

煤矿绿色高效开采技术研究

MEIKUANG LVSE
GAOXIAO KAICAI
JISHU YANJIU

陕西省煤炭学会 学术年会论文集(2016)

主 编 范京道

副主编 董书宁 马宏伟 王建利 王华东 唐恩贤



煤炭工业出版社

煤矿绿色高效开采技术研究

——陕西省煤炭学会学术年会论文集（2016）

主 编 范京道

副主编 董书宁 马宏伟 王建利 王华东 唐恩贤

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿绿色高效开采技术研究: 陕西省煤炭学会学术年会论文集.
2016/范京道主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2016
ISBN 978 - 7 - 5020 - 5349 - 9

I. ①煤… II. ①范… III. ①煤矿开采—无污染技术—学术会
议—文集 IV. ①TD82 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 160742 号

煤矿绿色高效开采技术研究

——陕西省煤炭学会学术年会论文集 (2016)

主 编 范京道
责任编辑 成联君
编 辑 杜 秋
责任校对 孔青青 李新荣
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010 - 84657898 (总编室)
010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)
电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京玥实印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 880mm × 1230mm¹/₁₆ 印张 31¹/₂ 字数 952 千字
版 次 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷
社内编号 8206 定价 138.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换。电话:010 - 84657880

编 委 会

名誉主任 李金柱 高新民

主 任 张少春

副 主 任 闵 龙 杨俊哲 董书宁 马宏伟 李智学

宫守才 王苏键 范京道

委 员 (以姓氏笔画为序)

王华东 王志杰 王明智 王建利 邓世龙

石增武 冯党军 师同民 朱绪恩 刘予东

刘永宁 刘育晖 刘新民 齐海清 孙龙琦

孙占勇 孙顺新 李万仕 李志平 吴文良

迟宝锁 张大伟 赵文革 段中会 原德胜

唐恩贤 黄 晔 崔建平 康 尧

主 编 范京道

副 主 编 董书宁 马宏伟 王建利 王华东 唐恩贤

加强科学研究 促进绿色开发

(代 序)

近年来,陕西煤炭工业得到了快速发展,原煤产量从2000年的3600余万吨跃升到2015年的5.15亿吨,15年时间原煤产量翻了四番;煤矿安全形势也得到根本改善,百万吨死亡率连续多年达到全国最好水平;煤矿区生态文明建设取得显著成绩,一批现代化矿井建成投产。安全、高效、绿色、文明,已经成为陕西煤矿区的关键词。

早在1992年我省科技工作者就针对生态环境脆弱区煤炭开发出现的问题,提出了保水采煤问题及实现途径,结合煤矿建设、开采的实际需求,完成了多个煤矿开采的水资源保护研究和实践,开展了榆神矿区一期、三期保水采煤技术论证,设计了保水采煤的合理推进距离、厚煤层最大采高技术方案并付诸实施,研发了长壁综采保水采煤技术、限高保水采煤技术、窄条带保水采煤技术和底板岩溶水含水层保护技术。经过长期研究和工程实践,形成了较为完整的保水采煤科学技术体系,并在陕西神东、神府、榆神、榆横、澄合、彬长和宁东、新疆、内蒙古西部、河北邢台、邯郸等矿区得到了广泛的应用,有效保护了煤矿区含水层结构,实现了高强度采煤与含水层保护、生态环境保护并举的良好局面。保水采煤技术不仅在我省应用广泛,在宁夏、内蒙古、甘肃、新疆及河北等省区也得到了推广应用。本书收录了多篇有关保水采煤技术及应用的论文。同样,我省学者针对陕西地质条件,研发了瓦斯地质编图技术、瓦斯抽采与利用技术、瓦斯阶梯化利用技术、智能化开采技术、沿空留巷技术、围岩控制技术、浅埋煤层顶板控制技术、地表损伤调查评价与修复技术等,使我省采矿技术与矿区地质环境保护技术居于全国领先水平,也促进了特大型现代化煤矿的建设和安全生产,为建设绿色安全高效矿井奠定了理论基础。

2009年以来,陕西省煤炭学会每年组织一次学术研讨会,每次一个主题,并将征集到的优秀论文结集出版,在一线科技人员中引起了较大反响和关注,广大科技人员希望继续举办这样的研讨会。为此,学会理事会决定2016年学术研讨会的主题是“煤矿绿色高效开采技术研究”,并于2015年5月发出征文通知,截至2016年4月30日,共收到论文118篇,经过专家审读,其中90篇入选本书。收录的论文,重点阐述了保水采煤技术、采空区储水及矿井水利用技术、煤矿防治水技术、矿区地质环境修复技术、隐蔽致灾体探查技术、岩层控制与支护技术、瓦斯抽采利用技术、机电技术及煤矿自动化生产技术等,反映了当前我国煤炭科技发展水平和前景。

