



安全高效矿井建设与开采技术

—— 陕西省煤炭学会学术年会论文集 (2010)

主 编：张少春

副主编：肖永福 范立民 赵生茂

煤炭工业出版社

安全高效矿井建设与开采技术

——陕西省煤炭学会学术年会论文集（2010）

主 编 张少春

副主编 肖永福 范立民 赵生茂

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

安全高效矿井建设与开采技术——陕西省煤炭学会
学术年会论文集 (2010) / 张少春主编. --北京: 煤炭工
业出版社, 2010

ISBN 978-7-5020-3723-9

I. ①安… II. ①张… III. ①煤矿开采-文集 IV. ①
TD82-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 183828 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 880 mm × 1230 mm¹/₁₆ 印张 25¹/₂

字数 749 千字 印数 1—600

2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 6533 定价 65.00 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

前言

陕西省煤炭资源丰富,全省资源总量 3850 亿 t,居全国第 4 位;探明的资源储量 1700 亿 t,居全国第 3 位,其中灰分低于 10%、硫分小于 1% 的优质煤炭资源量占全国同类资源量的 50%,居全国首位。国家规划建设的 13 个大型煤炭基地,陕西有 3 个;国家规划的 98 个矿区,陕西有 11 个。国家能源工业“十一五”规划重点建设的 6 个矿区,陕西有 3 个;国家煤炭工业“十一五”规划重点建设的 8 个矿区,陕西有 3 个。陕西已成为国家能源战略西移的三大省区之一,即陕西、蒙西、山西。

近 10 多年来,陕西煤炭工业战线的广大科研工作者、工程技术人员,坚持科学技术为生产建设服务的方向,认真实践科学发展观,坚持产学研相结合的科研之路,在科技创新、技术装备进步等方面取得了丰硕成果。一是在矿井建设立井井筒施工中全深(578 m)冻结、井壁单双层结构支护技术取得突破,井筒冻结法施工月进 123 m,解决了井筒通过白垩系洛河组砂岩强含水层的难题。二是复杂围岩环境大断面斜井井筒掘进与支护技术取得突破,在利用 FLAC 数值分析、相似材料模拟实验研究复杂围岩变形和破坏机理的基础上,提出了“锚(索)网喷+管棚+预注浆”耦合支护方式,解决了复杂围岩、涌水量大($100\text{ m}^3/\text{h}$)、大断面(23.3 m^2)斜井井筒支护问题,最高月进度达到 100 m,居国内同类施工条件的领先水平。三是“三软煤层”(顶板软、底板软、煤层软)巷道掘进支护技术取得突破,即采用“锚(索)网喷、锚网梁、锚(索)网注”耦合支护技术,解决了“三软煤层”巷道和大跨度煤巷支护难题,为渭北矿区石炭二叠纪煤层综采工作面长距离推进创造了条件。四是大采高一次采全高(3.5~7 m)综合机械化开采技术取得突破,使建设年产千万吨及其以上规模的特大型矿井有了技术支持。五是高瓦斯、易自燃、特厚煤层综合机械化放顶煤开采技术的突破,为焦坪、彬长、永陇矿区建设安全高效矿井提供了技术保证。六是渭北矿区“三软煤层”综合机械化开采技术研究成功,使渭北老矿区焕发出新的活力。七是薄及极薄煤层(0.5 m 左右)综合自动化和机械化开采实验研究成功,促进了陕北矿区优质薄煤层和子长矿区稀缺煤种的开发利用。八是韩城矿区通过研发大功率、高强度薄煤层滚筒采煤机,利用区域性开采解放层的实验研究,既初步解决了长期困扰矿井安全生产的煤与瓦斯突出问题,又满足了综采工作面快速推进对掘进速度的要求。九是“三下”煤层综采放顶煤开采技术和条带协调开采技术的突破,保证了彬长矿区泾河下特厚煤层和韩城、澄合矿区奥灰水带压煤层的安全开采。十是对陕北生态环境脆弱区、水源保护区、臭柏保护区的保水采煤、绿色开采、煤与瓦斯同采技术,进行了积极探索并取得长足的进展。十一是“现代化矿井综合技术”理论研究取得重要成果,首次科学地界定了现代化矿井概念及其内涵,建立了现代化矿井技术经济指标体系,对现代化矿井建设走上科学化的轨道起了积极推动作用。

陕西煤炭工业矿井建设、开采技术的进步,技术装备水平的提高,有力地推动了安全高效矿井建设,加快了陕西煤炭工业现代化进程,实现了跨越式发展,煤炭产量由1995年的3853.45万t,增加到2009年的29600万t,居全国第3位,2010年有望突破3.4亿t;百万吨死亡率由1995年的7.266,下降到2009年的0.115,居全国第1位,实现了由煤炭资源富省向煤炭产量大省的历史性转变。然而,陕西省煤炭工业发展仍面临着诸多严重的挑战:一是煤炭产量大省向煤炭经济强省转变、煤矿企业由生产型向安全效益型转变,任务艰巨;二是保水采煤、绿色开采、煤与瓦斯同采技术的工程实践研究有待进一步深化;三是煤与瓦斯突出机理理论研究尚需突破;四是管理创新滞后于技术装备进步,造成的综采放顶煤开采、“三软煤层”综采开采工作面开机率低、单产低、效率低的局面急需改变;五是陕西煤炭行业急需建成现代化示范矿井,推动煤炭工业的现代化建设;六是部分中小煤矿落后技术装备需要技术改造升级,特别是适应中小煤矿浅埋深薄基岩厚松散层煤层顶板控制技术急需要突破……因此,陕西煤炭工业战线的科技工作者任重道远,尚需一如既往的探索创新,为实现陕西煤炭工业现代化作出更大贡献。

《安全高效矿井建设与开采技术——陕西省煤炭学会学术年会论文集(2010)》比较集中地从不同层面反映了陕西省煤炭工业近10多年来安全高效矿井建设和开采技术的创新成果,以期引起全省煤炭行业各级领导、科研工作者和工程技术人员的关注与借鉴。

本次征文得到了全省煤炭行业各级领导、科研工作者和工程技术人员的大力支持和热烈响应,2010年1月5日至6月30日共收到论文105篇,经专家评审,69篇入选论文集。

论文集的出版得到了陕西省煤炭科学研究所、陕西彬长中达集团公司、陕西煤业化工集团、西安科技大学、黄陵矿业公司、澄合矿业公司、彬县煤炭有限公司的大力支持,编委会成员参加了论文的征集和审阅工作,评审委员会专家对论文进行了认真公正的评选,在此一并致谢!

