矿安全风险加大、部分矿井停产停建、技术经济效益变差。

按照国民经济发展“十二五”规划纲要总体要求,综合考虑技术、安全、资源、环境、经济等因素,实现能源发展的主要目标,煤矿深部开采面临的问题将是当前和今后生产中的重大问题,关系到我国能源的可持续发展,必须未雨绸缪,加大研究和科技创新的力度,以期解决关键技术难题,采用先进的开采理念、技术及装备,不断提高煤炭工业科学化发展水平,降低和防范深部开采带来的风险,实现深部安全高效开采。

为进一步探讨和研究煤矿深井开采技术,总结经验,交流新技术、新工艺、新装备、新材料的发展及应用,中国煤炭工业协会向煤炭企业、科研部门、院校和有关专家学者征集全国煤矿深井开采技术论文,从中选出80余篇,涉及围岩控制技术、冲击地压防治、热害治理、瓦斯治理、水害防治、采煤方法、建井技术等方面。这批论文多来自煤矿深井生产一线的科技成果,具有重要的参考价值。

本书的编辑工作,得到众多院校、科研部门和煤炭企业有关专家学者的大力支持和帮助。在此,谨对他们及在本书编辑过程中做出贡献的人们表示衷心感谢!由于时间紧、任务重和编辑者的水平有限,其中疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2013年7月9日

目次

综 述

深部煤炭资源开采现状与技术挑战	张农,李希勇,郑西贵,等	(2)
新汶矿区深部煤炭资源开采现状及科学对策	李希勇	(24)
创新煤矿千米深井安全高效开采技术与装备	王国法	(34)

1 围岩控制技术

高应力巷道围岩应力转移技术与工程应用研究	李学华,侯朝炯,柏建彪,等	(49)
孔庄矿-1 015 m 井底车场地应力测量及巷道围岩控制	花锦波,郑西贵,张农,等	(57)
淮南矿区深部回采巷道矿压显现特征及支护技术	华心祝,陈登红	(64)
深部煤巷围岩不连续破裂规律及其应用	谭云亮,宁建国,孙春江,等	(71)
深部非线性力学问题的工程对策	马小钧	(79)
深井高地压、大变形围岩巷道支护技术及锚杆设计	王亚杰	(87)
深井高应力软岩硐室底鼓综合治理技术	方基祥,孔翔	(99)
深部软岩巷道耦合支护关键技术研究	孙晓明,杨军,郭志飏	(105)
深部高应力软岩巷道支护技术优化及工程实践	李琰庆,陈同虎,宋友良,等	(110)
煤矿深部交叉硐室群的设计及支护	冯玉峰,杨焕河	(115)
大理深高应力巷道让压支护技术应用	黄庆显	(124)
平煤一矿深井高地应力软岩巷道失稳机理及支护技术	孙利民	(128)
平煤一矿深井高应力软岩巷道稳定性分析及控制	曾昭友	(134)
深井冲击地压煤巷锚杆支护技术	张京泉,马江军	(140)
深井动压巷道底鼓治理技术研究与应用	贾启增	(145)
深井大硐室支护设计与施工	吕庆刚	(150)
深部软岩巷道控制力学对策	刘银根	(153)
深部软岩巷道支护技术研究及工程实例	孟庆彬,乔卫国,林登阁,等	(158)
旗山煤矿深部软岩泵房集约化吸水井的结构与支护	黄茂鸿,刘银根	(164)
超前锚注与钢管混凝土支架联合支护技术在高应力区软岩巷道的应用	韩志鹏,秦四春	(168)
大断面巷道重复锚、喷联合支护的应用	李伟民,李德元,高维宇	(171)
大强煤矿深井软岩巷道支护实践	杨福辉,邵柏库,韩树章	(175)
千米深井支护技术研究	张金魁	(181)
深部软岩巷道围岩控制技术	纪占辉	(184)
深井条采煤柱支承效应及覆岩形变控制研究	闫勇,张伟	(187)
新汶矿区高应力深井巷道施工技术探讨	任勇杰,王庆伟	(192)

邢东矿大采深巷道复合支护技术研究	周智军,杨军辉	(198)
马丽散固化技术在高应力区域过老硐的应用	张斌,位玉红,高灵志	(203)
深部巷道底鼓反底拱回填治理技术	张卫东,顾新泽,邹永德	(206)
巷道修护中超前临时支护的研究与应用	杨雷	(210)
深井巷道矿压显现规律以及支护方法探讨	黄志忠	(213)
深部软岩水淹下山巷道修复技术	张徐忠,张卫东,顾新泽	(220)
双控锚杆(索)在深部扩巷修护交岔点中的应用	胥保远	(223)
深部岩巷修护底鼓控制技术研究及应用	贾启增	(227)