在征文过程中，得到了陕西煤业化工集团有限责任公司及所属单位、神东煤炭集团有限责任公司及所属单位、陕西能源集团有限责任公司及所属单位、中煤科工集团西安研究院有限公司、陕西能源职业技术学院、西安科技大学等单位的大力支持，部分编委会成员对征集论文进行了审读，在此一并表示衷心感谢！

希望我省广大煤炭科技工作者以“十八大”精神为指导，开拓进取，不断创新，建立具有陕西特色的煤矿绿色、安全、高效开发利用技术体系，为国家能源安全、矿区生态文明建设做出新贡献。

陕西省煤炭学会理事长

张少春

2016年5月8日

目次

综 述

煤炭绿色开采在陕西	高新民 (3)
保水采煤研究新进展	范立民 (7)
关于煤炭绿色开采的几点认识	苗霖田 (14)
大柳塔煤矿绿色开采技术	郭洋楠 (19)
神东公司安全绿色高产高效开采煤炭资源综述	田瑞云 (24)

保水采煤与绿色矿区建设

煤矿底板突水防治微震监测系统的建立及应用	王苏健 王悦 陈通 (33)
充填保水采煤技术在榆神矿区的应用效果	蒋泽泉 吕文宏 向茂西 (40)
风积砂似膏体充填系统及高效充填采煤工艺研究	吕文宏 郑天斌 刘鹏亮等 (44)
煤矿膏体充填开采技术研究	刘瑞瑞 (53)
浅埋煤层综采面离层注浆加固保水采煤技术	崔邦军 (57)
榆神矿区地方煤矿开采对萨拉乌苏组含水层的影响	陈通 王苏健 王悦 (60)
寸草塔煤矿矸石充填开采技术可行性研究	宋桂军 (68)
榆神矿区水源地及采煤保护方案	张红强 (73)
激电测深在榆神矿区水文地质勘查中的应用	冀瑞君 (76)
渭北煤田底板破坏深度规律研究	李涛 王苏健 陈通等 (80)
煤炭开采强度对导水裂隙带发育规律影响研究	王悦 夏玉成 杜荣军等 (84)
榆神矿区生态潜水含水层特征	王西泉 (93)
含水层下特厚煤层综放开采导水裂隙带高度数值模拟研究	朱兴攀 司俊鸿 宋超等 (96)
桑树坪矿井突水水源逐步判别分析研究	高颖 李涛 (105)
矿井充水因素分析及水害防治	梁少剑 王英 安秀煜 (110)
韩城矿区岩溶水化学特征	薛卫峰 李涛 陈通 (115)
神府矿区煤层涌水及 H_2S 逸出成因分析	任海香 贺卫中 张廷会 (119)
袁大滩煤矿中高矿化度矿井水资源化技术研究	马景国 (125)
生态脆弱区矿井水处理及其综合利用	冯洁 陈通 (130)
文家坡煤矿矿井水处理及综合利用	曹帅 朱世阳 (134)
园子沟煤矿矿井水处理与综合利用	张嵘 田建设 姜新才 (136)
矿井水处理与综合利用的研究与应用	南海云 董云峰 周延宁等 (140)
矿井水井下回用保水采煤技术研究	王生彪 (146)
超磁分离技术在矿井水资源化利用中的研究进展	张国平 左强生 (150)

煤矿污水循环利用实例	白旭光 (154)
胡家河矿地表沉陷区生态修复及土地复垦技术	周 阳 罗少鹏 (157)
胡家河矿 401101 工作面地表移动规律研究	武光辉 郝宝利 王 铎 (161)
彬长矿区采空区沉陷及其影响预测	陈德勇 雷明安 (165)
凉水井煤矿开采沉陷参数及采空区治理技术	张奇功 张海军 王 磊 等 (172)
冯家塔煤矿一水平采动影响区土地复垦技术初步研究	李 斌 陈铜宪 李 林 (180)

煤矿隐蔽致灾体探查与安全

近距离高瓦斯易自燃煤层群开采矿井通风系统优化实践	李玉杰 贡少强 宝银县 (191)
长安煤矿河流下综放开采安全性分析	张建超 雷明安 (199)
三维地震勘探技术在复杂地表条件下的应用	杨 辉 (204)
煤矿井下涌水点 H_2S 气体扩散规律模拟研究	宋 超 陈 通 王 鹏 等 (208)
澄合矿区硫化氢气体成因类型及层位分析	冯 海 陈 通 李 涛 等 (214)
小庄井田无煤带特征、成因及分布区域预测	肖 飞 窦桂东 蔡超龙 (218)
基于 JPBm 理论的煤矿安全隐患闭环管理系统	李毓刚 冯 弘 王均利 等 (222)
榆神矿区采空区隐患类型及治理措施	白如鸿 (227)
多重灾害下综放工作面安全开采技术	武光辉 王 伟 许永刚 (231)