陕西省煤炭学会理事长

高 强 民

2010年8月

目次

综 述

科学采煤在陕西	石平五 (3)
浅论加快晋陕蒙宁煤炭基地建设	高新民 (11)
煤炭绿色开采与可持续发展	黄庆享 (14)
矿区三下开采安全性评价与计算机仿真方法	余学义 (20)

矿井建设与巷道支护

崔家沟煤矿软岩巷道变形破坏机理及支护研究	闫光准 杨相海 张 杰 冯耀挺 (27)
大断面松软煤层掘进锚网索支护推广应用	席联校 (32)
下沟矿厚煤层锚杆支护实践	于 峰 尹润生 毛增雪 李 磊 (37)
软岩巷道合理支护参数理论分析与研究	尹润生 刘宝振 (44)
煤巷复合顶板支护优化技术	李团结 (48)
注浆加固及管棚支护在巷道过破碎带时的应用	王苏健 高卫乾 张顺新 (53)
煤矿井筒涌水及注浆治理技术	李振林 冯耀挺 王西才 赵富强 (55)
采区煤仓安全快速施工技术	黄永安 党春才 李正虎 (60)
关于新建矿井建设标准的思考	朱周岐 (65)
煤矿巷道底鼓对“薄板理论”的验证	陶勇俊 陈 默 (69)
复合顶板条件下巷道合理层位模拟与应用	戴耀辉 (74)
榆家梁煤矿合理工作面长度及煤柱宽度研究	杜善周 丛 利 (78)
柳海煤矿副井续建凿井布置方案及 CAD 软件的运用	陈勇刚 (82)

开采技术及设备

浅埋煤层覆岩采动隔水性与保水开采分类控制	黄庆享 (89)
浅埋坚硬煤层 6.0 m 大采高关键装备参数优化确定	郭佐宁 黄永安 党春才 刘韩勇 (95)
巨厚黄土层覆盖区铁路下采煤实践	党红星 黄庆享 (101)
较薄煤层综采工作面设备选型配套研究	王建文 张科利 (107)
急倾斜厚煤层长壁开采模拟研究	黄庆享 黄克军 刘素花 (114)
泾河下特厚煤层综放开采覆岩破坏高度实测研究	尹润生 刘宝振 (121)
国产 6 Mt/a 综采成套技术装备的特点及应用	徐建军 姚技军 权学利 (127)
极薄煤层长壁开采围岩稳定性分析	张少春 (137)

哈拉沟大采高加长综采工作面矿压规律研究	周海丰	黄庆享 (142)
6.5 m 特大采高压支架设计	王建文	张科利 (146)
浅埋煤层局部充填开采的地表移动规律模拟	黄庆享 刘素花 张 沛	黄克军 (152)
大佛寺坚硬顶煤预裂弱化爆破技术应用	段王栓 刘沛林 孙斌建	李 斌 (156)
浅埋煤层保水开采参数优化试验研究	王怀贤	邵小平 (161)
浅埋煤层合理支护阻力实测统计分析	苗彦平 郭佐宁	黄永安 王碧清 (168)
浅析综放工作面煤炭损失构成及提高采出率的途径	胡建军	李万仕 (172)
大采高综采工作面煤壁片帮分析与预防	雷志锋	陶勇俊 (179)
薄煤层开采覆岩运移模拟实验研究	张少春	邵小平 (182)
朱家河煤矿轻型综采支架放顶煤采煤方法研究	康录安 奚录民	李 昊 (187)
6 Mt/a 综采配套设备的闭采及回撤实践	毛明仓	王龙成 (190)
张家峁煤矿 15201 试采工作面矿压规律研究	王碧清 黄永安	苗彦平 (194)
榆阳煤矿 2301 综采面初采期间顶板管理		李保仁 (201)
浅埋煤层大采高工作面回撤挂网技术研究	黄永安 张建国	苗彦平 (205)
瓦斯综合抽放技术在下沟煤矿的应用	于 峰 张建设	黄玉玺 (209)
岩石高抽巷在高瓦斯易自燃煤层综采面的实践	原德胜	何建华 (213)
董家河煤矿底板注浆加固实践		齐蓬勃 (217)