2 冲击地压防治

煤矿冲击矿压强度的弱化控制机理	陆莱平,窦林名	(232)
千米深井开采与冲击地压防治技术	郭晓胜	(243)
综合防冲技术在3322B工作面的应用	计占民,于子安,刘俊儒,等	(248)
济宁三号煤矿冲击矿压发生原因分析与研究	郭念波,王应启	(253)
老虎台矿冲击地压防治技术	盛继权,杨发武,金毅	(257)
深井条采工作面冲击地压防治七关口	谭洪山,王东,张凤磊	(262)
新汶矿区深部冲击地压综合防治模式及应用	张圣国,张明,周明,等	(267)
徐州矿区深部采场围岩运动特征及其控制技术	顾新泽,陈科,程伟	(274)
煤矿冲击地压及其控制技术探讨与应用	李建民,耿清友	(279)
卸压孔与小孔径爆破卸压效果应用实践	王东,张凤磊,李延才	(285)

3 热害治理

不断采取新技术,积极解决矿井深部地热问题	王兵,张纯红	(290)
高热害千米矿井大高差联合供冷技术研究	亓呈祥,甄景岭,袁强	(295)
高温热害矿井热害综合治理技术研究与应用	刘业献,王海滨	(300)
加大矿井高温热害治理力度 提高千米深井煤矿安全生产水平	吴兆吉,周秀隆,张世良	(305)
千米深井新型低温热源综合开发及利用	亓呈祥,张新明,甄景岭	(311)
新汶矿区深部高温热害综合治理技术	程方霖	(314)
空冷器的露点对井下空气除湿效果的影响	刘金苍	(318)

4 瓦斯治理

深孔预裂爆破增透技术在鹤煤三矿新副井揭煤中的应用研究	王国贤,薛会辰	(322)
红阳二矿深部开采煤与瓦斯突出的综合防治	王平,董清旺	(326)
红阳三矿北一下采区1211综采工作面瓦斯综合治理	王洋,张喜秋	(330)
千米深井瓦斯与火并存灾害防治实践与管理	王坚志,王海滨	(334)
深部矿井瓦斯异常区瓦斯防治技术应用实践	张茂增	(339)
新汶矿区深部“立体化”瓦斯综合治理技术	程方霖	(345)

5 水害防治

井筒冻结工程水文孔异常冒水原因分析与应用	汤江明,张海骄,胡玮,等	(352)
千米深井充水因素分析及治理措施	曹旭	(356)
浅谈采空区积水探放工作	于文和,张东升	(360)
因地制宜,多措并举,积极探索深井高承压岩溶水害防治新途径	闫勇	(365)

6 采煤方法

千米深井大倾角仰采工作面关键技术的应用	王生超,巩超,孟伟峰	(370)
深部开采综放面过联络巷矿压异常分析研究	郭念波,王应启	(375)
综采工作面采空区矸石充填技术研究	刘强,郭伟	(379)
跃进煤矿深井开采技术探讨	刘亚敏	(384)

7 建井技术

深井冻结技术应用及发展	刘志强,王建平	(390)
超千米多立井快速建设技术	刘业献	(397)
超深冻结立井井壁结构设计	王建涛,张建平,黄侨	(400)
675 m 巨厚松散层井筒特殊凿井方法的选择研究	武文东,杜丙启	(405)
千米深井井筒装备一次成井的安装技术	麻豹	(411)
千米立井安全快速掘砌施工实践	王植阳,李新政	(416)
千米深立井特厚突出煤层揭煤工艺研究和施工实践	马春明,邵长增,付国庆	(419)
河南华安煤业有限公司深井设计与工程实践	杨超锋	(425)

8 监测监控及管理

煤矿安全实时监测技术的新突破	汤树成,张杰,张恒,等	(430)
复杂条件下井壁变形光纤光栅监测技术	张伟	(437)
关于深井供电系统“五统筹”的探讨	徐振国	(442)
千米深井复杂地质条件下坑透技术的应用局限性	曹旭	(445)
浅谈千米深井备用电源应急避险系统在煤矿安全生产中的应用		
.....	朱光营,张秀良,张涛	(448)
深井开采供电、提升、排水系统可靠性关键技术研究与应用	张元富,董崇远	(452)
研发供应高可靠性矿用设备服务千米深井开采	董卫生	(456)
掘进巷道超前预审查是实现煤矿生产安全高效、科学经济的有效手段	高灵志	(460)
城郊煤矿深部灾害防治技术研究与运用	赵伟	(463)
大埋深矿井开采灾害防治技术体系浅谈	张学景,王义民	(469)
千米深井灾害治理与安全管理模式探索	任勇杰,白光超	(475)

综 述

深部煤炭资源开采现状与技术挑战	张农,李希勇,郑西贵,等	(2)
新汶矿区深部煤炭资源开采现状及科学对策	李希勇	(24)
创新煤矿千米深井安全高效开采技术与装备	王国法	(34)