煤矿瓦斯治理及综合利用

浅埋煤层大采高综采工作面双巷窄煤柱支护研究	田 坤 陈德勇 (237)
近距离煤层群沿空留巷工作面瓦斯立体抽采技术	司俊鸿 赵武强 孙志权 等 (241)
针对碎软煤层地面煤层气水平井分段压裂强化抽采 方法实践	姚团琪 王 晶 许耀波 等 (247)
瓦斯抽采钻孔密封技术发展讨论	徐文全 邓增社 司俊鸿 等 (255)
注氮驱替防治采空区瓦斯技术研究及效果检验	王琳华 王苏健 胡魏魏 (260)
黄陵矿区煤层瓦斯赋存规律及影响因素研究	王小军 司俊鸿 徐文全 等 (265)
彬长矿区瓦斯治理及综合利用技术	曹 帅 朱世阳 (270)
园子沟煤矿瓦斯治理及综合利用研究	何宏洲 田建设 王江峰 (274)
松软突出煤层气爆增透技术研究及应用	王 鹏 陈 通 司俊鸿 等 (280)
综采工作面上隅角瓦斯综合治理技术	高俊德 (285)
煤矸石填埋技术在煤矿废弃物综合治理中的应用	张廷会 李小刚 贺卫中 等 (288)
凉水井煤矿煤泥回收利用技术研究	南海云 董云峰 毕明勋 等 (294)
园子沟煤矿煤矸石及煤泥综合利用分析	李志强 惠鹏岳 陈 锋 (298)

煤矿岩层控制与支护

切顶卸压自动成巷工作面矿压显现规律及顶板控制	魏光荣 王庆雄 (303)
------------------------------	---------------

邻近工作面采动影响下巷道非均匀支护技术	丁国峰 黄克军 金声尧 (315)
采空区下“三软”煤层放顶煤沿空留巷数值模拟分析	金声尧 宋义德 丁国峰 (324)
浅埋深薄基岩超大断面开切眼支护优化分析	廖敬龙 黄克军 耿耀强 等 (332)
哈拉沟煤矿近距离煤层开采特殊矿压显现机理研究	王庆雄 (340)
基于应力波原理的巷道锚固质量检测技术及应用	吴学明 武光辉 黄克军 等 (347)
复杂地质条件下综采工作面沿空留巷支护技术研究	乔懿麟 刘效贤 黄克军 等 (352)
多巷布置条件下巷道围岩控制数值模拟及应用研究	刘文静 黄克军 耿耀强 等 (357)
复杂地质条件下沿空留巷成套技术研究及应用	曹新奇 李瑞斌 刘效贤 (363)
综采面末采过上覆空巷矿压规律及机理研究	王庆雄 (367)
基于 Matlab 回采巷道围岩分类可视化系统开发及应用	贺超峰 连刘平 (374)
神东矿区切顶卸压成巷技术试验研究	宋立兵 (380)
巷道底鼓力学机理及防治技术研究	王树明 (390)
冲击地压矿井大断面开切眼支护技术	焦小年 王 伟 (395)
深井特厚煤层开采冲击矿压机理及预警技术研究	武光辉 冯飞龙 许永刚 (399)
基于强弱理论深部的巷道防冲控制对策	何宏洲 田建设 赵 瑶 等 (407)
柔性纤维网支护工艺在综采工作面回撤过程中的应用	高俊德 (411)

煤矿智能化开采

无人智能化在综采工作面的研究和应用	郭 峰 黄克军 (417)
三维仿真培训系统在大佛寺煤矿的研究及应用	王均利 张静霞 胡 然 (421)

其 他

42CrMo 用于行星架焊接的技术论证	秦玉京 陈克华 卓 君 (429)
国外采煤机摇臂壳体修复工艺方法	秦玉京 杜凤来 王先龙 等 (433)
加工摇臂壳体行星头外圆的筒形刀杆设计	秦玉京 屈焯焯 陈 琳 (438)
重型采煤机齿轨轮齿形优化设计与仿真	张永权 (442)
渗碳齿轮热处理工艺过程系统优化和改进	刘永刚 朱瑞芳 (450)
工业固态继电器在采煤机用四象限变频改造中的应用	席崇发 李 静 (455)
园子沟煤矿大断面立井井筒冻结技术研究与应	赵 瑶 田建设 胡红利 (460)
矿工人格特征与不安全行为的关系实证研究	黄 欣 (465)
基于立井提升水配重调节系统的研究与应用	焦小年 任佩佩 (472)
钢丝绳芯输送带在线监测信息化系统在大佛寺矿的应用	于文博 杜少敏 (475)
IP 网络广播系统在大佛寺矿的研究与应用	杜少敏 王均利 张业奔 (479)
大口径钻孔反井法施工及套管安装工艺研究	耿 正 李小刚 张廷会 (485)