矿 井 地 质

生态水位保护——西部地区科学采煤新思路	王双明 范立民 黄庆享	杨泽元 (223)
萨拉乌苏组含水层水文地质特征		蒋泽泉 (234)
榆神矿区煤层特征及保水开采地质条件	王永岩 王彦利 王世坤	王旭升 (239)
彬长矿区瓦斯地质规律研究		申 涛 (246)
彬长矿区煤层气赋存特征及开采前景分析	刘会彬 尹润生 安俊孝	王 飞 (252)
影响采煤工作面瓦斯涌出量的地质因素	刘小平 范立民 张普选 高 午	王 英 (257)
综采工作面瓦斯治理技术与实践		武光辉 (262)
矸石堆自燃火灾的综合防治技术	麻云飞	白如鸿 (266)
中小煤矿“三图”管理存在问题及对策		郝 君 (269)
王村煤矿 5 号煤层厚度变化规律及影响因素	安秀煜 丁天瑞 王 英 王 君	杜飞虎 (272)
论“软岩”及其成因		李全德 (276)
杨伙盘煤矿防治水技术研究		白如鸿 郝 君 (281)
澄合矿区矿井水害及防治	杜飞虎 叶东生 屈永利	齐蓬勃 (285)
河流下采煤技术分析与防治水措施	姜进楼	冀永安 (291)
采煤工作面老采空区积水释放工程	王社荣 卫兆祥 刘毓喆	褚俊洁 (295)
火石咀煤矿综采放顶煤开采防治水研究		苗和坤 (301)
综放工作面浅部采空区的探放水方法与实践	李光庆	李文辉 (305)
榆神矿区平面坐标系统的优化	李保平 王国柱 高佑民	张红强 (310)
地表岩移规律与采煤工作面倾向长度关系	张东风	姜进楼 (316)
煤层火烧区地震勘探研究	王宏科 王建文 孙秀容 夏学礼	崔若飞 (320)
厚黄土地形复杂山区浅埋煤层采空区的探测技术研究		李林元 (325)

高密度电阻率法在顶板基岩含水层厚度探测中的应用 牟 平 霍军鹏 侯彦威 (331)

其 他

强潮汐对煤矿安全生产的影响 苗霖田 吕婷婷 (337)

岗位价值精细管理在黄陵矿业公司的应用探索 杨宗义 肖永福 (343)

陕西主要煤矿区水文地质勘查现状及建议 傅宏科 (346)

对建设高产高效矿井的认识 闫光准 (350)

安全高效矿井本质安全型建设探讨 肖永福 杨宗义 (354)

附 录

附录 1 陕西省煤炭系统科技工作者荣誉录 (361)

附录 2 国家科学技术奖 (363)

附录 3 省（部）级科学技术奖 (366)

综 述

科学采煤在陕西

石 平 五

[西安科技大学 能源学院, 陕西 西安 710054]

摘 要 科学采煤是关系到我国煤炭工业健康发展的指导方针。本文结合陕西省煤炭工业发展现状,着重分析了长壁综合机械化采煤发展现状,提出必须根据煤层赋存条件和环境承载能力确定合理的开发强度;综采放顶煤开采的关键是必须进行本质安全开采研究;小煤矿开采方法需要规范化和提高机械化水平,以及总体提高我国煤炭资源采出率等问题。

关键词 科学采煤 长壁综采 放顶煤 本质安全 规范化 采出率

科学采煤的倡导者钱鸣高院士在“煤炭产业特点与科学发展”中,提出科学采煤的5个主要方面:煤炭生产机械化、煤炭生产与环境保护、矿井矸石与利用、煤矿安全生产和提高资源回收率。钱鸣高院士认为煤炭开采科学技术的主要体现,一是安全生产,二是提高资源采出率,三是保护环境,四是机械化开采以提高效率。若不在这些方面进行管理,必然不是科学采矿,而是在利益驱动下的野蛮采矿。

在1998年国家提出“西部大开发”战略时,出于对西部煤炭发展的认识,我们就提出了建设西部“绿色矿区、高效矿区、安全矿区、数字矿区”。但是,这十六个字涵盖的内容实在是太大了,远远不是从事煤炭开采的人所能办到的。一个矿区就是一个“城市”,不仅有煤矿,还有各行各业,要实现绿色矿区显然不仅仅是控制煤矿开采所能办到的。而钱鸣高院士提出的“绿色开采”就准确的多,实质就是开采应不以损害环境为代价。近年来,科学采煤在陕西省有着实实在在的发展,本文就这些问题,结合国内外在这些相关领域的发展研究,谈一些自己的看法。

1 全面提高长壁综采的科学开采水平

从1954年英国装备了世界上第一个综合机械化采煤工作面,长壁综采在世界上发展了半个多世纪,已经成为煤矿开采的本质安全技术。发展长壁开采的早中期,也是煤炭科学研究异常活跃的时期。1975年联邦德国出版的《Praxis der Gebirgsbeherrschung》一书,系统地总结了德国埃森采矿研究公司的“矿井支护与岩石力学研究所”在煤矿岩层控制领域作的大量研究工作。其中,提出了不同于长壁工作面“三量”观测(支架载荷、支柱下缩量、顶底板移近量)的顶板垮落洞穴率观测方法。O. 雅各毕认为,长壁工作面支架支护的目的,就是要把冒顶限制到最低限度,衡量支架效果的尺度是“冒顶”。我国发展综合机械化采煤的初期实践也表明,控制顶板的关键就是防止工作面端面的破坏,因而选择支架不仅仅要有足够的工作阻力,更重要的是对端面无支护空间顶板的有效支护。美国从20世纪60年代初引进长壁开采技术,到80年代初有长壁工作面100多个。美国的长壁工作面多位于浅部(91~274 m),而欧洲则位于深部(610~1219 m)。美国和欧洲的经验表明,在美国支架承受的载荷相当于8~12倍煤层厚度的岩层高度的重量,而在欧洲则为2~5倍。可见美国早在20世纪80年代初已经总结出长壁开采浅部煤层,需要比开采深部煤层更大的工作阻力,才能有效控制顶板。美国现有在用长壁系统69套,在用工作面平均长度251 m,最长的工作面在AEP的梅格斯诺斯号矿和31号矿,达到335 m。《煤时代》的长壁调查表明,美国每套长壁工作面每班生产能力为2722~13608 t。

