

Meitan Kaicai Xinlilun Yu Xinjishu

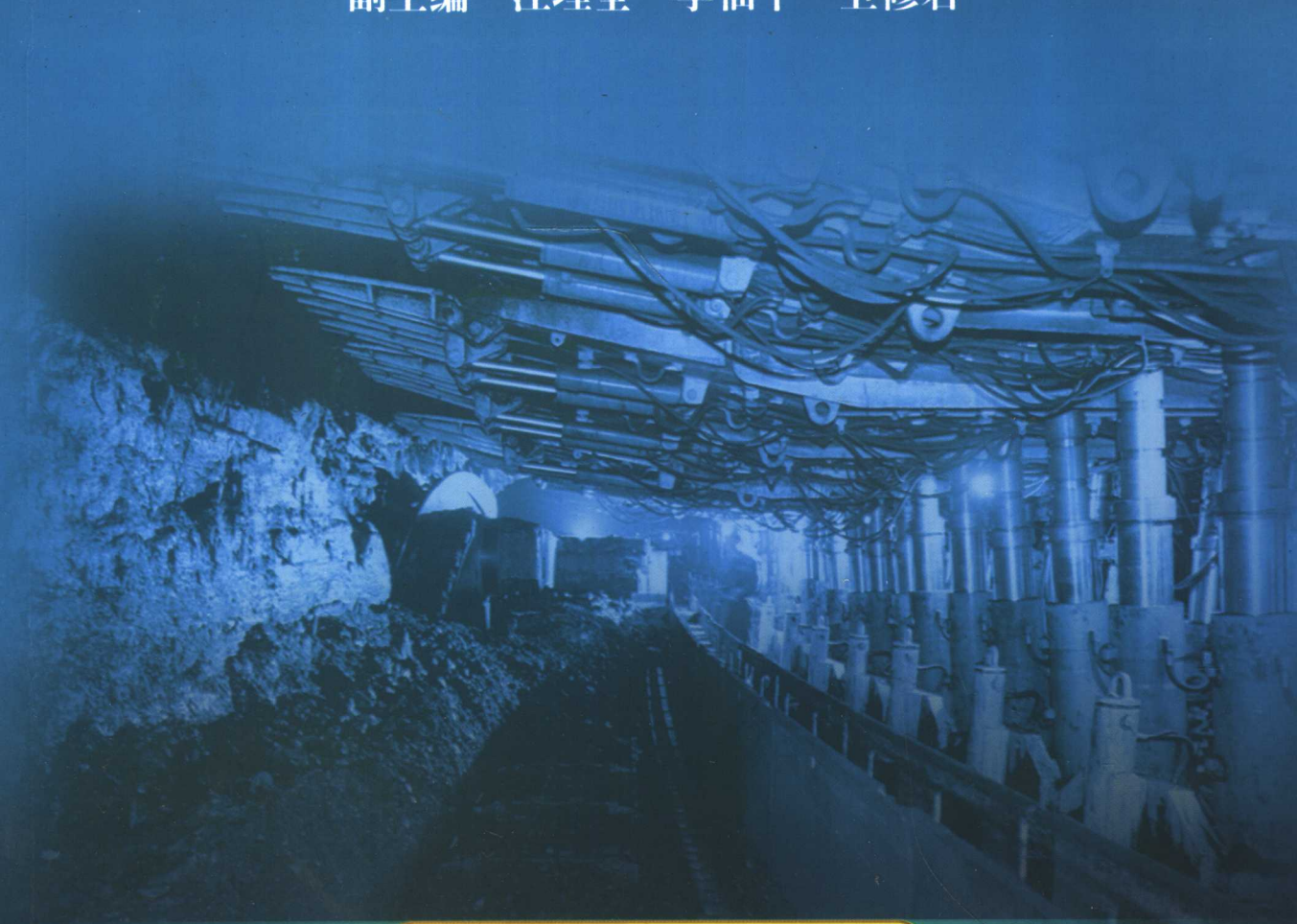
教育部博士点基金项目资助 (20050290503)

煤炭开采新理论与新技术

——中国煤炭学会开采专业委员会2006年学术年会论文集

主编 刘长友

副主编 汪理全 李佃平 卫修君



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

教育部博士点基金项目资助(20050290503)

煤炭开采新理论与新技术

——中国煤炭学会开采专业委员会 2006 年学术年会论文集

主 编 刘长友

副主编 汪理全 李佃平 卫修君

中国煤炭学会开采专业委员会 主办

兖矿集团有限公司兴隆庄煤矿

平顶山煤业集团有限公司

协办

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

煤炭的安全高效开采是我国煤矿现代化建设的核心,也是煤矿生产的主题。本书汇集了我国近几年来在煤炭安全高效开采方面的最新研究成果,包括煤炭开采与矿山压力控制等方面的新理论、新工艺、设备配套及安全控制技术等。

本书可供煤炭行业广大工程技术人员和高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤炭开采新理论与新技术/刘长友主编. —徐州:
中国矿业大学出版社, 2006. 10
ISBN 7 - 81107 - 324 - 2
I. 煤… II. 刘… III. 煤矿开采—安全技术
IV. TD7
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126881 号

书 名 煤炭开采新理论与新技术
主 编 刘长友
责任编辑 何 戈
责任校对 杜锦芝
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 20.75 字数 518 千字
版次/印次 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷
定 价 68.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《煤炭开采新理论与新技术》编写委员会

主 任 王悦汉

副主任 汪理全 金 太 袁 亮 刘东才

主 编 刘长友

副主编 汪理全 李佃平 卫修君

委 员 (以姓氏笔画为序)