综 述

煤炭绿色开采在陕西

高新民

[陕西省煤炭学会, 陕西 西安 710001]

摘要 以陕西为例, 分析了保水采煤技术的提出、形成和发展与工程实践, 分析了陕西矿井水资源化利用技术、利用途径和地下水库建设成就, 分析了瓦斯抽采、利用现状, 分析了陕西智能化矿井建设现状, 展望了陕西绿色矿区建设的美好未来。

关键词 绿色开采 保水采煤 环境修复 煤矿安全

陕西是煤炭资源大省, 全省探明煤炭资源量居全国第四位, 原煤产量 2015 年达到 5.0235 亿 t, 仅次于内蒙古和山西, 居全国第三位, 尤其是陕北、彬长、黄陵矿区, 建成了一批特大型、大型现代化煤矿。随着煤炭工业的快速发展, 资源利用率、原煤采出率、矿区水资源保护、环境保护得到了快速发展, 瓦斯抽采利用率也稳步提高, 形成了以神东、榆神、黄陵、彬长为代表的综合开发、综合利用、环境保护良好的煤炭矿区。1992 年, 陕西省科技工作者提出了保水采煤问题, 并进行了长期系统的研究和实践, 取得了系列成果, 为实现陕北生态脆弱矿区煤炭资源开发与环境保护奠定了基础。20 世纪 80 年代以来, 陕西省对高瓦斯矿井进行了综合探索, 编绘了系列瓦斯地质图, 研究了瓦斯赋存规律, 开展了瓦斯抽采利用实验研究。目前已经形成了瓦斯地面抽采、井下抽采相结合的组合抽采、利用网络, 瓦斯利用率逐年提高, 变害为利, 不仅减少了瓦斯事故, 保护了矿工生命安全, 还利用了瓦斯资源, 实现了环境保护与清洁资源利用。

1 保水采煤在陕西

保水采煤孕育于陕西, 形成于陕西, 发展于陕西, 适用于整个西部地区, 并在华北地区也得到了应用, 已经形成一个比较完善的科学技术体系。1992 年范立民提出了保水采煤的科学问题, 经过二十几年的持续研究和工程实践, 初步形成了以保护生态水位为核心的保水采煤技术体系(范立民, 2005; 王双明等, 2010), 并在陕北、渭北多处煤矿推广应用, 有效保护了含水层结构, 促进了绿色矿区建设。

众所周知, 陕北沙漠地区地下赋存丰富的煤炭资源, 而水资源贫乏, 仅有的水资源赋存于浅表层的第四系萨拉乌苏组和侏罗系烧变岩中, 采煤过程中导水裂隙带发育到含水层底部, 导致含水层地下水渗漏、水位下降、井泉干涸、河流断流、地表裂缝(范立民等, 2015), 严重影响矿区生态环境。因此, 采煤必须保护萨拉乌苏组地下水含水层结构的完整性, 才能保护生态环境。通过多年研发和实践, 编绘了基于生态水位保护的陕北煤炭资源规划图, 划分了保水采煤地质条件分区(王双明、范立民等, 2010), 提出了限高、条带、短壁、充填等适应不同地质条件的保水采煤方法, 试验确定了保水采煤的合理推进距离, 演算了地表水体附近保水煤柱合理留设宽度, 有效保护了萨拉乌苏组、烧变岩地下水, 促进了陕北、神东矿区绿色矿区建设。

针对采煤区含水层保护问题, 渭北澄合矿区就煤层底板岩溶水含水层保护进行了大量探索, 形成

了集含水层探测、富水性评价、底板突水机理、底板防突水与含水层保护为一体的底板注浆加固技术,使采煤未发生突水,同时保护了岩溶含水层,为渭北工农业用水、黄河湿地保护提供了技术保障(叶东生等,2010)。

在保水采煤实施阶段,冀瑞君等(2015)分析了采煤造成的地下水循环途径演化过程,提出了控制措施。马雄德等(2015)利用不同时期的遥感资料,分析了区内水体、湿地的演变历史,给出了煤炭开采对水体湿地减少的“贡献率”。

2 矿井水利用在陕西

2.1 矿井水利用在陕西

近年来,陕西各大型煤矿矿井水均实现了回收利用。以榆神矿区锦界煤矿为例,该矿为水文地质极复杂的大水矿井,主要充水水源为上覆基岩和第四系松散层含水层,矿井涌水主要由回采工作面涌水、工作面顶板疏放水及采空区涌水组成。目前该矿三个盘区开采,涌水量达 $3700 \sim 3800 \text{ m}^3/\text{h}$,矿井水外排是该矿的环保管理难题。2015年以来该矿通过与政府合作,一是将矿井水部分并入政府地面管网,实现政府统筹调配,综合利用矿井水 $900 \text{ m}^3/\text{h}$;二是积极履行社会责任,为周边村民常年提供农作物灌溉用水及牲畜饮水,给附近青草界、河则沟等村提供 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右清水;三是无偿给周边企业提供 $1150 \text{ m}^3/\text{h}$ 工业用水;四是在政府水资源统筹调配的指导下,将其余约 $1450 \text{ m}^3/\text{h}$ 矿井水处理后,经环保在线监测达标,排入园区管委会水利设施,由管委会统一储存调配。