前苏联是对采矿科学发展作出贡献最大的国家,列宁格勒矿业学院曾经培养出的B.博基(1902)、M.普罗托基亚可诺夫(1907)是矿山压力学科的奠基人。A.鲍里索夫1980年出版的“МЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД И МАССИВОВ”,反映了列宁格勒学派关于长壁开采岩层控制的理论。书中论述了长壁开采基本顶的“板”破断力学过程,稳定运动状态中直接顶与基本顶的相互作用,支架与围岩相互作用的原理等矿山压力的原理与计算方法。A.鲍里索夫认为,由于矿山地质条件的多样性和复杂性,以及采场回采工艺的方式不同,所以顶板岩石、煤层、底板和支架可形成各种不同的力学系统。在回采工作面推进的过程中,这种力学系统发生着变化。因而,使支架的工作条件也在改变。绝大多数的情况,在这种力学系统中,顶板的工作特性具有主要的作用。研究“支架-围岩”相互作用的目的,就是要对支架优化选型或设计。

陕西省是我国发展综合机械化采煤较早的省区之一,1974年我国引进英德43套综合机械化采煤装备,就在铜川东坡和鸭口煤矿计划各使用一套。东坡还未使用,就由于地质条件复杂而调走,鸭口由于垛式支架反复支撑,造成顶板极度破碎,未能取得较好的效果。从1975年开始,煤炭科学研究总院在铜川金华山煤矿研究试验3.5 m厚煤层一次采全高掩护式液压支架,最后取得成功。也充分说明,发展掩护式类型的液压支架是今后的主要方向,保证端面控制,有效的支护强度是关键技术。可以说,我国发展综合机械化采煤的初期,陕西煤矿就做了一定的工作。

近年来,我国煤矿发展高产高效的重要经验之一,是以高阻力、大功率、数字化自动控制、高可靠性的装备支持工作面高速长距离推进,神东公司走在了发展的前列,创造了奇迹。2006年榆家梁煤矿360 m超长工作面单产达到了1633万t。在神府、榆神矿区的大型煤矿,综合机械化采煤工作面支架阻力一般都在8400 kN/架以上,工作面日产都在万吨以上。煤炭科学研究总院开采分院在黄陵矿区试验的全套国产大采高6 Mt/a综采装备,也取得了成功。这一切说明,陕西省综合机械化采煤,整体水平达到国际先进、国内领先。

应该看到,神东模式首先是有先进的科学发展观和先进的管理思想,但是得天独厚的煤炭赋存条件也是其能达到世界先进水平的自然条件。渭北矿区要找到布置长度300~400 m的工作面,就不太可能。高产高效开采必须有可靠的地质保障系统,中国矿业大学韩德馨院士和彭苏萍教授提出,高产高效矿井地质保障系统是根据高产高效矿井机械化、集中化程度高的特点,以地质量化预测为先导,以物探、钻探等综合技术为手段,并依托先进的计算机技术实现生产地质工作的动态管理。它要求为矿井设计、采区布置、生产准备、采面布置到回采等各个层次或阶段提供可靠的地质保障。因此,要实现煤矿生产的高产高效,除选择优势资源区块为开采场地外,更重要的是对影响煤炭开采的地质因素有系统和清楚的掌握。

需要指出,并不是所有的矿区和矿井有了得天独厚的条件,就都能创造世界纪录。依赖于一定的煤层赋存条件,一个矿区必须有一个合理的开发强度,也决定了工作面应有一个合理的生产能力,才能获得最佳的经济效益。王双明、范立民、杨宏科在“陕北煤炭资源可持续发展之开发思路”中,指出了陕北煤炭资源的主要特点及开发引起的环境问题,从生态环境保护角度探讨了矿区开发的可持续发展问题,认为应该坚持统一规划、合理布局、适度规模、分散开发、就近转化、保水采煤的开采总方针,坚决杜绝小煤窑滥采乱挖,组建大型集团公司统一开发,做好煤炭液化、气化、水与煤关系的研究工作,确保矿区经济发展与生态环境相协调。煤炭开采也要注意人与自然的和谐共存,夏玉成教授在“构造环境对煤矿区地表环境灾害的控制作用”中指出,在不同构造环境下,同样强度的地下采矿活动在地表所造成的环境灾害现象是有明显差异的。在不同构造条件的煤矿区,地质环境的抗扰动能力不同,因而对地下开采的承载能力也就不同。抗扰动能力强的煤矿区可以承受较大的开采强度,而抗扰动能力差的煤矿区,同样强度的地下开采,就会导致严重的地表损害甚至环境灾害。从这个意义上说,与地下采矿有关的煤矿区地表环境灾害,源于采动,但其形式与发展受控于构造环境。

长壁开采应该提升到一个新的科学平台,进行开采环境评价以保证合理的开采强度,不应损害地表环境。对于陕西省其他煤矿区,现阶段应该是在学习神东经验的基础上,以发展现代化开采为目

标,发展适用的机械化采煤。关键技术问题是,在对主要煤矿区开采地质环境评价的基础上,研究长壁开采的围岩破坏演化规律,确定岩层控制的关键问题,选择适用可靠的支架。重点突破薄煤层综采,逐步淘汰单体支柱采煤。韩城矿区和子长矿区,近两年在机械化开采薄煤层已经有了重大突破。

2 研究综采放顶煤的本质安全开采问题

综采放顶煤是我国20世纪80年代从欧洲引进的现代采煤方法,经过20多年的发展,已经成为我国自主创新的高产高效煤炭开采技术。特别是以吴健教授为课题负责人的国家自然科学基金重点项目——“厚煤层全高开采方法基础研究”的完成,标志着放顶煤开采科学理论体系的创立和进一步完善。但是,2002—2005年我国发生的一些煤矿重特大事故,有不少是在放顶煤开采工作面(如陈家山),因而在业界再次引起了对这种采煤方法的讨论。特别是,国家安全生产监督管理局对《煤矿安全规程》第68条的修改,在很大程度上,对这种采煤方法的发展作了一定的限制。