深部煤炭资源开采现状与技术挑战

张农¹, 李希勇², 郑西贵¹, 薛飞¹

(1. 中国矿业大学矿业工程学院 深部煤炭资源开采教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 山东能源新汶矿业集团有限责任公司, 山东 泰安 271200)

摘 要 描述了我国千米深井煤矿的地区分布、井深、产量分布及服务年限等基本状况, 分析了千米深井的开采掘进及安全状况、提升方式与分级排水及瓦斯赋存与冲击倾向性等特征, 总结了深部煤炭资源开采“五高两扰动”的开采环境特点, 即高地应力赋存状况、高工作环境温度、高承压水压力条件、高瓦斯和高冲击矿压倾向性, 强开采应力扰动和邻近巷道群的工程扰动, 进而提出深部开采亟待解决的七大问题。结合我国“十五”以来的科技攻关, 介绍了重大科研立项、科研平台及国家和行业获奖情况。我国煤炭资源储产比小, 深部开采中应注意节约资源。

关键词 千米深井; 深部资源; 五高两扰动; 技术挑战

煤炭开采史已有上千年, 是中国工业的粮食。受贫油、少气、富煤能源赋存特征影响, 目前国内石油、天然气在能源构成中的比重较低, 煤炭一直是我国的主要能源, 分别占一次能源生产和消费总量的 76% 和 70.7%。国家《能源中长期发展规划纲要(2004~2020 年)》中已经确定, 中国将“坚持以煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展的能源战略”。显然, 在相当长的时期内, 煤炭作为我国的主导能源不可替代。

1998 年以来, 我国煤炭产量一直位居世界首位, 占世界总产量的 30% 以上。2012 年煤炭产量达到 36.5 亿 t, 占世界的 47.5%。2011 年中国超越日本成为全球最大煤炭进口国, 2011 年全年共进口煤炭 1.824 亿 t (日本进口 1.752 亿 t); 2012 年中国累计进口煤炭 2.9 亿 t, 与 2011 年相比增加 1.076 亿 t, 同比增长 59%。

英国石油公司的统计数据显示(如图 1 和图 2 所示), 我国煤炭产量的变化趋势与世界煤炭总产量的变化趋势基本保持一致, 但增长速度长期超过世界煤炭总产量的增长速度。1981~2012 年世界煤炭产量由 38.36 亿 t 增长到 78.65 亿 t, 增长了 1.05 倍, 年平均增长速度为 2.34%; 我国煤炭产量则在该时期内由 6.22 亿 t 增长到 36.5 亿 t, 增长了 4.86 倍, 年平均增长速度为 5.87%。我国煤炭产量占世界煤炭总产量的比例也由 1981 年的 16.2% 提高到 2012 年的 46.4%。2002 年至今, 中国煤炭产量净增长量为世界煤炭产量的净增长量的平均贡献率更是达到了 70%, 也就是说世界煤炭产量每增加 1 亿 t, 中国煤炭产量提供了其中 7 000 万 t 的增量。

煤炭作为不可再生能源, 储量随着开采作业的进行, 必然逐渐减少, 以目前我国的开采强度以及煤炭产量的增量来算, 我国煤炭现有储量只能够开采 33 a。为了实现可持续发展, 并为寻找可替代能源提供更多的时间保障, 2013 年 1 月 23 日国务院办公厅正式印发《能源发展“十二五”规划》, 提出了煤炭行业控制产能和产量的目标, 到 2015 年煤矿产能达到 41 亿 t, 产量控制在 39 亿 t 以内。因此我国煤炭产量增长速度会逐渐放慢, 在我国煤炭产量增速减缓的影响下, 世界煤炭总产量增长速度也将大幅减缓。

作者简介: 张农(1968—), 安徽金寨人, 博士, 教授, 从事采矿工程的研究。

E-mail: zhangnong@126.com 电话: 0516-83590503

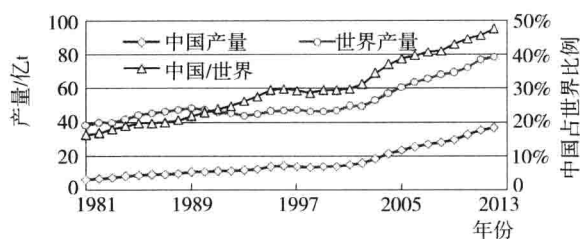


图1 中国与世界煤炭产量以及中国所占比例

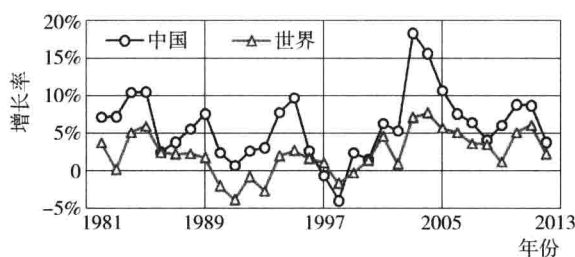


图2 中国与世界煤炭产量年增长速度的折线图

随着浅部煤炭资源的开采殆尽,我国煤矿将逐渐转入深部煤炭资源的开采,开采难度不断提高,煤矿行业压力也在持续增大。如何能够安全、高效、低成本地开采深部煤炭资源,将其转换为经济建设有力的能源保障,成为目前我国煤炭行业亟须寻求突破的重大技术难题。