目前锦界煤矿井下设有6个泵房,分为四个排水分区,采用清污分离的方式排水。各泵房均实现了直排功能,泵房间又通过排水管路相互之间有机联结、阀门控制水流方向,提高了排水的灵活性和可靠性。同时,该矿将顶板疏放水、采空区涌水等清水直接提供给当地村民及周边企业,采掘工作面污水则通过地面两座 $2800 \text{ m}^3/\text{h}$ 能力污水处理厂处理后,经环保在线监测达标排入园区管委会水利设施,实现了该矿矿井水100%利用。

黄陵一号、二号煤矿,神南矿区红柳林煤矿、张家塬煤矿、柠条塔煤矿,彬长矿区大佛寺煤矿等的矿井水均100%利用,不仅保护了矿区环境,还节约了用水成本。

2.2 采空区储水在陕西

在陕西省陕北侏罗纪煤田沟谷沿岸,分布有近千平方公里的烧变岩,在柠条塔、采兔沟、常家沟等地,烧变岩是富水的含水层,受到烧变岩含水层的启发(范立民,2006),科技人员提出了利用采空区塌陷岩层破碎、裂隙发育的有利条件,储存矿井水资源,实现水资源的科学利用。近年来,大柳塔煤矿利用2⁻²号煤层采空区建设了储存矿井水资源的地下水库(侯志成,2014;张国恩,2014;曹志国等,2014),红柳林、张家塬煤矿利用采空区储存了部分矿井水,经过净化达到了生活饮用水标准。目前,陕煤集团大型矿井的矿井水利用率达到了90%以上,杜绝了矿井水污水排放。

3 瓦斯治理与抽采利用在陕西

瓦斯治理与抽采利用主要体现在瓦斯地质图编研完成;建成30套煤矿瓦斯抽采站(系统);建成了咸阳市、韩城市小区域瓦斯利用管网;建成了低浓度瓦斯发电厂6座、装机容量3.74万kW,通风(乏风)瓦斯发电厂1座、装机容量0.45万kW;全省瓦斯抽采量3.8372亿 m^3 ,利用量1.0187亿 m^3 ,利用率26.55%。

3.1 瓦斯地质图编研

瓦斯地质图是全面反映煤矿瓦斯赋存特点的专业图件,20世纪80年代末,我国开展了第一次全国煤矿瓦斯地质编图,但限于当时煤炭行业的困难情况,陕西省只有少数煤矿编制了瓦斯地质图,但未公开出版,根据这次编图成果,河南理工大学主持编制了1:200万中国煤矿瓦斯地质图和说明书(1992)。随后,瓦斯地质研究停滞多年,2009年在张子敏教授的推动下,我国开展了新一轮全国煤矿瓦斯地质图编研,陕西省共编制了90处矿井、7个矿区的瓦斯地质图和1:50万陕西省煤矿瓦斯地

质图,出版了系列论著(范立民等,2012),总结了陕西省瓦斯地质规律并推广应用,促进了瓦斯灾害治理、瓦斯利用。

3.2 瓦斯抽采与利用

2012年7月陕西省煤层气开发利用有限公司揭牌成立,主要任务是煤层气资源勘探项目开发利用的投资与管理;科技研发、综合利用;矿井灾害防治及技术咨询服务;矿井灾害治理;对外招商引资、引入合作伙伴;争取国家优惠政策、专项资金、国家示范项目;获取新的煤层气、页岩气等非常规天然气矿权等。陕西省高瓦斯矿区95%以上集中在陕煤化集团所属区块,加强煤矿瓦斯治理,加快煤层气开发,对于陕煤化集团及全省改善煤矿安全状况、增加清洁能源供应、减少温室气体排放、臭氧层破坏、调整产业结构、培育新的经济增长点,都具有十分重要的现实意义和深远的战略意义。“十二五”末,该公司地面煤层气开发产能达到2亿 m^3/a ,建成多个采空区地面钻井瓦斯抽采实验站,高瓦斯矿井及煤与瓦斯突出矿井都开展了井下瓦斯抽采,大佛寺、水帘洞、陈家山等瓦斯利用工程走在了全国前列,特别是彬长大佛寺煤矿风排(乏风)瓦斯发电产业化居世界领先。