马云东	刘过兵	孙广义	朱亚平	严贤红
何长海	何卓军	余学义	吴爱民	张宗玟
李伟林	李佩全	李建民	李新宝	李震寰
杨本生	陈启永	周 英	周秀隆	孟宪锐
郁钟铭	胡永忠	贺爱民	赵庆彪	赵景礼
郝海金	涂兴子	倪兴华	常兴民	康立勋
黄成麟	黄福昌	程 伟	谢广祥	黎 晓

前 言

从1985年开始,我国煤炭工业突破传统的开采模式,依靠科技进步,建设高产高效矿井,有力地促进了煤炭工业的发展。在矿井开采方面,从合理确定采煤方法、准备方式、开拓方式及采动治理,到环境保护及生态重建等方面均获得了重大突破。综合机械化采煤技术和综采放顶煤技术是20世纪我国重大工程技术成就之一。

科学技术是第一生产力,科技兴煤是煤炭工业发展的决定因素。21世纪,我国煤炭工业走新型产业化的道路,从技术层面就是要用高新技术改造煤炭工业,实现安全、高效、洁净;从体制层面就是要优化结构,组建大型煤炭集团。因此,安全、高效、洁净、结构优化是煤炭工业的发展方向。近年来,我国高产高效矿井建设取得了巨大的成就。以日产万吨的大型综合机械化采煤工作面为核心的生产工艺,从根本上改变了矿井生产面貌,一批矿井实现了一矿一面、一井一面、一层一面、一矿两面及一矿多面的高产高效开采模式,其主要技术经济指标达到或超过世界先进水平。2005年我国建成高产高效矿井197处,其中行业特级60处,行业级102处,省级35处,原煤产量6.35亿t,工效17.543t/工,百万吨死亡率0.045,盈利311亿元。

我国高产高效矿井建设呈现出以下基本特点:

(1) 新建矿井按高产高效模式设计施工,基本做到当年投产、当年达产、当年建成高产高效矿井。

(2) 矿井生产技术水平接近或达到世界先进水平。从总体上看,2005年度高产高效矿井在不同地质条件、不同井型、不同装备、不同采煤工艺等方面均取得了重大突破,处于世界先进水平。

我国能源主要依靠煤炭,在一次性能源消费中,煤炭占70%左右。近年来,国民经济迅速发展,煤炭供不应求。2005年,我国煤炭产量为21.5亿t,为世界第一。预计2010年煤炭需求将达到27亿t。煤炭是国民经济的支柱,是朝气蓬勃的基础产业。

为了总结、交流煤炭开采新技术和新理论,进一步促进和提升煤炭工业的发展和生产技术水平,中国煤炭学会开采专业委员会每年组织召开一次学术研讨会。今年,我们组织的“煤炭开采新理论和新技术”研讨会论文征集工作,得到煤炭企业领导、工程技术人员及高校教师的大力支持,先后收到论文90余篇。组织撰写论文较多的单位有:兖矿集团有限公司26篇,淮北矿业集团公司12篇,国投新集能源股份有限公司11篇,中国矿业大学(包括北京校区)24篇。在此向他们表示衷心的感谢。

我们对收到的论文组织了编审工作,并由中国矿业大学出版社出版,以期达到学术交流和推广应用的目的。由于本次研讨会的主题是煤炭开采新理论与新技术,受篇幅所限,各单位所选论文没能全部入选,请论文作者予以谅解。本论文集共分开采理论与工艺技术、采场

岩层控制理论与技术、巷道矿压理论与支护技术和其他采矿理论与技术。这些论文是广大工程技术和科研人员在本职岗位上结合工作实践、勇于创新 and 攻克难关的新理论、新技术和新方法的总结,具有较高的技术水平和应用价值。研究成果对今后煤炭开采的现场管理和技术发展都会起到积极的推动作用,可供煤炭行业广大工程技术人员和高等院校师生参阅。

在论文集编辑工作中,不少专家做了大量的编审工作,特别是中国矿业大学李鸿昌教授对论文进行了认真的审阅、编辑,杨培举博士对论文进行了收集、编辑和文字校对工作。在此对他们表示衷心的感谢!

由于水平所限,时间紧迫,难免在编辑中出现错误和问题,欢迎提出宝贵意见。

编委会

2006 年 10 月

目 录

煤炭资源高效与绿色开采技术体系

——中国矿业大学国家重点学科采矿工程学科“十五”研究进展

..... 窦林名 刘长友 许家林(1)

开采理论与工艺技术

矿井“掘、采、治”开采技术体系的理论探讨 王悦汉 汪理全 翟德元(13)

煤岩块度对综放开采煤岩冒放规律及放煤参数的

影响研究 刘长友 黄炳香 吴锋锋等(18)

大倾角煤层的概念及其开采特征探讨 孟宪锐 贺永强 张文超(24)

改革巷道布置 提高厚煤层回采率 赵景礼 王志强 郝万东等(29)

论复杂条件矿区安全高效开采的难点与方法 李 伟(35)

淮南矿区煤与瓦斯突出防治技术发展新方向 李佩全 黄向菁 周张庚(40)

兖州矿区高产高效矿井建设探索 吕建为 孟凡勇(44)

综放工作面运输顺槽端头区支架的研制与使用 韩纪志 张善波 李纪栋(50)

无人工作面开采关键技术 方新秋 张雪峰(54)

含夹矸薄煤层条件下安全高效矿井建设的关键技术和途径 李培新 魏 国(60)

急倾斜煤矿实现高产高效的问题与对策 赵生贵(64)

褶曲煤层开采方法及工艺研究 李文昌 段文军(68)

深部松软煤层综放工作面 35°大倾角开采技术

与实践 吴宗清 胡连忠 王道宗等(76)