从现代放顶煤技术引入我国开始,就一直存在着不同看法,而且在我国最初发展的10年,也是放顶煤技术在国外应用逐渐减少的10年。这是由于放顶煤开采采出率较低,一般不到70%,致使采空区留有大量残煤,易成为自然发火源。厚煤层采全厚必然导致瓦斯涌出量的增加,瓦斯容易升至采空区上方,工作面进回风顺槽在工作面下部,仅靠加强通风并不能有效稀释瓦斯。一次采出厚度的成倍增加,导致地表沉陷的加剧,而20世纪后期控制矿区地表沉陷已成为许多国家保护环境的法律法规。

出于我国煤炭赋存和煤炭工业发展实际状况,放顶煤开采技术很快在我国得到发展。原煤炭工业部总工程师尚海涛和中国矿业大学吴健教授认为,厚煤层综采放顶煤开采技术历经近半个世纪的探索、试验,几经周折,现在已经成为一种成熟的、安全高效、先进的采煤方法,从而使厚煤层的开采进入了一个新的发展时期。1990—1992年以后,我国综放开采技术的发展进入第二阶段,即成熟阶段。成熟的标志是我国综放开采技术走上了独立发展的道路,不仅创造了超出分层综采的技术经济指标,并且在装备上,特别在放顶煤液压支架的研制上摆脱了仅靠引进国外技术发展的模式,取得了突破性的进展。煤炭科学研究总院副院长宁宇在“综放开采技术回顾与展望”中指出的,经过20年的研究,在技术理论研究领域,在顶煤运移规律、顶煤冒放性分类、顶煤破碎机理、顶煤冒放规律计算机仿真、放顶煤专家系统、放顶煤的适应性、综放采场瓦斯运移规律、综放开采覆岩破坏及地表移动规律等方面的研究成果,为综放开采技术的发展提供了科学依据。

国家自然科学基金委员会在(2006—2010)“学科发展战略研究报告”、“矿产资源科学与工程”中指出,放顶煤已经成为我国开采5 m厚煤层的主要方法,并且工作面年产达到6 Mt的水平。我国已经研制出了几种主要型号液压支架,在采煤和放顶煤工艺、矿山压力与岩层控制、瓦斯运移规律与抽排措施、巷道与采空区火灾的防治等方面,取得了重要的研究成果。

对待我国自主创新的现代放顶煤采煤方法,不应该限制,而应该在科学发展观的指引下,科学地发展。陕西省广泛赋存着特厚煤层,综放一直在应用。当务之急是,进一步进行放顶煤本质安全开采技术体系的研究。

多年来,一些矿区从厚煤层开采实际需要出发,结合本矿区的瓦斯、火灾、冲击地压等问题进行了研究和实践,成功地发展了放顶煤开采技术。如令想定在“靖远矿区采煤方法改革回顾”中,回顾了靖远矿区20年来综放开采技术在双突矿井、高瓦斯矿井、大放高坚硬煤层中的突破和创新。魏家地煤矿是靖远矿区唯一的一对立井开采的大型矿井。由于该矿煤层具有煤与瓦斯突出危险性,煤层松软易燃,采煤方法一直未得到解决。结合魏家地矿井条件,在瓦斯防治方面以预抽和排放煤层瓦斯为重点,工作面在开采前煤层瓦斯抽排率达到48.88%,残余瓦斯压力降到0.15 MPa,排除了突出危险。在生产过程中,成功地应用了“二进二回”的顶、底板通风系统;在放顶煤工作面巷道火灾防治方面,采取了以充填高冒区为主,喷涂巷道周边为辅的综合技术,成功地防治了巷道架顶与周边煤炭自然发火;采取以注氮为主,随采随灌浆为辅的综合技术,有效防治了采空区煤炭自燃,为安全生

产创造了良好的工作环境；在回采工艺上进行改革。试验期间平均月产 63631 t（最高 7 万多吨），直接工效 32.63 t/工，直接成本 11.07 元/t，平均采出率 84.7%，无重伤以上安全事故。“放顶煤工作面瓦斯治理的新途径”一文，反映了郑煤集团所属矿井采用放顶煤采煤方法开采 2 号“三软”不稳定厚煤层时，工作面瓦斯涌出特点及采取的对策。提出要想彻底解决工作面回风流及上隅角处瓦斯超限问题，必须从疏导采空区瓦斯入手进行分源治理。即利用瓦斯排放巷来分流采空区内的瓦斯，以达到降低回风流和上隅角附近瓦斯涌出的目的。许胜铭等在“河南省放顶煤开采方法的技术创新”中指出，在瓦斯治理方面，主要采取了开采解放层（即预采顶分层）或开掘顶板排放瓦斯专用巷的方法。高瓦斯煤层预采顶分层，可充分释放下部煤层中的瓦斯，为底层放顶煤开采创造有利条件，解决了底层放顶煤产量高、瓦斯涌出量大的问题，消除了瓦斯事故隐患。