4 机械化智能化采煤在陕西

陕西黄陵一号煤矿实现了较薄煤层(1.4~2.4 m)井下综采工作面无人作业、1人巡查。

2015年5月19日,全国煤矿自动化开采技术现场会在陕煤集团黄陵矿业公司召开,来自全国安监系统、煤炭行业管理系统的负责人共同研讨交流,学习推广黄陵一号智能化无人开采的先进经验。通过典型示范带动作用,提升煤矿机械化、自动化、信息化和智能化“四化”水平。

目前,陕西省煤矿采煤机械化程度达到92.77%以上,平均单井规模达到120万t以上。自动化排水、集控运煤系统等新技术在一大批大中煤矿广泛应用,其中黄陵矿业公司智能无人化开采技术广泛应用,开创了国产装备智能化开采的先河,达到国际先进水平。以一号煤矿为试点,黄陵矿业公司成功完成国产综采设备智能化无人开采技术与运用。2014年5月,黄陵一号煤矿在国内率先实现了地面远程操控采煤,运行一年来,真正实现了“无人开采”常态化,填补了我国煤矿综采工作面智能化无人开采的空白。一号煤矿智能化无人综采工作面运行一年来,生产原煤190万t,开机率97.3%,完全能够满足矿井正常生产需要。成本比国外同类设备降低一半以上的同时,每年可节约人工成本500万~600万元。

目前,我国智能化无人开采技术已形成了针对煤矿各种复杂地质环境的多种解决方案。全国范围内已在神华集团、陕煤集团、冀中能源、阳煤集团等15个矿区推广应用。

5 矿区地质环境保护与地质灾害防治在陕西

陕西省现有煤炭开采矿井约503处,开采区域既有黄土高原地区、陕北沙漠区、低山丘陵区,也有秦巴山区等高山地区,煤层埋藏条件多样,地质环境差异性大,煤炭开采对地表损害大,矿区地质灾害频发,不仅给矿区居民带来严重威胁,也严重影响了矿区生态文明建设。

为此,近年来,陕西省开展了大量的基础性研究工作,陕西省地质环境监测总站牵头完成了全省煤矿区地质环境调查,查明了煤矿区地质灾害种类、发育条件、形成机理及其与开采强度的耦合关系,首次提出了矿产资源开采强度的概念,建立了开采强度划分的指标体系,研究了开采强度与地质灾害发育程度的关系,探讨了矿区地质灾害成因模式、致灾模式和防控技术(范立民等,2016),开展了矿山地质环境治理示范工程建设,有效保护了矿区居民生命安全,恢复了耕地、林地和草地,减轻了地质灾害造成的经济损失,效益显著。

6 结论与展望

(1)近年来,陕西在绿色开采、安全高效开采技术领域进行了大胆探索和工程实践,取得了初步成果,尤其是保水采煤技术,孕育于陕西,形成于陕西,发展于陕西,是陕西科研人员、工程技术

人员在煤矿区生态文明建设领域的重要贡献,目前已经形成了独具特色的保水采煤技术体系。不仅在陕西,而且在新疆、宁夏、内蒙古、河北等省区得到了广泛推广应用,促进了我国煤矿区水资源的保护和科学利用。在瓦斯赋存、瓦斯抽采与利用领域,陕西编绘了首套系列瓦斯地质图,出版了瓦斯地质系列论著,渭北、黄陵、彬长矿区建成了瓦斯抽采站,实现了地面、井下瓦斯联合抽采和清洁利用。在煤矿智能化领域,黄陵一号煤矿等实现了工作面无人化开采。

(2) 研发适合陕西地质条件的大采高无人开采技术、低成本充填保水采煤技术(含充填材料和工艺)、低浓度瓦斯风排瓦斯(乏风瓦斯)高效利用技术、煤层瓦斯高效抽采技术、隐蔽致灾地质体精细探测技术以及煤矿顶板离层水害形成机理、发育规律、探测控防技术,将成为未来一个时期,陕西省煤炭工业面临的重要科技创新课题。