1 千米深井现状及特点

我国千米深井集中分布在华北、华东和东北地区。与国内外煤田赋存特征比较,我国东部煤矿区具有新生界覆盖层厚、煤层埋藏深、基底为奥陶系承压含水层的特点,属华北石炭~二叠系含煤区,煤层厚度稳定。其中二叠系山西组、石盒子组为主要含煤地层,煤质优良(主要开采煤层含硫量多在1%以下),单层厚度一般为2~6 m,主采煤层的总厚度占可采煤层总厚度的70%左右。由于该时期煤层受到印支运动、燕山运动、喜马拉雅运动及新构造运动的影响,煤层赋存的地质条件极为复杂,煤层倾角变化大($0^{\circ}\sim 90^{\circ}$),褶皱断层非常发育,比如淮南矿区开采范围内已探明的落差5 m以上断层有1 900余条,平均每平方千米1.1条。煤层瓦斯含量大,超过半数为高瓦斯矿井,由于大多数矿区瓦斯储层具有低压力、低渗透率、低饱和度及非均质性强的“三低一强”的特性,抽采极为困难,淮南矿区朱集矿成为全国第一个进行全煤层无煤柱连续卸压开采的矿井,解决了具有“三低一强”赋存特征瓦斯抽采问题。由于石炭二叠纪煤田下部煤层底部为奥陶纪灰岩,基底岩层岩溶构造发育,底部煤层常常受到其基底岩溶水的威胁,仅河北、山东、安徽及渭北等地,矿井占用储量384.5亿t,而受水威胁的煤炭储量高达149.7亿t,占39%。东部地区煤层埋藏较深及构造运动活跃,导致部分地区矿井具有强的冲击地压灾害。我国东部地区煤炭储量近千亿吨,随着开采深度的增加,深井开采遇到的煤与瓦斯突出威胁增加问题、软岩支护问题、采空侧小煤柱地压问题及地温问题日趋严重,深部开采面临巨大的安全技术挑战。

1.1 千米深井省区分布状况

随着我国煤矿浅部资源的不断枯竭,井工开采深度以每年8~12 m的速度递增。据不完全统计资料显示,目前我国50处以上的矿井开采深度超过1 000 m(部分已经关停),对正在生产的7个省份47

处矿井的调研分析如表 1、表 2 和图 3 所示。

表 1 我国千米深井煤矿分省统计表

序号	省份	数量/处	比例/%	已建矿井/处	建设中矿井/处
1	江苏	7	14.89	7	0
2	山东	21	44.68	18	3
3	安徽	6	12.76	5	1
4	河南	4	8.51	4	0
5	河北	4	8.51	4	0
6	黑龙江	2	4.26	1	1
7	吉林	2	4.26	2	0
8	辽宁	1	2.13	1	0
合计	—	47	100.00	42	5