一些学者研究了放顶煤开采的相关瓦斯问题，如赵玉岐、吴健、张勇在“放顶煤开采煤与瓦斯突出煤层的探索”中，通过理论分析表明，放顶煤开采技术与分层开采技术相比，并不增加工作面的突出危险性，高瓦斯突出煤层的放顶煤开采是一个需要认真研究的课题。煤与瓦斯突出煤层的放顶煤开采不应由法规来禁止，而应通过大量的科学实验推动技术进步，达成工作面生产的安全高效。他们认为，综放开采可减小煤与瓦斯突出的危险性。李树刚、石平五、钱鸣高在“覆岩采动裂隙椭抛带动态分布特征研究”中，针对综放开采富含瓦斯厚煤层条件下，分析了采动后覆岩关键层活动特征对裂隙带分布形态的影响，首次提出上覆岩层中破断裂隙和离层裂隙贯通后在空间形成椭抛带分布，为合理确定瓦斯抽放方法及参数提供了理论依据。论文指出，覆岩主关键层对椭抛带的形成有重要影响，当关键层只控制弯曲下沉带岩层时，覆岩采动裂隙带是曲面轮廓较为连续的椭抛带，而当主关键层切割椭抛带后，整个裂隙带呈椭球台状，充分采动下椭抛带可能不存在，但层面上的椭圆裂隙区仍有展布。走向高抽巷布置在覆岩采动裂隙带内可充分抽排运移和聚积于此带的瓦斯；抽放钻孔终孔位置打在椭抛带内可有效抽放瓦斯，解决综放初期瓦斯严重超限问题。王义江、杨胜强、许家林等在“阳泉三矿大采长综放工作面瓦斯涌出特征分析”中，指出大采长综放工作面单位时间内瓦斯涌出量增大，经常造成工作面回风隅角和回风巷瓦斯浓度超限。通过分析综放工作面瓦斯涌出源，可以了解其瓦斯涌出特征。通过对阳泉三矿大采长 K8206 综放工作面初采期和回采期的瓦斯涌出规律的分析可知，初采期瓦斯涌出量具有大幅度波动性，其原因主要为采空区瓦斯不断地、周期性地涌入，正常回采期，只要高抽巷的抽放负压足够大，邻近层瓦斯涌入工作面的问题就能解决，而大采长综放工作面本煤层瓦斯涌出量增大，则需要增加通风量或者采用新的通风方式。许家林还提出了“O”形圈，对上覆岩层采动裂隙分布特征进行了研究。揭示了长壁工作面覆岩采动裂隙分布的两阶段特征与“O”形圈特征，建立了卸压瓦斯的“O”形圈抽放理论，并将其应用于淮北矿区卸压瓦斯的抽放，取得了显著效果。

应该说，从放顶煤技术应用开始，现场领导和技术人员、科研院所和高等院校的专家教授就进行了大量的研究，取得了丰硕的成果。特别是我国放顶煤的现场实践，丰富了世界厚煤层开采技术。问题是放顶煤技术在我国发展仅仅 20 年，对这种开采方法能否达到、怎样达到本质安全开采的系统研究不够。放顶煤开采的矿井发生了瓦斯爆炸，它与放顶煤开采技术有无关系，是怎样一种关系，还没有见到系统的研究报告。我国发展放顶煤开采之前，也发生过多瓦斯爆炸。但是，采用放顶煤技术后，随着一次采出煤炭的增加，瓦斯量显然增加，增加了排出瓦斯的困难。科学的态度，应该是积极开展科学研究，使现代放顶煤采煤方法能够实现本质安全开采。

自然发火造成的火灾一直是困扰特厚煤层煤层开采的重大灾害，结合放顶煤开采的实践，也进行了大量研究。中国矿业大学罗新荣副教授和东滩煤矿总工程师张迎第等撰写的“采场自然发火危险预测方法与控制原理研究”，提出综放面无煤柱开采的邻近老空区漏风及自然发火危险大，应在漏风源处注氮，配合堵漏和均压措施，彻底惰化漏风源。罗海珠、梁运涛、吕国金在“高瓦斯易燃特厚煤层综放开采自燃防治技术”中指出，煤层自然发火防治是综合机械化放顶煤开采过程中的一大技术难题，而自然发火期较短富含瓦斯的特厚煤层则尤为严重。以中国抚顺煤田为研究对象，分析了瓦

斯抽放与自然发火的一般关系,总结了综放开采自然发火的常用防治技术。

文虎、徐精彩、阮国强等根据在兖州矿区的实践,认为由于综采放顶煤技术一次性开采强度大,端头支架处顶煤放出率低(有的不放),采空区遗煤量较多,顺槽沿底板掘进等原因,使得煤层自然发火几率增高,矿井自燃火灾事故增多。而采用了在凝胶防灭火技术基础上发展而成的新型灭火技术——复合胶体防灭火技术,有效地防治了发火。马砺、宋先明、文虎等在“超长综放面煤层自燃火灾防治技术研究”中指出,兖矿集团有限公司在兴隆庄煤矿实施“6 Mt 超长综放面配套技术”项目,工作面产煤量从4 Mt/a迅速上升到了6 Mt/a,工作面面长突破300 m,这对减人提效、大幅度降低原煤生产成本、实现高度集中生产具有十分重要的意义。但超长综放面的开采给煤层自燃火灾防治带来了一系列新的问题,主要体现在:采空区尤其是工作面“两道两线”丢煤多、上下顺槽采用锚网支护,顶煤难以垮落,向采空区漏风严重,工作面推进速度降慢(约3~6 m/d),采空区浮煤自燃的危险性增大;采空区“三带”分布规律发生变化,自燃危险区域范围加宽;采空区防灭火区域增大,一旦浮煤有自然发火的迹象,自燃火源将迅速发展,危及整个矿井的生产,相对于其他综放面灭火难度更大,现有防灭火技术难以快速有效地扑灭采空区火源;采空区垮落高度和空间体积增大,火源位置的不确定性、隐蔽性给防灭火造成极大的困难,现有的各类防灭火方法如黄泥灌浆、注阻化剂等常规灭火措施难以满足防灭火的要求。为了保证工作面的稳产高产,必须研究一套可靠的防治煤炭自然发火技术。通过超长综放面的自燃影响因素的分析及现场观测划分了超长综放面的危险区域,建立了超长综放面煤层自燃火灾综合防灭火技术,并对4324 超长综放面煤层自燃进行了成功的治理,保障了工作面的安全生产。