参 考 文 献

- [1] 夏玉成,代革联,等.生态潜水流畅的采煤扰动与优化调控[M].北京:科学出版社,2015.
- [2] 范立民.神木矿区的主要环境地质问题[J].水文地质工程地质,1992,19(6):37-40.
- [3] 范立民.论保水采煤问题[J].煤田地质与勘探,2005,33(5):50-53.
- [4] 范立民,马雄德,冀瑞君.西部生态脆弱矿区保水采煤研究与实践进展[J].煤炭学报,2015,40(8):1711-1717.
- [5] 王宏科,蒋泽泉,郭亮亮.张家峁煤矿15204工作面导水裂隙带高度探测[J].陕西煤炭,2015,34(2):31-34.
- [6] 范立民,张晓团,向茂西,等.浅埋煤层高强度开采区地裂缝发育特征[J].煤炭学报,2015,40(6):1442-1447.
- [7] 范立民,马雄德,蒋辉,等.西部生态脆弱矿区矿井突水溃沙危险性分区[J].煤炭学报,2016,41(3):531-536.
- [8] 范立民,马雄德.浅埋煤层矿井突水溃沙灾害研究进展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):8-12.
- [9] 叶东生,屈永利,杜飞虎.煤矿底板岩溶水水害防治的理论与实践[M].北京:煤炭工业出版社,2010.
- [10] 冀瑞君,彭苏萍,范立民,等.神府矿区采煤对地下水循环的影响[J].煤炭学报,2015,40(4):938-943.
- [11] 马雄德,范立民,张晓团,等.榆神府矿区水体湿地演化驱动力分析[J].煤炭学报,2015,40(5):1126-1133.
- [12] 范立民,蒋泽泉.烧变岩地下水的形成及保水采煤新思路[J].煤炭工程,2006,(4):40-41.
- [13] 侯志成.大柳塔煤矿井下水资源保护及复利用技术工程实践[J].中国煤炭,2014,40(S1):121-124.
- [14] 张国恩.煤矿地下水库人工挡水坝安全性分析[J].中国煤炭,2014,40(S1):78-81.
- [15] 曹志国,李全生,何瑞敏,等.煤矿地下水库安全监控系统研发与应用[J].中国煤炭,2014,40(S1):104-108.
- [16] 张子敏.中国煤矿瓦斯赋存构造逐级控制规律与分区划分[J].地学前缘,2013,20(2):237-245.
- [17] 王英,范立民,安秀煜.陕西省区域性瓦斯地质分带研究[J].煤田地质与勘探,2013,41(2):12-15.
- [18] 安秀煜.黄陇侏罗纪煤田瓦斯地质规律研究[D].西安:西安科技大学,2012.
- [19] 范立民,李成,陈建平,等.矿产资源高强度开采区地质灾害与防治技术[M].北京:科学出版社,2016.

保水采煤研究新进展

范立民

[陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054]

摘 要 保水采煤是应榆神府矿区独特的地质条件而提出, 经过 20 多年研究和探索, 在基础研究、工程实践等领域取得了大量成果。本文总结了不同阶段保水采煤研究的最新进展和存在的科学问题。基础研究阶段, 查明了煤层与含(隔)水层空间关系、煤层覆岩结构类型, 划分了保水采煤地质条件分区, 编绘了基于地下水位保护的采煤方法规划图, 提出了开采区域评价方法和采煤方法等实现保水采煤的途径。在工程实践阶段, 以生态水位保护为原则, 开展了基于含水层结构保护的充填开采、窄条带开采、限高(分层)开采、短壁机械化开采法、快速推进法等因地制宜的保水采煤工程实践, 开展了基于岩溶承压含水层结构保护的底板注浆加固保水采煤工程实践; 以水资源保护、利用为原则, 开展了基于地下水转移储存、采空区储水的保水采煤工程实践。调查了保水采煤的实施效果, 认为研发低成本、高效率的充填保水采煤技术是未来的发展方向, 指出了保水采煤研究仍然面临许多重大难题需要攻关。

关键词 保水采煤 生态水位 三图预测法 突水溃沙 生态脆弱矿区

1990 年 4 月 20 日和 12 月 28 日, 陕北侏罗纪煤田瓷窑湾煤矿发生两次巷道冒落、突水溃沙灾害, 导致附近的顺沟渠水库干涸。经灾后的水文地质补充勘查和成因分析后, 于 1992 年笔者提出了“保水采煤”的观点和建议, 即在我国西部缺水矿区, 通过合理布局和科学开采, 使煤炭开采、水资源保护与生态环境安全协调发展。国外在预防顶板突水时一般采用主动防护法(疏干含水层)和堵水截留法(帷幕注浆), 没有可供我国西部保水采煤借鉴的经验。20 多年来, 基于保水采煤目标, 我国研究者在榆神府矿区基础地质、水文地质工程地质领域做了大量工作, 奠定了保水采煤研究的地质基础。地质、矿业工程科学家就安全高效、“保水”、矿井水防控、经济的采煤技术进行了大量的研究和工程实践, 开展了以充填、窄条带、限高、短壁机械化和长壁快速推进(局部限高)为主的保水采煤工程实践, 基本实现了煤炭开采和水资源保护并举的目标。2004 年以来, 水文水资源、生态环境的理论和方法应用于保水采煤领域, 保水采煤思想得到了丰富和发展, 初步形成了以生态水位保护为核心的保水采煤技术体系。随着我国西部煤炭产量的不断提升, 新疆、青海、甘肃华亭—陕西彬长、宁东等生态环境脆弱区的煤炭科学开采是亟待解决的难题, 及时总结基于榆神府矿区形成的保水采煤研究进展, 可有效促进中国西部地区煤炭的科学开采。