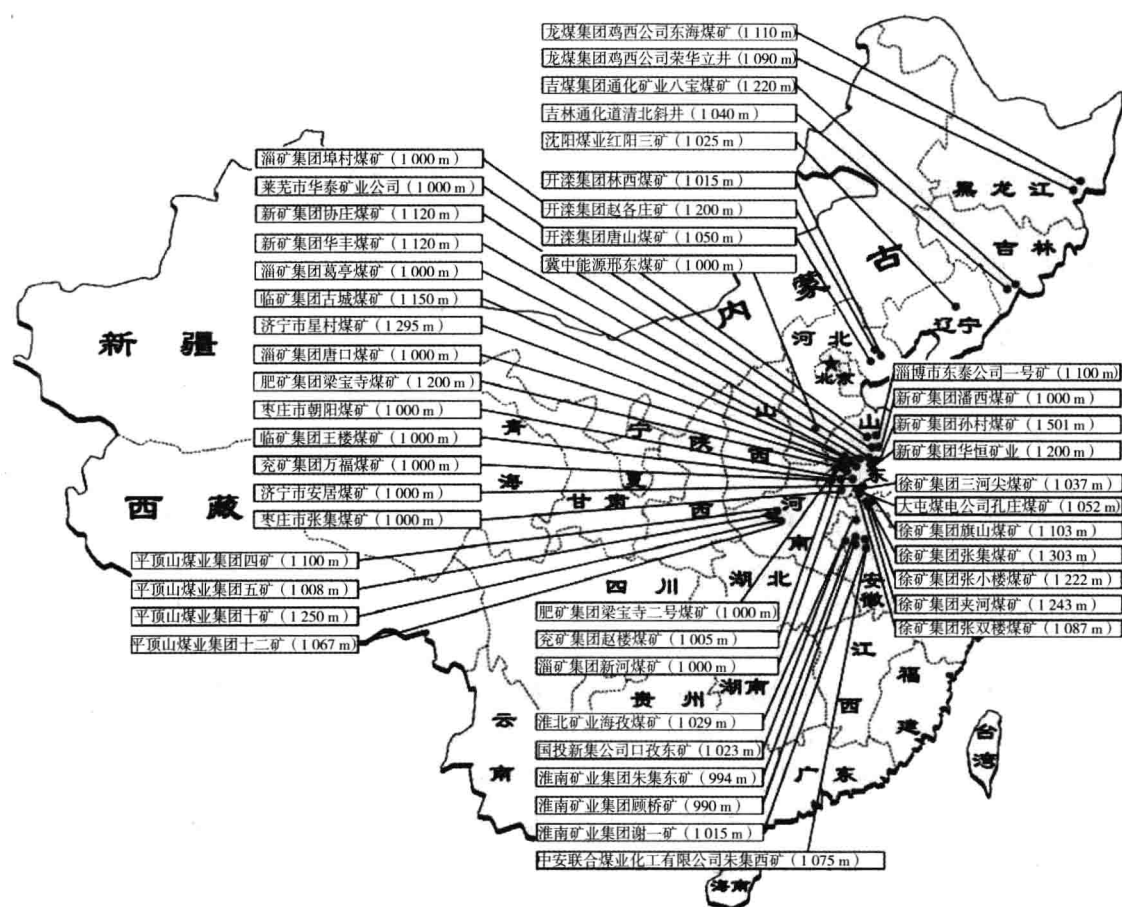


图 3 我国各省千米深井分布示意图

表 2 我国千米深井井深统计表

井深/m	数量/处	比例/%	已建矿井/处	建设中矿井/处
990~1 000	2	4.26	2	0
1 000~1 100	28	59.57	23	5
1 100~1 200	7	14.89	7	0
1 200~1 300	8	17.02	8	0
1 300~1 400	1	2.13	1	0
1 500~1 600	1	2.13	1	0
合 计	47	100.00	42	5

由图 3 和表 1 可以看出,千米深井主要集中分布在山东、河南、安徽及江苏等华东地区一带,占全国千米深井的 80.84%,其中又以山东最多,占 44.68%。据不完全统计,截至目前,中国采用立井开拓的煤矿已有 47 处开采深度超过 1 000 m,主要分布在传统的产煤大省,如江苏、山东等省份,开采深度最深的矿井为山东省新汶矿业集团孙村煤矿,开采深度达到了 1 501 m。此外,采用斜井开拓的华能核桃峪矿井(位于甘肃华亭),主斜井长度 5 875 m,垂深 975 m。我国千米深井井深集中在 1 000~1 299 m 的矿井约占 91.48%,平均深度为 1 086 m。

1.2 煤炭产量和服务年限

1.2.1 深井产量

我国千米矿井的年产量为 30 万~1 200 万 t 不等,平均年产量为 205.66 万 t,见表 3。其中年产量最大的矿井为安徽省淮南矿业集团顾桥矿,为 1 230 万 t。年产量集中在 100 万~200 万 t 的矿井约占 44.68%。

表 3 我国千米深井产量统计表

年产量/万 t	数量/处	百分比/%	已建矿井/处	建设中矿井/处
30~100	9	19.15	9	0
100~200	21	44.68	18	3
200~300	6	12.77	5	1
300~400	5	10.64	5	0
400~500	3	6.38	2	1
500~600	2	4.26	2	0
>600	1	2.13	1	0
合 计	47	100.00	42	5

1.2.2 矿井服务年限

由表 4 可以看出,我国千米深井平均剩余服务年限为 33.73 a。河北省开滦集团赵各庄煤矿剩余服务年限仅有 4 a,而安徽省淮南矿业集团顾桥矿剩余服务年限则高达 85 a,剩余服务年限在 40 a 以下的矿井占 63.83%。

1.3 千米深井的开采掘进及安全状况

1.3.1 掘进方式

进入深部开采以后,各个矿井因地质条件和煤层赋存的不同而采用不同的采煤工艺。由图 4 可以看出,目前我国千米深井中有 93%的矿井采煤工艺基本都使用综采或综采与炮采、普采、水采等相结合