从发展应用放顶煤技术以来,国家科技和煤炭主管部门、省市区科技和煤炭主管部门以及应用放顶煤的煤炭企业,都进行了大量的科学研究,也取得了不少成绩。目前,我们需要从更高的层次、从宏观的角度对放顶煤本质安全开采进行研究,其中包括:放顶煤开采后瓦斯聚集和发生灾害的机理,与一般长壁开采究竟有什么不同的特点;研究放顶煤开采自然发火的特征,与厚煤层分层开采有什么不同。当然,还需要进一步研究降低粉尘、提高采出率的科学途径。

3 规范小煤矿采煤方法

国家安监总局原局长李毅中在全国小煤矿安全基础管理工作现场会上讲话指出,20 世纪 80 年代初国家放宽办矿政策,提倡“国营、集体和个人一起上”、“大中小煤矿共同发展”,受“有水快流”的影响,个体煤矿大量出现。原有的集体所有制煤矿通过承包租赁、转让出售、股份改造等方法途径,转变为个体或民营煤矿。1995 年全国乡镇煤矿多达 72919 处,产煤 6.66 亿 t,占当年全国煤炭产量的 48.9%。“九五”期间,由于煤炭市场严重供大于求,国家采取了整顿乡镇煤矿生产秩序、整顿煤炭经营秩序、关井压产等政策措施,小煤矿数量锐减。2002 年之后随着煤炭市场回暖,小煤矿再度复苏发展。2005 年 8 月煤矿整顿关闭攻坚战开始之际,全国共有小煤矿约 2.3 万处。经过近两年的努力,截至 2007 年 6 月底,累计关闭非法和不具备安全生产条件、破坏资源环境、不符合国家产业政策的矿井 9075 处。据统计在建、改扩建小矿约为 3270 处。以上合计,目前全国共有小煤矿 1.7 万处左右。经过整顿关闭之后保留下来的小煤矿,安全生产基础条件总体上得到改善,安全保障能力有所提高。

据美国能源部信息统计局相关资料,1997 年美国商品煤产量 9.886 亿 t,共有煤矿 1828 处,平均矿井单产为 54 万 t;2001 年美国商品煤产量 10.23 亿 t,共有煤矿 1478 处,平均矿井单产为 69.2 万 t;2004 年美国商品煤产量 0.088 亿 t,共有煤矿 1300 处,平均矿井单产为 77.6 万 t。显然,提高矿井生产能力是发展趋势。但是,考虑到美国露天矿井占 60%,井工开采还有数十个年产 1~3 Mt 及以上矿井,显然还有大量的小煤矿。1997 年美国长壁采煤研究中心姜汉信和彭赐灯在“美国煤炭工业近况”一文指出,美国有 1 万~10 万 t/a 井工矿井 344 个,10 万~20 万 t/a 井工矿井 144 个。即 1 万~20 万 t 的小煤矿 488 个,占美国井工矿井的 49.91%。这 488 个小型矿井,以采用传统的采煤

方法为主，也有应用连续采煤机的。需要指出，美国煤矿开采基本上实现了本质安全开采，也包括这些小煤矿。这是由于联邦及各州的安全与健康管理局对其要求与对大矿的要求一样，如开业申请手续，日常生产及安全报表，通风、煤尘、喷洒岩粉、顶板支护标准，都必须符合联邦及各州的安全与健康条例的规定。

美国的所谓“传统采煤方法”与我国传统的“掏洞洞”、“落垛垛”、“倒罐罐”不同，是指房柱式开采法。其开采分为两个步骤：第一步是在采区内开掘出全部平巷和煤房；第二步是回采煤柱。采区有完整的通风系统，巷道采用锚杆支护，回收煤柱在支架保护下作业。王庆一在“美国政府如何管理小煤矿”一文中指出，中小煤矿多是美国煤炭工业的一大特色，它们生产效率高，回采率高，安全事故少，产品质量好。除了得益于优越的开采条件和良好的基础设施以外，政府在资源、安全和环境等方面的有效管理，也起了重要作用。在奉行自由市场经济的美国，政府对煤炭工业的管理，主要是解决市场缺陷和市场失灵的外部性问题，包括资源、安全、环境、社会保障等。煤矿不论大小，都必须一视同仁执行美国与煤炭生产有关的法律法规。

美国对矿长资格规定了很高的要求。煤矿矿长必须上过4年大学，有5年管理经验（井下3年），10人推荐，经考试合格，发给资格证书。美国能源部能源信息署是世界上规模最大、技术最先进、服务领域最广的政府能源信息机构，其主要职能是提供能源资源、生产、需求、技术、经济等信息服务。按照美国《采矿安全与健康法》的规定，联邦政府每年拨款1000万美元，资助小煤矿的安全培训。《采矿安全与健康法》还规定，联邦政府每年拨款6000万美元，用于采矿安全技术研究开发。美国小煤矿的采煤机械化程度达95%以上，用人很少，事故伤亡几率小。

解放后我国煤炭工业系统一直强调和推行长壁采煤法，因为旧社会我国煤矿广泛采用的旧房柱式采煤（“掏洞洞”、“落垛垛”、“倒罐罐”一类）极不安全。很长时间，由于我国处于一种被封闭的状态，没有注意到国际上长壁采煤法发展的同时，房柱式采煤法也在发展，同样可以实现安全高效开采。而实现安全高效开采的途径是：加强对安全和危及矿工健康的法规性管理；发展适用机械提高采煤机械化水平；提高采出率。印度和美国、加拿大、澳大利亚、南非一样，井工开采主要采用柱式体系。印度的R. 芮茨等1984年在第12届世界采矿大会上发表了题为“提高房柱式采煤法产量和劳动生产率的技术途径”，指出房柱式采煤法在印度煤矿已应用100多年，主要是由于印度煤层赋存浅，煤层中厚，顶板坚硬，强度高，具备廉价劳动力和基建费用低等原因造成的。认为发展的重点是：机械化回收煤柱的问题；增加连续采煤机的数量；学习澳大利亚的旺格维里采煤法和美国的短壁采煤法。随着各项作业机械化而完成的一个完整体系，要求达到最佳效果。