薄煤层高产高效开采工艺技术与装备 王兴雨 陈少华 李安林(79)

综放工作面安全高效旋转开采技术 姜文杰 郝象鹏 王文忠(84)

垮冒带内急倾斜薄煤层开采技术研究与应用 史正景(89)

近水平薄煤层开采技术分析与实践 梁兴泉 吴季元(95)

较薄煤层高产高效工作面开采技术..... 姜文杰 郝象鹏 吕建为(100)

急倾斜厚煤层复杂条件下开采的保障技术..... 王 顺(105)

大倾角综采面过大断层的技术实践..... 温龙新(109)

ZY4000/10/23 型电液控制掩护式液压支架

在较薄煤层的应用..... 王敬冰 姜文杰 王少华(114)

桃园矿大倾角高地压破碎顶板复杂地质条件下综采装备选型..... 邢新会 顾 峰(118)

综采工作面全面铺设滑道撤除液压支架技术..... 郝象鹏 李小坤(122)

综采工作面过高位钻场技术浅析..... 周卫星(125)

综采工作面现场管理技术与实践·····	邑 标(127)
高产高效综放工作面端头支架的现场应用分析·····	韩纪志 张善波 李祥千(134)
综放面过同层泄水巷支护技术研究与实践·····	魏秉祥 肖宝利(137)
火成岩侵蚀不稳定煤层开采方法探讨·····	钟新春 刘长友 黄炳香等(140)
超长综采工作面的布置及采面管理·····	张 寅 杨 睿 王玉杰(145)
“三软”高承压水厚煤层大采高综采技术·····	魏民涛 王建树(148)
轻放支架在深井“三软”、“孤岛”条件下的适应性研究 ·····	杨培举 刘长友 万志军(152)

采场岩层控制理论与技术

区域性关键层运动规律及其对采场矿压的影响·····	李佃平 代 进(161)
复杂地质条件下综放工作面矿压显现特征研究·····	吴锋锋 刘长友 王 振等(170)
复杂地质条件下松软煤层综放面支架围岩稳定性研究·····	方新秋 于小金 屠世浩(175)
特厚煤层倾斜长壁综放开采煤岩活动规律与支架 适应性分析·····	邢士军 张连勇 刘家臣(182)
大倾角综合机械化开采的矿压显现规律·····	李建民 章之燕(188)
冲击型矿井运输平巷应力集中分析及冲击地压防治·····	李伟清(193)
近距离厚煤层下行开采综放工作面矿压研究·····	殷德威 魏 波(197)
不稳定煤层高效综采工作面的矿压显现规律·····	李文军 刘长友 孔德杰(203)
深孔爆破预裂技术在治理冲击地压中的研究与应用·····	郑有雷 魏秉祥 桂 兵(208)
单体支柱工作面初撑力的确定·····	张选松 亢庆春 冀晓东(216)
“三软”复杂结构厚煤层综放面矿压显现规律研究·····	李 磊 刘长友 杨培举(219)

巷道矿压理论与支护技术

综放大煤柱沿空巷道围岩变形规律与应力分布特征·····	孟祥军 邢士军 张连勇(225)
影响巷道冲击矿压破坏的关键因素及破坏过程 模拟研究·····	高明仕 张 农 窦林名等(231)
深部软岩巷道锚杆锚索耦合控制机理研究·····	杨培举 刘长友 万志军(239)
模糊聚类分析法在神火矿区回采巷道分类中的运用·····	王勤芝 樊胜强(246)
水蚀条件下高地压大倾角松散煤层巷道顶板支护技术·····	刘东风(250)
深部煤巷掘进耦合支护技术应用实践·····	王英德 刘承志 张红军等(253)
预应力注浆锚索技术在大巷加固中的应用·····	李 勇(259)
煤巷锚杆支护沿空留巷技术的应用·····	丛 振(263)
矿井深部软岩巷道二次复合支护技术探讨·····	付祥明 魏永启 孙宗凯等(266)
同一煤层平巷与斜巷交叉点施工技术·····	万 磊 谭 彪 史正景(269)
运用数值模拟方法确定回采巷道临界深度的研究·····	樊胜强 王勤芝(272)

其他采矿理论与技术

基于顶板巷道的采动裂隙椭抛带内瓦斯排放方法·····	李树刚	林海飞	成连华(279)
圆孔孔壁水压裂缝扩张的断裂力学分析·····	程庆迎	黄炳香	(284)
刘庄煤矿快速揭煤技术研究与实践·····	王	祥	(290)
高瓦斯采煤工作面的瓦斯治理实践·····	王秀夫	李端法	(295)
网络技术在采区系统收作中的应用·····	徐业发		(298)
全国首例井筒工作面预注化学浆施工·····	彭忠东		(303)
村庄压煤开采的成本统计分析及趋势预测·····	全永红	周华强	(307)
煤矿综采工作面液压胶管常见故障分析与处理·····	田	华	(311)
煤矿井下漏电原因及防护措施·····	梁道纪	聂齐光	(314)
煤与瓦斯突出防治技术在五凤煤矿的应用·····	张	诚	朱晋福(317)

煤炭资源高效与绿色开采技术体系

——中国矿业大学国家重点学科采矿工程学科“十五”研究进展

窦林名 刘长友 许家林

(中国矿业大学能源与安全工程学院 江苏徐州 221008)

摘 要 本文介绍了中国矿业大学采矿工程学科通过“十五”、“211 工程”建设,在煤炭资源高效与绿色开采技术体系方面取得的最新研究成果,包括煤炭资源绿色开采理论与技术框架、煤巷预应力锚杆控制技术、煤炭地下导控气化技术等八项新技术、新成果,以及实验研究平台,该成果成为煤炭工业可持续发展与煤炭资源安全高效开采的关键技术和发展方向。