的采煤工艺,少数矿井使用炮采、水采、综放等工艺。在掘进工艺方面,有 78.72%的矿井都采用综掘或综掘与普掘、炮掘相结合的掘进工艺,其中又以综掘与炮掘相结合为主,占 59.57%。与浅部开采相比,采掘工艺并无明显的区别。

表 4 我国千米深井剩余服务年限统计表

剩余服务年限/a	矿井数量/处	百分比/%	已建矿井/处	建设中矿井/处
4~10	7	14.89	7	0
10~20	10	21.28	10	0
20~30	7	14.89	7	0
30~40	6	12.77	6	0
40~50	4	8.51	3	1
50~60	5	10.64	3	2
60~70	3	6.38	3	0
70~80	2	4.26	0	2
80~90	3	6.38	3	0
合 计	47	100	42	5

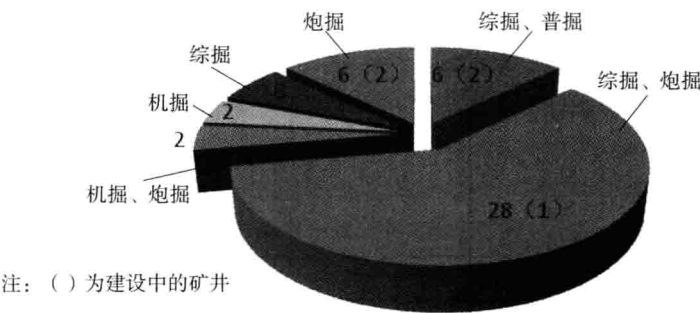


图 4 我国千米深井掘进方式统计图

1.3.2 提升方式与分级排水

深部开采对矿井井筒提升能力和排水能力带来了巨大的挑战。调查结果显示,只有 76.6%的矿井采用一级提升、38.3%的矿井采用一级排水(见表 5 和表 6),说明很多矿井是由于浅部煤层采完后开拓延深到目前的深度,河北省开滦集团赵各庄煤矿采用 5 级提升。但随着矿井提升技术的发展,建设中的 5 对千米深矿井均采用一级提升和一级排水。

表 5 我国千米深井提升方式统计表

提升方式	数量/处	百分比/%	已建矿井/处	建设中矿井/处
一级提升	36	76.60	31	5
二级提升	5	10.64	5	0
三级提升	2	4.26	2	0
四级提升	3	6.38	3	0
五级提升	1	2.13	1	0
合 计	47	100.00	42	5

表 6 我国千米深井排水方式统计表

排水方式	数量/处	百分比/%	已建矿井/处	建设中矿井/处
一级排水	18	38.30	13	5
二级排水	17	36.17	17	0
三级排水	8	17.02	8	0
四级排水	1	2.13	1	0
五级排水	2	4.26	2	0
六级排水	1	2.13	1	0
合 计	47	100.00	42	5

1.3.3 瓦斯赋存与冲击倾向性

由表 7 可以看出,我国千米深井全部为瓦斯矿井,35 对已查明瓦斯等级,54.29%为高瓦斯矿井,其中 42.11%的矿井伴随着冲击地压;45.71%为低瓦斯矿井,其中 81.25%的矿井伴随着冲击地压灾害;超过 30%的矿井具有煤与瓦斯突出灾害,另外在山东地区的部分矿井还具有突水的灾害。

表 7 我国千米深井瓦斯含量等级统计表

瓦斯赋存	矿井数量/处	百分比/%	冲击地压矿井/处	百分比/%	无冲击地压矿井/处	百分比/%
高瓦斯	19	54.29	8	42.11	11	57.89
低瓦斯	16	45.71	13	81.25	3	18.75
合 计	35	100.00	21	—	14	—

1.4 深部开采技术装备

在综合考察了我国 47 处超千米深井的煤矿工作面采煤机、刮板输送机以及液压支架的选型后,特选出具有代表性的 20 处煤矿的“三机”配套型号,见表 8。

由表 8 可以看出,深部采煤工作面“三机”配套选型与浅部开采在采煤机和刮板输送机的型号及技术参数特征上区别不大,采高、煤的硬度等是决定煤机型号和刮板输送机能力的主要考虑因素;液压支架的选型与中深部矿井的区别不大,支撑力有所加大,但仍小于 100~200 m 浅部埋藏深度中动辄支撑力大于 10 000 kN 的数值。总之,深部煤炭资源机械化开采中的“三机”配套等设备问题非主要制约因素。

2 深部开采环境及面临的技术挑战

2.1 深部开采“五高两扰动”的地质力学环境

近年来,随着煤炭资源开采强度的不断加大,浅部资源日益减少,国内部分矿井相继进入了深部煤炭开采状态。由于开采深度的不断增大,煤炭开发所处的地质力学环境也在不断恶化,深部开采普遍具有“三高一扰动”环境,即深部开采难以逃避高地应力、高地温、高渗透压以及开采扰动这一复杂地质力学环境所带来的严峻挑战。然而,除了这“三高”以外,深部开采目前还需面对高瓦斯、高冲击以及掘巷对其周围采掘巷道围岩的扰动。基于前人的研究成果,现将目前深部开采的地质力学环境总结为以下七个方面。