1 保水采煤地质基础研究

1.1 保水采煤的水文地质工程地质基础研究

陕北侏罗纪煤田含可采煤层 2~12 层(一般 3~5 层), 单层厚度 3~5 m, 最大 12.49 m, 地质构

备注: 本文原载《煤炭学报》2015 年第 8 期, 收入本文集时有修改。

基金项目: 国家重点基础研究(973)计划(2013CB227901); 陕西省科学技术推广计划(2011TG-01)。

作者简介: 范立民(1965—), 男, 教授级高级工程师, 2015 年获得李四光地质科学奖, 从事矿山环境地质工作。E-mail: 498518851@qq.com。

造简单,易于开采,当前开采的区域煤层埋藏较浅,一般为100~300 m。萨拉乌苏组、烧变岩两个含水层是区内仅有的具备供水意义的含水层,位于煤层之上,高强度开采会不可避免地破坏含水层结构,必须实行保水开采(保水采煤)。

水文地质工程地质条件研究是保水采煤的基础,作者在系统研究萨拉乌苏组含水层、岩土隔水层、烧变岩含水层和煤层的赋存分布特征基础上,将榆神府矿区水文地质条件分为四类,即孤立局部富水小型含水盆地(神东矿区大柳塔~石圪台一带)、无土层隔水层大型含水盆地(榆神矿区一期规划区东部和二期规划区)、含水层和岩土隔水层稳定发育的含水盆地(榆神矿区一、三、四期规划区)和萨拉乌苏-烧变岩含水盆地(窟野河、秃尾河沿岸地区)。李文平等划分了五种工程地质类型,即砂土基型、砂基型、土基型、基岩型和烧变岩型(砂指萨拉乌苏组松散沙含水层,土、基指黏土与基岩隔水层),并指出砂土基型和烧变岩型覆岩条件下有保水采煤的必要性。以上研究基本圈定了有水矿区 and 无水矿区,并指出在无水矿区鼓励机械化高强度开采,可先行开采,而有水矿区必须实行保水开采。

针对我国赋煤区,彭苏萍等研究了煤炭资源、水资源的分布特点及结构类型,提出了煤矿区水资源保护、科学利用和合理配置的战略路径。

1.2 保水采煤地质条件分区预测

1.2.1 经验公式法

有水矿区是否需要采取保水采煤措施,取决于采煤引起的导水裂隙带是否波及目标含水层。导水裂隙带的研究方法主要有经验公式计算、钻孔实测、模拟等方法,经验公式是基于20世纪80年代前的采矿技术总结的,不适合目前高强度开采条件。因此,一些研究者采用钻探探测、模拟实验和关键层理论研究确定导水裂隙带发育高度及裂隙演变规律,修订了经验参数,为保水采煤地质条件分区提供了技术依据。

1.2.2 三图预测法

2003年9月,王双明、范立民等对榆神矿区一期规划区进行了保水采煤分区研究^①,编绘了萨拉乌苏组含水层等厚线图(确定保水采煤的保护含水层)、2⁻²号煤层顶板隔水层厚度等值线图和2⁻²号煤层开采导水裂隙带发育高度等值线图。据此三图,结合覆岩物理力学性质及采煤方法,判定煤层开采对萨拉乌苏组含水层的影响程度,称为保水采煤的三图预测法,这为保水采煤地质条件分区提供了可行的方法。据此,根据采煤对萨拉乌苏组地下水影响程度,将榆神府矿区划分为四个分区,即贫水开采区、保水限定开采区、可控保水开采区和自然保水开采区。

榆神矿区三期规划区规划环评前,陕西省地质调查院开展了采煤对水资源影响的评价^②。根据综合预测,榆神矿区三期规划区2⁻²号煤层开采的导水裂隙带发育高度平均为采高的26.5倍。据三图预测法,将该区采煤对水资源影响程度分为轻微影响区、一般影响区和严重影响区。

按照预测结论,严重影响区,不仅会诱发突水溃沙矿井灾害,还会使水体、湿地面积持续萎缩,地下水位下降幅度较大。为此,国家发改委修改了榆神矿区三期开发规划,现阶段只批准建设位于轻微影响区的小保当一号煤矿,待取得保水采煤技术参数后,再研究其他井田是否开发以及开发方案,已投产的隆德煤矿要采用保水采煤技术。

2 基于含水层保护的保水采煤实践

20世纪80年代,淮南矿区为了保护淮河河堤,进行了系列探索和工程实践,旨在抑制采煤工作面导水裂隙带发育高度,实现水体下安全开采,是我国较早被动“保水采煤”的矿区之一(袁亮等,

^①王双明,范立民,杨宏科.榆神矿区保水采煤综合研究,陕西省煤田地质局,2003-9。

^②王双明,范立民,张晓团,林平选,申涛,张红强.榆神矿区三期规划区采煤对水资源影响的研究,陕西省地质调查院,2012。