关键词 绿色开采 高效 采矿工程学科 预应力锚杆 地下导控气化

中国矿业大学采矿工程学科是国内外具有重要影响的国家级重点学科,始建于 1936 年。1984 年取得博士学位授予权,1985 年设立博士后科研流动站,1988 年采矿工程联合矿山测量被批准为首批国家级重点学科,2002 年再次被认定为重点学科。1996 年采矿工程学科“煤炭资源开发与开采”项目列为“九五”期间“211 工程”重点学科建设项目。1998 年获准为第一批“长江学者奖励计划”特聘教授设岗学科,现已有 2 名“长江学者”上岗。2002 年本学科“煤炭资源高效与绿色开采”项目被列为国家“211 工程”二期重点建设项目。

本学科共有教师 55 名,其中教授 28 名,副教授 5 名,讲师及助教 10 名。有院士 1 名,博士生导师 19 名。学科带头人为钱鸣高院士和窦林名教授。“十五”期间,1 人获得国务院政府特殊津贴,1 人获得中国青年科学家奖,2 人获得全国百篇优秀博士论文,1 人获得孙越崎“优秀青年奖”,1 人获得煤炭“优秀青年奖”,2 人获得教育部新世纪人才基金,2 人获得江苏省“青蓝工程”优秀学术带头人,2 人获得江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师。

“十五”期间,争取到了包括国家自然科学基金、国家“十五”科学攻关项目、国家创新技术项目、国家博士后基金项目等在内的国家级项目 18 项,包括中波政府间合作项目在内的国际合作项目 4 项,包括教育部博士点专项基金、教育部重大科技项目等在内的省部级项目 20 项,企业合作项目 100 多项。纵向科研经费达到了 2 800 多万元,横向科研经费达到了 4 500 多万元。

“十五”期间,获国家级科研成果奖 3 项,省部级奖 42 项;国家级教学成果奖 1 项,省部级奖 2 项;国家级教材、图书奖 1 项;出版著作 28 部,发表学术论文 350 篇以上,其中国际期刊 3 篇,一级刊物 106 篇,核心期刊 200 篇,国际会议 69 篇,全国性会议论文 26 篇,被 SCI、EI 检索 70 篇,申请专利 21 项。

本学科建设和完善了岩层控制实验室、充填材料实验室等实验平台。获准建设“煤炭资源与安全开采”国家重点实验室,教育部“矿山开采与安全”重点实验室。实验室现有 4 800 m² 的实验用房,各型仪器设备 584 台件,大型精密仪器设备 29 台件。

采矿工程学科广泛进行了国内外的学术交流。“十五”期间,参加国内学术会议 50 多人,主持全国性的学术交流会议 5 次,与波兰、美国、德国、澳大利亚、印度等国家的国际交流

30 多次。

2005 年 4 月,采矿学科举行了中波国际研讨会,进行了冲击矿压防治方面的专题研讨。研讨会由我校教师、研究生和有冲击矿压危险矿井的古城矿、星村矿、杨庄矿、济三矿等的领导和工程技术人员参加交流、讨论和研究,取得了圆满成功。

目前,采矿工程学科的主要支持平台有:国家级重点学科,采矿工程博士点,矿业工程博士后科研流动站,全国工科 A++ 级学科,排名第一、“长江学者奖励计划”特聘教授设岗学科,“煤炭资源与安全开采”国家级重点实验室,“矿山开采与安全”教育部重点实验室,“九五”、“十五”、“211 工程”重点建设学科,中文核心期刊《采矿与安全工程学报》,矿山压力情报中心站,中国煤炭学会开采专业委员会等。

本学科承担了国家、部委“七五”、“八五”、“九五”和“十五”重点科研项目,国家自然科学基金以及大量横向科研项目。为我国煤炭工业培养了大批博士、硕士研究生与本科生。经过多年建设,采矿工程学科已形成“矿山开采和围岩控制理论与技术体系”、“煤炭资源绿色与高效开采技术体系”。

采矿工程学科目前的主要研究方向包括:矿山压力与岩层控制、冲击矿压与采矿地球物理、高效开采与监测保障、岩层移动与沉陷控制、环保材料与充填技术、煤与瓦斯共采、保水开采、煤炭地下气化技术、矿山数字与信息工程以及数值模拟与控制设计、露天开采技术、矿业系统工程等。

一、绿色开采的提出

煤炭在我国一次能源结构中占 70 % 以上,作为国民经济基础的煤炭工业对于社会、经济发展和提高人民生活水平极为重要。长期以来,由于煤炭开采普遍采用顶板全部垮落法处理采空区,在保证国家能源供给、支撑国民经济快速发展的同时,引发岩层及地表沉陷、排放大量煤矸石与瓦斯等有害气体,已经造成农田及建筑物破坏、村庄迁徙、矸石堆积、地下水流失、土地沙漠化等严重的生态环境问题,而煤炭资源采出率仅为 40 % 左右。随着未来国民经济和社会发展的需要,煤炭产量不断增长,如此下去这些问题将越来越严重。为此,中国矿业大学钱鸣高院士提出绿色开采新理念,即立足于煤炭开采的源头,通过对采煤方法和工艺、岩层控制及相关技术、实验研究平台等的研究和建设,改变传统采煤工艺造成的生态与环境问题,实现煤炭资源的环保、高效、高回收率和安全开采,根本解决煤炭开采资源采出率低、地表沉陷与生态环境破坏严重等问题,实现采矿工业的可持续发展。