2.1.1 高地应力

随着采深的增加,矿井围岩逐步进入高地应力环境。根据布朗(Brown)和赫克(Hoek)对世界各地 116 个现场地应力的测量数据,表明垂直应力随采深呈现线性增长关系。当采深从 500 m 增加到

1 000 m时,垂直地应力值从 13.5 MPa 增加到 27.0 MPa,仅重力引起的地应力就已超过矿井软弱围岩的抗压强度。同时据已有的地应力实测资料,深部岩体中存有构造运动所形成的构造应力场或残余构造应力场,因而最大水平应力通常高于垂直应力。以淮南矿区实测数据为例,所测 19 个测点中有 18 个测点的侧压系数大于 1,最大侧压系数达 1.81,在如此高的原岩应力场中进行采掘活动势必面临严峻挑战。

表 8 部分深井煤矿采煤机、刮板输送机、液压支架型号汇总表

序号	矿井名称	采煤机	刮板输送机	液压支架
1	徐矿集团张小楼矿	MG300/700—WD	SGZ—764/400W	WS1.7—1.2/2.8 掩护式
2	徐矿集团夹河煤矿	MG180/435—W	SGZ—764/400	WS1.7—1.3/2.8 掩护式
3	徐矿集团张集煤矿	MG132/310—BW	GZ—630/220	ZY3200/10/20 支掩式
4	徐矿集团旗山煤矿	MG—200W1	SGB—630/220	ZFSB3000/1.5/2.6 综放
5	徐矿集团三河尖煤矿	MG375—W	SGZ—764/400	ZF2600/16/24B 综放
6	徐矿集团张双楼煤矿	MG300/700—QWD	SGZ—764/630	ZY5200/18/38 支掩式
7	大屯煤电孔庄煤矿	MG—700	SGZ—764/630	
8	新矿集团孙村煤矿	MG300/700—WD	SGD—730/400W	ZY3200/15/36 支掩式
9	新矿集团华丰煤矿	MG250/575—W		ZF4800/16/26 综放
10	新矿集团协庄煤矿	MG—200	SGD630/220	
11	新矿集团潘西煤矿	MG150/345—W	SGZ630/264	ZY3200/09/21 掩护式
12	淄矿集团唐口煤矿	MGTY400/930—3.3D	SGZ—1000/2×700	ZF7500/20/38 掩护式
13	淄矿集团新河煤矿			ZF2800/16/24ZE 综放
14	枣庄市朝阳煤矿			ZF5200/17/33 综放
15	开滦集团赵各庄煤矿	MG—375W	SGB—730/264	ZF4000—1515/25 综放
16	平顶山煤业集团五矿	MGTY—300/700—1.1W	SGZ—764/750	ZY5600—20/40 支掩式
17	淮南矿业集团谢一矿	MG2—150/700—WD	SGZ800/800	ZY5000/8.5/17D 支掩式
18	淮南矿业集团朱集矿	SL300(德国艾柯夫)	SGZ900	ZZ7000/13/26
19	淮南矿业集团丁集矿	SL300(德国艾柯夫)	SGZ—900/1050	ZZ6400/15.4/30
20	淮南矿业集团顾桥矿	SL750(德国艾柯夫)	SGZ1000/1400	ZY8800/18/38

2.1.2 高瓦斯

浅部开采条件下,由于煤层中瓦斯气体运移通道较通畅,通过上部岩体裂隙和煤层露头可以进行散发,进行井下煤炭开采时,矿井内部积聚的瓦斯较少,为低瓦斯矿井。在深部开采的条件下,由于瓦斯运移通道不畅通,大量的瓦斯气体非均匀地分布在煤岩体的裂隙和空隙之间,在井下施工过程中,释放到巷道或工作面内,从而造成瓦斯气体含量急剧增大,使矿井在深部转变为高瓦斯矿井。

2.1.3 高工作面温度环境

根据量测,越往地下深处,地温越高。岩层的温度将以一定的温度梯度上升,温度梯度的平均值为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,最高可达 $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。而我国矿区地温梯度为 $2.5\sim 3.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,新汶矿区某些钻孔岩温实测曲线计算的平均值为 $2.29\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。据不完全统计,我国已有的 47 对矿井开采深度达到千米以下,工作面温度高达 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。如此之高的地温不仅可以使岩体热胀冷缩破碎,而且岩体内温度变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 可产生 $0.4\sim 0.5\text{ MPa}$ 的地应力变化。同时高温环境对劳动效率及安全有较大影响。在高温环境中,人的中枢神经系统容易失调,从而使人精神恍惚、疲劳、周身无力、昏昏沉沉,这种精神状态成为诱发事故