小煤矿技术改造的核心是应用适用、安全、高效的采煤方法。2002年陕西省煤炭工业局委托陕西省煤炭科学研究所研究编制了“陕西省小煤矿采煤方法设计方案”，近5年在小煤矿整顿中规范采煤方法、进行矿井技术改造设计，起到了重要指导作用。目前，经过小煤矿整顿，资源整合，需要进一步规范小煤矿采煤方法，发展适用的机械化采煤，提高矿井安全生产程度和煤炭采出率，使陕西省小煤矿开采上升到一个新水平。

近年来，在陕西省煤炭工业管理局的直接组织下，地方与陕西省煤炭科学研究所和西安科技大学合作，对中小型地方煤矿进行系统的研究和试验。在神木县试验了悬移支架，在榆林市榆阳区试验了“窄条带”保水采煤，在延安市试验了薄煤层机械化开采，均取得了初步而显著的成效。

4 大幅度提高煤炭资源的采出率

提高煤炭资源的采出率是和上述三个大问题紧密相关的，随着长壁开采、放顶煤开采和小煤矿开采的科学化、规范化，必然导致采出率的大幅度提高。采出率是衡量科学采煤的重要指标。

我国是世界上煤炭生产第一大国，也是能源主要依赖于煤炭的国家。2009年我国原煤产量达到30.5亿t，占世界产量的35%以上。但是我国的煤炭资源并不“丰富”，人均煤炭探明储量只相当于世界平均水平的50%。我国的煤炭浪费十分严重，首先是煤炭资源的实际采出率很低。据原地质工

业部部长朱训说,我国国有重点煤矿的总体采出率只有30%,国有地方煤矿的总体采出率只有20%,乡镇及个体煤矿的总体采出率只有10%。据李毅中在全国小煤矿安全基础管理工作现场会上的讲话,全国小煤矿资源回收率也只有15%。

国有大中型煤矿长壁开采影响采出率的主要技术因素是,厚度损失、边角损失和局部可采煤层损失。大柳塔煤矿第一个综采工作面——1203工作面,开采 2^{-2} 煤层,平均厚度6.3 m。选用的ZY3500/23/45液压支架,采高控制在4.0 m以内,厚度损失1/3以上;又如上湾煤矿井田东翼盘区回采的 2^{-2} 煤层工作面,煤厚4.83~7.51 m,平均厚度6.03 m,采用旺格维里采煤法,选用的7000/24/45行走支架,支撑高度2.4~4.5 m,厚度损失在1/3左右。据“陕北煤炭资源采出率现状与对策研究”一文中指出,某年产180万t的煤矿,开采煤层平均厚度5.28 m,而陕北目前使用的采煤机械的液压支架最大可开采高度是4.5 m,因此要全部采完5.28 m的煤层,就需要分层开采,势必增加生产成本。因此,在一次性最多采过4.5 m后,其余就成为厚度损失。黄陇侏罗纪煤田的一些矿井,采用放顶煤开采特厚煤层,由于底板软弱,往往留设1 m以上的底煤。

小煤矿采用房柱式采煤的采出率问题,是大家所关注的。其根本问题是缺乏对陕西主要矿区小煤矿开采方法(包括主要开采参数、顶板管理、发展适用机械化)的科学研究。目前,虽然陕西省煤炭工业管理局组织了相关研究,但是由于政府支持力度还不够,系统地规范采煤方法和全面提高采出率的工作仍然任重道远。但是我们要坚信,经过采矿人的不懈努力,一定能够完成。

参 考 文 献

- [1] 钱鸣高. 煤炭产业特点与科学发展 [J]. 中国煤炭, 2006, 32 (11): 6-10.
- [2] 钱鸣高, 曹胜根. 煤炭开采的科学技术与管理 [J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24 (1): 1-7.
- [3] 夏玉成, 石平五. 关于环境变迁和矿业工程环境效应的讨论 [J]. 中国矿业, 2002, (1): 63-66.
- [4] 石平五, 等. 抓住矿山开采关键技术促进矿业城市可持续发展 [J]. 中国矿业, 1999, (8): 176-181.
- [5] 钱鸣高, 等. 煤矿绿色开采技术 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, (3): 343-347.
- [6] O. 雅各毕, 等. 实用岩层控制 [M]. 黄阿毕, 等译. 北京: 煤炭工业出版社, 1980.
- [7] 石平五. 老顶来压过程及矿压显现的动态变化 [C] //第四届煤矿采场矿压理论与实践讨论会论文汇编. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989.
- [8] B. 瑞德. 1997年国际长壁调查 [J]. 东北煤炭技术, 1999, (1): 44-49.
- [9] A. 鲍里索夫. 矿山压力原理与计算 [M]. 王庆康, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 1986.
- [10] 王安. 现代化亿吨矿区生产技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [11] 韩德馨, 彭苏萍. 我国煤矿高产高效矿井地质保障系统研究回顾及发展构想 [J]. 中国煤炭, 2002, 28 (2): 5-10.
- [12] 王双明, 范立民, 杨宏科. 陕北煤炭资源可持续发展之开发思路 [J]. 中国煤田地质, 2003, 15 (5): 7-8, 11.
- [13] 夏玉成. 构造环境对煤矿区地表环境灾害的控制作用 [J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33 (2): 18-20.
- [14] 夏玉成. 构造应力对煤矿区采动损害的影响探讨 [J]. 西安科技大学学报, 2004, 24 (1): 72-75.
- [15] 樊运策. 新世纪中国综放开采技术发展的思考 [J]. 煤炭开采, 2003, 8 (2): 7-9.
- [16] 朱旺喜. 我国综合机械化放顶煤开采新技术获得突破 [J]. 自然科学进展, 2002, 12 (11):