二、煤炭资源绿色开采的理论与技术框架

煤矿绿色开采以及相应的绿色开采技术,在基本概念上是从广义资源的角度去认识 and 对待煤、瓦斯、水、土地、矸石等一切可以利用的各种资源。基本出发点是防止或尽可能减轻开采煤炭对环境和其他资源的不良影响,目标是取得最佳的经济效益和社会效益。煤矿绿色开采与国内外的“无废开采”、“清洁开采”等概念有共同之处,同时还具有如下三方面的特点:

(1) 广义资源的特点。该理论认为在矿区范围内的煤炭、地下水,煤层内所含的瓦斯、土地、煤矸石以及在煤层附近的其他矿床都应该是经营这个矿区的开发对象而加以利用,转变了他们原有矿井废弃(或有害)物的观念。

(2) 源头治理的特点。从开采的角度采取措施,从源头消除或减少采矿对环境的破坏,而不是先破坏后治理,如通过采矿方法的改变和调整来实现地下水资源的保护、减缓地表沉陷、减少瓦斯和矸石的排放等,符合循环经济的理念。

(3) 基于岩层运动规律的特点。煤层开采后引起的岩层变形—破断—移动是造成一系列环境问题的根源,主要采矿环境问题的发生都与采动岩层移动与破坏有关。因此,掌握采动岩层移动破坏规律及采动岩层破裂渗流规律是实现煤矿绿色开采的关键。

因此,绿色开采的重大基础理论为:

- (1) 采矿后岩层内的“节理裂隙场”分布以及离层规律;
- (2) 开采对岩层与地表移动的影响规律;
- (3) 水与瓦斯在裂隙岩体中的渗流规律;
- (4) 岩体应力场分布规律及岩层控制技术。

近年来,为了解决上述与环境相关的理论问题,提出了岩层控制的关键层理论。岩层控制的关键层理论在理论上阐明了关键层的载荷分布规律、关键层破断的规律与复合效应及关键层判别方法,研究了关键层运动对采场矿压显现、岩层移动与地表沉陷及采动裂隙场分布的影响。因此,岩层控制的关键层理论与绿色开采密切相关,为煤炭资源绿色开采的研究提供了一个理论平台。

根据煤矿中土地、地下水、瓦斯以及矸石排放等,绿色开采技术主要包括以下内容:

- (1) 水资源保护——形成“保水开采”技术;
- (2) 土地与建筑物保护——形成离层注浆、充填与条带开采技术;
- (3) 瓦斯抽采与利用——形成“煤与瓦斯共采”技术;
- (4) 煤层巷道支护技术与减少矸石排放技术;
- (5) 煤炭地下气化技术。

这些内容构成的绿色开采技术体系的简要表达如图 1 所示。

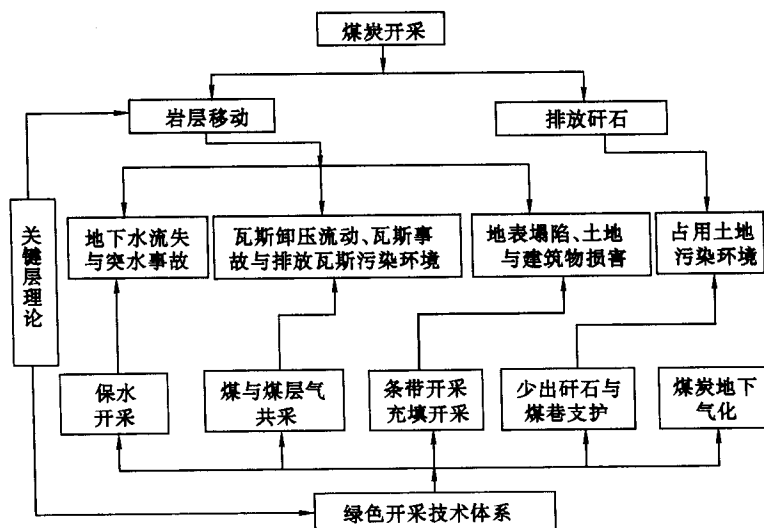


图 1 绿色开采技术体系的简要表达

自 2002 年正式提出上述煤炭资源绿色开采的理论与技术框架以来,引起了国内外广泛关注,并得到国内外同行的认可和高度评价。发表的有关绿色开采方面的论文已被他人引用 100 次以上。国际著名采矿工程专家 A. K. Ghose 教授邀请本学科专家为其主编的 *Journal of Mines, Metals & Fuels* 杂志撰写煤矿绿色开采方面的专稿,并在刊首以“编者按”对专稿进行了较高的评价,他在编者按中指出“……中国专家在绿色开采技术方面的创新性发展是基于‘关键层’理论的。关键层理论巧妙地把岩层移动和上覆断裂岩层中瓦斯和水的渗流和流动结合在一起。他们同样还促进了一系列技术的发展,比如采空区充填、条带开采和覆岩离层注浆等来保护地表建筑。这些技术为减少采矿对环境的破坏提供了方向,有望改变煤矿开采作为环境掠夺者的面貌”。

在上述煤炭资源绿色开采的理论与技术框架基础上,经过“十五”期间的建设,已初步建成了绿色开采的实验研究平台,并在煤矿绿色开采技术方面取得了突破和进展,如:建立了煤矿固体废物充填材料与充填工艺实验研究平台;研究形成了以井下注气燃烧控制、火区位置监测和气化采场安全管理为核心的地下气化可控技术,并在中梁山高瓦斯矿井取得了残煤资源地下气化示范性成果;研究了关键层运动对瓦斯卸压运移及抽采钻孔破坏的影响规律,形成了基于岩层采动裂隙分布“O 形圈”的煤与瓦斯共采技术。