的原因。

2.1.4 高冲击矿压倾向性

在浅部开采条件下,由于工程围岩所承受的应力荷载主要为自重应力,一般不会产生冲击地压。进入深部以后,地质构造变得复杂、自重应力增大,煤岩体积聚了大量的固体能量,在深部地应力、构造应力以及工程扰动的作用下,使得积聚的能量大于矿体失稳和破坏所需要的能量,造成整个煤岩系统失去结构稳定性,发生冲击地压。因此,浅部没有冲击倾向性的非冲矿井,进入深部后转变为冲击地压频发的冲击矿井。

2.1.5 高渗透压

在浅部开采时,矿井水主要来源于第四纪含水层和地表水,通过岩层裂隙网络进入采区和巷道,水压低,涌水量小,突水问题可通过现有的技术和手段进行预报。而对于深井开采,随着开采深度的增加,承压水水位变高、压力大,加之地层本身存在的构造随深度的增加而越为复杂和采掘活动产生新的断裂,更造成原有断层或裂隙的活化,从而形成渗流裂隙增多,使岩溶水压力增大。奥陶系岩溶水对巷道围岩和顶底板易形成严重的突水灾害。含水量也是影响岩石力学行为的重要因素。随着含水量的增加,岩石的抗压强度和泊松比都有所降低,高水压则增加了岩石的含水量。

2.1.6 强烈的开采应力扰动

进入深部开采后,在承受高地应力的同时,大多数巷道要经受极大的回采空间引起的强烈支承压力作用,使受采动影响的巷道围岩压力数倍、甚至近十倍于原岩应力,从而造成在浅部表现为普通坚硬的岩石,在深部却可能表现出软岩大变形、大地压、难支护的特征;浅部的原岩体大多处于弹性应力状态,而进入深部以后则可能处于塑性状态,即有各向不等压的原岩应力引起的压、剪应力超过岩石的强度,造成岩石的破坏。

2.1.7 巷道群开挖时序的强烈扰动

掘巷扰动主要是指巷道群布置时后掘巷道对先掘巷道的扰动。浅部巷道群掘进时,巷道的开挖顺序对巷道变形破坏的影响不敏感,巷道两侧应力增高区升高影响范围小,但深部矿井的巷道群掘进时,由于巷道两侧应力增高区范围增大而相互叠加,后掘巷道对先掘巷道的扰动影响逐渐显现,甚至造成整条先掘巷道的变形,巷道围岩应力分布需经多次、长时后才能趋于平衡,应力平衡过程中巷道表现出强烈变形,尤其是底鼓和两帮急剧收敛。累计卧底量通常超过 2 m,两帮移近量大于 1 m。

2.2 深部开采亟待解决的七大问题

与浅部开采相比,深部开采不仅大大地提高采矿成本,而且随着深度的增加,采矿环境正在逐步恶化,对深部煤炭资源的安全高效开采造成了巨大威胁。深部“五高两扰动”的复杂地质力学环境,使得工程灾害事故在程度上加剧,频度上提高。已有的开采实践表明,深部开采面临着 7 大问题:高温热害问题、冲击地压问题、煤与瓦斯突出问题、突水问题、软岩大变形问题、煤层自燃问题、生产成本提高问题。

2.2.1 高工作面环境温度的热害问题

地温是指井下岩层的温度。一般情况下,地温随深度增加而呈线性增加。根据实测,新汶矿区矿井地温梯度一般为 $2.22 \sim 2.70 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。地温决定着井下采掘工作面的环境温度,即矿井温度。矿井深度的变化,使空气受到的压力状态也随之而改变。当风流沿井巷向下流动时,空气的压力值增大。空气的压缩会出现放热(或吸热),从而使矿井温度升高。随着矿井向深部开采,井下作业环境条件恶化,岩层温度将达到数十摄氏度的高温。在国外,南非西部矿井在深度 3 300 m 处气温达到 $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$;日本丰羽铅锌矿由于受热水影响,在深度 500 m 处气温高达 $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$;俄罗斯千米平均地温为 $30 \sim 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$,个别达 $52 \text{ }^{\circ}\text{C}$;南非某金矿 3 000 m 时地温达 $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。中国孙村煤矿—800 m 水平部分工作面温度高达 $30 \sim 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$;巨野矿区龙固矿井—850 m 水平所有工作面温度高达 $34 \sim 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$;平煤集团五矿采深 800~900 m 岩温达到 $34.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,平均地温梯度 $3.7 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,采掘工作面气温全年都超过 $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$,夏季一般为 $31 \sim 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$,个别高达 $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$,空气相对湿度 $94\% \sim 100\%$;平煤集团六矿采深 800~900 m 时,岩温达到