

依托“智能+”打造国内超长工作面开采示范新标杆

伊春 李华玉 李伟

陕西小保当矿业有限公司, 陕西 榆林 719302

[摘要]智能化开采是世界煤炭技术革命的主流方向和我国煤炭企业转型发展的必然趋势,也是“十四五”乃至今后一个时期国家煤炭工业高质量发展的重要支撑,依托“智能+”实现煤炭的高质量开发是智能化开采的目标和可持续发展的内在动力。布置超长工作面可实现三提升和三降低,即绿色开采水平、产能、开采效率的提升和煤炭损失、采掘接替矛盾、成本支出的降低。国外超长工作面成功经验证明增大工作面长度是可行且有益的;受限于装备能力、智能化配置和管理水平目前我国工作面普遍在350m以下,与国际一流水平存在一定差距。根据中厚煤层小采场开采效益较低的现状,针对工作面加长后顶板控制理论与技术、工作面装备配套模式、安全保障技术、装备稳定性和可靠性较低等问题,结合小保当二号煤矿煤层赋存条件和产能目标,研究了超长工作面(工作面长度约450~480m)实现小保当煤矿中厚煤层年产8~10Mt/a的可行性和成套技术、装备与管理,实现工作面“顶板可控可预测”,“水源可控有保护”,“智能开采提效率”,“高速截运创效益”的目标,成套技术与装备达到国际领先水平。

[关键词]智能化;超长工作面;高质量;示范;国际一流

DOI: 10.33142/ec.v4i1.3258

中图分类号: F270.7;F426.21

文献标识码: A

Relying on "Intelligence +" to Build a New Benchmark for Mining Demonstration of Super Long Working Face in China

YI Chun, LI Huayu, LI Wei

Shaanxi Xiaobaodang Mining Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719302, China

Abstract: Intelligent mining is the mainstream direction of world coal technology revolution and the inevitable trend of transformation and development of Chinese coal enterprises. It is also an important support for the high-quality development of national coal industry in the "14th five year plan" and even in the future. Relying on "intelligent +" to realize high-quality development of coal is the goal of intelligent mining and the internal driving force of sustainable development. The layout of super long working face can realize three improvements and three reductions, namely, the improvement of green mining level, production capacity and mining efficiency, coal loss, mining replacement contradiction and cost reduction. The successful experience of foreign super long working face has proved that it is feasible and beneficial to increase the length of working face; limited by the equipment capacity, intelligent configuration and management level, the working face in China is generally below 350m, which has a certain gap with the international first-class level. According to the low mining efficiency of small stope in medium thick coal seam, aiming at the problems of roof control theory and technology, matching mode of working face equipment, safety guarantee technology, equipment stability and reliability, combined with the coal seam occurrence conditions and productivity target of xiaobaodang No.2 coal mine, the ultra long working face (working face length is about 450 ~ 480m) is studied to realize xiaobaodang coal mine The feasibility and complete set of technology, equipment and management system with an annual output of 8 ~ 10 MT / A in medium thick coal seam can achieve the goal of "controllable and predictable roof", "controllable and protected water source", "intelligent mining efficiency" and "high speed cutting and transportation to create benefits" and the complete set of technology and equipment has reached the international leading level.

Keywords: intelligent; super long working face; high quality; demonstration; international first class

1 研究背景及意义

1.1 国内外研究概况

煤炭作为我国主体能源为国民经济的发展做出了巨大的贡献,近年来,煤炭行业化解落后产能,落实新发展理念,推动大基地、大集团建设,推进煤炭工业绿色、智能开发和产业革命对煤炭科技的发展提出了新的更高的要求。智能化开采是世界煤炭技术革命的主流方向和我国煤炭企业转型发展的必然趋势,也是“十四五”乃至今后一个时期国家煤炭工业高质量发展的重要支撑,安全、高产、高效是智能化开采的目标和可持续发展的内在动力。经过近20年的发展,我国相继突破了0.75~9.0m系列化采煤机国产化,液压支架、电液控制系统和自动化控制等核心技术,在条件