在上述煤炭资源绿色开采理论与技术框架下,初步建设了绿色开采的实验研究平台;在煤矿绿色开采技术的某些方面取得了突破和进展。

三、煤巷预应力锚杆控制技术

巷道是煤炭开采的咽喉,其控制的好坏直接关系到矿井的安全高效生产。特别是深部巷道、顶板极易离层破碎的巷道、煤层动压影响下的巷道控制问题一直是制约煤矿高产高效和安全开采的瓶颈。我国煤炭埋深大于 600 m 和 1 000 m 的储量分别占 73.19% 和 53.17%,我国大中型煤矿开采深度每年以 8~12 m 的速度向深部延伸。厚层松散破碎顶板的煤层巷道极难支护,冒顶事故时常发生。动压巷道是指受到采动影响的巷道,每年新掘 1 万余米,占煤矿巷道的 80% 以上。深部、动压巷道地应力大,变形强烈,支护难度大,尤其当矿井采深增加,采动影响范围扩大,巷道维护更加困难。因此,对深部、动压巷道围岩变形破坏机理及其控制理论进行深入研究具有重要的理论和现实意义。

针对上述问题,系统研究和揭示了深部、动压巷道围岩塑性区的发生、发展过程,以及松脱型和挤压型两类冒顶的实质,科学地解释了动压巷道底鼓过程、冒顶及其原理,提出了沿空掘巷围岩结构稳定原理和顶板离层控制理论。

在破碎围岩控制方面,提出了锚杆支护强度强化理论,揭示了巷道两帮、顶板的岩性及受力状况与底鼓的关系,提出了加固帮、角控制底鼓和顶板下沉的力学原理,为在深部动压巷道松软、破碎煤层中实现锚杆支护提供了理论依据。

针对厚层松散破碎顶板的煤层巷道,分析了松脱型垮冒和挤压型垮冒两种顶板冒落类型,揭示了锚固区内离层和锚固区外离层两种锚杆类支护失效形式,提出阻止顶板渐次垮冒的离层控制原理,建立了高强预应力支护新体系,实现了“四高一 大”(高强度、高粘结力、高预拉力、高可靠性;大间排距)的锚网支护体系。

上述研究成果,全面揭示了深部动压巷道变形破坏的力学本质,同时提出了有效的围岩控制技术,为煤矿巷道及其他地下工程支护的进一步研究提供了新的理论平台。该成果全

面发展了“九五”期间形成的巷道围岩支护技术,丰富了顶板控制理论,显著提高了我国煤矿顶板控制的技术水平,研究水平达到国际先进水平。本项目的研究成果已引起了国内外同行和煤矿现场工程技术人员的广泛关注,并大量应用于现场实践中。仅在两淮矿区复杂多样的条件下推广应用 60 余万米,巷道畅通无冒顶。

四、煤炭地下导控气化技术

残煤地下导控气化与绿色复采技术,就是围绕国家关于建设资源节约、多能并举、环境体系友好型社会的要求,针对煤炭资源开发存在的回采率偏低、环境损害严重、安全形势严峻三大突出问题,在原有煤炭地下气化理论与技术的基础上,结合现有高瓦斯矿井中量大面广的残煤资源回收开发特点,建立了地下煤层复孔介质耦合场燃烧理论模型;研制了以移动注气导控燃烧场为核心,辅以条带多孔炉型、复合气化剂、井工降温净化、火区推进位态监控、井工启动点火与收作熄火等技术群的地下导控气化新工艺和新装备,对地下气化过程中的优质稳定性、洁净安全性、降耗节能性进行全方位的导引和控制,达到优质低耗安全产气、提高矿井资源回采率和减少采动损害与“三废”排放的目标,形成一套“能源—资源—环境”(ERE)三者协调的绿色安全复采技术体系。对于建设既出煤又产气的双能源生态矿井,意义重大。

建立了中梁山高瓦斯矿井残煤地下导控气化试验基地,生产了优质稳定水煤气 1 580 万 m^3 ,最高热值达 14.2 MJ/m^3 ,取得经济效益 470 万元;复采回收了高瓦斯矿井残煤资源 1.3 万 t,提高矿井区段煤炭资源回采率 35%;减少瓦斯排放 65 万 m^3 ,环保效益显著;整个试验与生产过程杜绝了伤亡事故,确保了安全生产。

本项目成果居国际先进水平,其特色主要是高瓦斯矿井残煤资源地下导控气化、火区推进位态监测和气化采场安全管理的绿色安全复采技术体系。

五、基于岩层移动的煤与瓦斯共采技术

瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出,一直是我国煤矿面临的重大灾害。同时,因煤炭开采而排放到大气中的瓦斯还加剧了温室效应,造成了严重的环境破坏。将煤层瓦斯作为一种资源(即所谓的煤层气)加以抽采利用,是解决上述问题的根本出路。

煤层瓦斯抽采方法可分为两类:一类是煤层采前抽采;另一类是煤层开采过程中及采后的卸压抽采。研究表明,我国煤储层普遍具有变质程度高、渗透率低、压力小和含气饱和度低的特点,70%以上煤层的渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$,这对我国开展煤层瓦斯采前预抽是极为不利的,而如何提高煤层采前渗透率是目前尚未解决的难题。实践表明,一旦煤层开采引起岩层移动,即使是渗透率很低的煤层,其渗透率也将增大数十倍至数百倍,为煤层气运移和开采创造了条件。因此,若在煤层开采时形成采煤和采煤层气两个完整的系统,即形成煤与瓦斯共采,则不仅有益于矿井的安全,而且采出的还是洁净能源。因此,在开采高瓦斯煤层的同时,利用岩层运动的特点将煤层气开采出来将是我国煤层气开发的一条重要途径。煤与瓦斯共采技术是煤矿绿色开采技术的重要组成部分。

岩层移动导致的煤岩体应力场与裂隙场的变化是引起瓦斯卸压和煤层渗透率增大的原因所在。具体开采条件下的邻近层瓦斯动态涌出特征及下保护层开采有效卸压高度、卸压瓦斯抽采钻孔的破坏与防护、卸压瓦斯抽采钻孔的优化布置等方面都与岩层移动特征紧密

相关。因此,采动岩层移动与采动覆岩裂隙分布规律是研究煤与瓦斯共采技术的理论基础之一,采动瓦斯卸压运移与抽采研究必须同岩层移动研究相结合。

将岩层移动与瓦斯卸压运移和抽采研究相结合,基于岩层控制的关键层理论和岩层采动裂隙动态分布特征的最新研究成果,取得了如下创新认识和成果:

(1) 揭示了覆岩关键层破断对邻近层煤层气涌出动态起控制作用,覆岩主关键层位置决定了下保护层卸压的最大高度,只要判别了覆岩主关键层的位置,即可确定下保护层开采的最大卸压高度。

(2) 建立了卸压瓦斯抽采的“O形圈”理论,其基本原理是:关键层破断后,采空区中部采动裂隙趋于压实,而在采空区四周长期存在一连通的采动裂隙发育区,称其为采动裂隙“O”形圈。采动裂隙“O”形圈相当于一条“瓦斯河”,周围煤岩体中的卸压瓦斯通过渗流不断地汇集到这条“瓦斯河”中,将抽采钻孔打到采动裂隙“O”形圈内,可以减少钻孔工程量、提高瓦斯抽采率。卸压瓦斯抽采的“O形圈”理论为卸压瓦斯抽采钻孔的优化布置提供了理论指导,已应用于淮北、阳泉、淮南等矿区的煤与瓦斯共采实践,证明了该成果的科学性。由相关人员负责开展的淮北矿区卸压瓦斯抽采试验和阳泉矿区卸压瓦斯抽采试验,提高了瓦斯抽出率,保障了工作面安全生产。部分抽采瓦斯已输入民用瓦斯管道加以利用,获得了较好的经济效益和社会效益。

(3) 揭示了地面瓦斯抽采钻井受岩层移动影响破坏特征及关键层周期破断对井下煤层穿层钻孔破坏的影响特征,为地面瓦斯抽采钻井和井下煤层穿层瓦斯抽采钻孔的合理结构设计和防护提供了基础。

六、保水开采技术

在保水开采方面,初步提出隔水关键层(组)理论,并对浅埋煤层保水开采的适用条件进行了初步分类。根据矿井水质和采空区充填物的矿物与物理特征,开发出矿井水采空区过滤与净化技术,使矿井污水在采空区经过过滤过程、沉淀作用、吸附与离子交换作用及自生矿物生成作用而成为净水,为矿井水的净化与利用开辟了一条新途径。基于新疆俄霍布拉克水文地质特征,提出首采区采用短壁机械化综采、接续采区采用长壁综合机械化开采的特厚坚硬顶板条件下的保水开采技术。

七、高产高效综放开采支护受力监测技术

综合机械化放顶煤开采工艺是实现厚及特厚煤层高产高效开采的有效工艺方式。由于放煤工艺的特点,以及支架上方顶煤力学状态的变化和煤岩组合特征的变化,使得放顶煤开采工作面的矿压显现呈现了新的特征,支架与围岩关系发生了改变,从而使放顶煤开采的岩层控制问题成为影响工作面高产高效开采的关键问题。

本成果的主要内容为:研究了采场直接顶(包含顶煤)介质的变形破坏特征,提出了采场直接顶为可变形介质的概念,分析研究了直接顶的承载传力特性、结构力学特性及其刚度特征,得出对支架与围岩关系的新认识,建立了不同直接顶刚度条件下采场支架与围岩整体力学模型,分析了支架与围岩的相互作用和影响关系以及支架与围岩体系的稳定性特点。基于综放采场围岩稳定性的特点,研究了端面顶板的稳定性及其影响因素,包括煤层硬度、支架架型和支架立柱倾角等,提出了综放开采端面顶板稳定性控制的新概念,从而形成了综

放采场岩层控制的理论体系。在此基础上,研究了综放采场支架与围岩稳定性监测控制体系和模式,包括高产高效工作面支架与围岩监测控制原理、监测控制系统、监测内容和指标以及监测分析软件,开发研制了支架受力测试仪,建设了高产高效采场(综放)支架与围岩关系实验研究系统,形成了高产高效综放工作面岩层控制与监测技术。

本成果达到国际先进水平,其特色为:以前沿性的理论成果为指导,是用于综采(综放)工作面和单体支柱工作面支架受力监测的新型监测手段,也是先进的实验研究平台。本成果在兖州、徐州、潞安、义马、大屯、皖北、淄博等矿区得到广泛应用,取得了显著的经济效益和社会效益,具有广阔的推广应用前景。

八、冲击矿压的电磁辐射预测技术

随着矿山采深的增加,冲击矿压问题越来越突出,对煤矿的安全生产构成了很大的威胁。这一问题是冲击矿压防治研究的国际性难题。针对目前煤矿坚硬顶板区域冲击危险性预测及治理、煤柱区冲击矿压危险的预测与治理等关键技术问题,以岩层运动与围岩应力场为基础,研究煤岩体的强度弱化减冲理论,形成以综合指数法、矿震法、电磁辐射法和钻屑法为一体的冲击矿压矿震预测预报技术,以松散煤岩体为主的治理技术,以柔性蓄能为主的防冲支架与支护技术,从而建立冲击矿压防治理论与技术体系。

本成果主要是采用实验室试验、理论分析、数值模拟和煤矿现场实践等方法,深入研究了煤层型冲击矿压发生的机理;提出了煤岩体弹塑脆性模型,建立了煤岩破坏的流变冲击模型和较为统一的冲击矿压危险前兆信息识别模型;解释了煤岩体冲击破坏的脆性冲击和延时冲击现象,根据煤岩体冲击破坏的声发射和电磁辐射现象及其耦合规律,提出了煤岩冲击破坏的危险性评价方法和冲击矿压预测预报的电磁辐射监测技术。率先采用电磁辐射技术成功地预测冲击矿压危险,建立了相应的预测准则和技术,建立了煤岩强度弱化减冲理论,设计试验了柔性防冲支架并在现场得到了应用,形成了独特的冲击矿压发生机理、电磁辐射仪器预测、松散煤岩体治理技术以及柔性防冲支架的整套理论与技术体系。系统研究了地球物理学在采矿动力灾害方面的应用,提出了较为统一的多项地球物理技术预测冲击矿压准则和技术,提出了新的地球物理方法——电磁辐射法预测冲击矿压理论与技术,发展了采矿地球物理学技术。

实践证明,采用深井冲击危险前兆信息识别及预报、治理技术体系完全可以对采掘面的冲击矿压危险性进行评价,并可预测冲击矿压可能发生的区域和位置,检测冲击矿压防治措施的效果,以保证矿山开采的正常进行,避免给煤矿造成巨大的经济损失和人员伤亡,其经济效益和社会效益巨大,并且具有广泛的应用前景。

在冲击矿压防治理论与技术,特别是电磁辐射预测冲击矿压危险方面的研究成果位居国际领先水平。在理论研究和试验研究的基础上,先后在徐州三河尖、新汶华丰、兖州东滩二号矿、义马千秋矿、枣庄陶庄矿、田陈矿进行了现场治理和实施,取得了良好的效果和巨大的社会效益。

九、基于 CAD 的数字矿井系统

基于 CAD 的数字矿井系统是以矿井二维、三维采掘工程 CAD 图形为平台,以煤矿地质、测量数据为基础信息数据,将 CAD 图形与矿井巨量的安全生产技术管理数据相联结,

即与矿井采煤工作面、掘进工作面、井下硐室、矿井机电设施、通风安全设施、井下管线、通讯以及矿井其他有关信息相联结,建立一个完整的数字化矿井软硬件系统。

基于 CAD 的数字矿井系统由电子矿图、井下生产系统模拟演示、井上下视频监控系统纳入电子矿图、动态采掘工程管理、瓦斯超限事故处理系统及煤矿生产软件包(含 8 类 40 余个能独立使用的软件)组成。其主要任务是在矿井网络化系统平台上,通过建立空间信息数据仓库,充分运用现代空间分析、数据挖掘、可视化、多媒体和科学计算技术,为现代化矿井安全生产技术管理服务。主要应用对象是局、矿生产技术与管理人员,也可以在教学中作为现代教学手段直接为教学服务。软件包(含部分)已在河南、安徽、江苏、河北、山西、山东等省 40 多对矿井应用。

十、固体废弃物膏体充填开采试验平台

充填采矿实验室是中国矿业大学采矿工程国家级重点学科“十五”、“211 工程”建设新成果,该实验室主要由自己组织设计建立的充填注浆材料制备实验系统、粗粒料浆充填工艺实验系统、细粒料浆充填工艺实验系统等组成,是一个专门支撑固体废物充填材料和充填工艺科学研究的平台和专门人才培养的基地,也是目前国内装备最先进的充填工艺实验室,可以开展的主要实验项目包括:

- (1) 材料激光粒度分析;
- (2) 充填材料强度与变形性能;
- (3) 充填注浆材料加工工艺;
- (4) 充填材料水力坡降;
- (5) 充填材料配比控制;
- (6) 管道清洗;
- (7) 充填工艺控制;
- (8) 两相流临界流速等。

充填采矿实验室的建设和发展得到国家发展与改革委员会能源局领导的重视。2005 年 8 月 4 日,国家发改委能源局吴吟副局长一行专门来校考察了充填采矿实验室,认为充填采矿实验室研究的固体废物膏体充填采煤技术具有以下优点:

一是保护安全,提高矿井开采安全保障度。通过充填开采,大大减少采煤过程中带来的顶板破坏、围岩松动和瓦斯压力的变化,从而降低顶板、瓦斯、水等自然灾害的发生几率。

二是保护资源,提高煤炭资源采出率。

三是保护环境,减少煤炭开采对地表的破坏程度。一方面,可以控制开采带来的地表沉陷,保护水资源,减少对土地资源的破坏与占用;另一方面,可以实现煤矿副产品及城镇固体垃圾等的资源化利用,减少矿山固体废物的排放。

膏体充填采矿技术的开发应用,是煤炭工业贯彻落实科学发展观、实现绿色采矿的重要举措,具有“高安全性、高采出率、环境友好”的基本特征,是一种新的绿色采矿技术,也是 21 世纪采矿技术的重要发展方向。

充填采矿实验室已经承担了我国第一批煤矿固体废物膏体充填项目的实验任务,正在为发展固体废物膏体充填采矿技术、根本解决我国煤矿目前严重的开采沉陷和生态环境问题、提高煤炭资源采出率发挥越来越重要的作用。充填采矿实验室已经成为矿山开采与安