较好煤层的初步实现了无人值守、有人巡视的智能开采模式。

美、德等国通过高可靠性、高稳定性、强力装备的研发及应用保证工作面加长。德国杰兰德埃勒矿的工作面长度达到 430m；截至 2018 年 12 月，美国长壁工作面平均长 376.7m，其中 13 个长壁工作面的宽度超过 457.2m，最大长度工作面长度为 Contura Energy 公司的 481.58m；依托超长工作面、高可靠性的装备和智能化开采的应用，美国在平均煤厚 1.8~2.0m 条件下可实现稳定年产 10Mt 以上。国内已完成回采的最长综采工作面为 450m 的哈拉沟煤矿 12[±]101 工作面和济宁二号井 23[±]07 工作面，年产量约 200~300 万吨，与国际先进水平有一定差距。

1.2 研究意义

增加工作面长度可减少煤柱损失、降低巷道掘进率，提高煤炭采出率，是提高工作面产量、提升开采效率、降低煤炭损失的有效途径之一。小保当二号井首盘盘区 2-2 煤厚度 1.9~3.0m，矿井设计生产能力 1300 万吨/年。如果要实现单面达产，布置超长工作面是必然要求。国外超长工作面成功经验证明增大工作面长度是可行且有益的；国内进行了 400m 以上超长工作面初步的探索，取得了一定的成果，但与国际先进水平存在差距，并未大规模推广。

本项成果根据中厚煤层小采场开采效益较低的现状，针对工作面加长后顶板控制理论与技术、工作面装备配套模式、安全保障技术、装备稳定性和可靠性较低等问题，结合小保当二号煤矿煤层赋存条件和产能目标，研究了超长工作面（工作面长度约 450~480m）实现小保当煤矿中厚煤层年产 8~10Mt/a 的可行性和成套技术、装备与管理体系，填补了国内超长工作面高质量开发的空白，可为国内外类似矿井提供示范，创造了新的标杆。

2 智能+顶板运移规律预测，实现矿压显现可控可预警

工作面矿压显现的分析与预测对于 450m 以上超长工作面顶板管理，保证矿井生产安全具有重要意义，是实现 450m 以上超长工作面高效开采的保障。

根据工作面现有地质条件、矿山压力理论、数值模拟等方法 and 数据统计预判工作面老顶初次来压步距、周期来压步距和来压强度。研究工作面加长后会带来哪些区域异常来压，为该区域的顶板管理和卸压，提前准备相关预案提供指导依据。

基于煤层上覆岩层性质、围岩力学参数，结合“关键层理论”及现场实际赋存条件、来压规律，建立超长工作面覆岩层破断模型，分析超长综采工作面覆岩层破断规律。

采用 KSE-III 型钻孔应力监测设备实时监测随着工作面推进过程中采场应力变化情况，结合 FLAC3D 数值模拟技术对采场空间应力环境进行分析研究，为工作面顶板支护、超前支护范围、煤柱宽度提供依据。

在超长工作面布置 8 通道的井下微震监测系统，地面布置两台 ARP 2000 P/E 微震监测台站，在矿井范围内形成井下和地面微震的联合监测，通过对微震数据的实测、分析结合理论研究结果，进一步揭示超长工作面覆岩运动和破断特征。

通过分析工作面矿压数据得出工作面的周期性、阶段性来压规律，分析液压支架等设备的使用工况，并结合回采进度，建立顶板来压分级预测预警算法模型，实现对基本顶来压步距、持续时间、动载系数、支架工况、超前围岩稳定性等矿压指标的实时分析和预测，捕捉异常征兆，指导工作面安全生产。

3 智能+三维可视化开采工艺和装备动态配套，实现可靠性协调运转

采煤机进刀方式直接影响到工作面的产量和效率，因而要选择合适的采煤机进刀方式，缩短工作循环时间，提高综采工作面的产量。研究长壁工作面的各种斜切进刀开采工艺，确定单向割煤中部斜切进刀方式割煤工艺和双向割煤端头斜切进刀方式割煤工艺的循环时间的影响因素和影响因子，并给出相应的计算算法；分析影响进刀方式选择的三个因素，即工作面长度，采煤机空刀运行速度和采煤机停机等待移端头支架和输送机头（尾）的时间，对进刀方式影响因素进行量化，并给出了进刀方式选择的算法公式，当现场生产环境发生变化时（如煤层硬度等），根据相应的算法的实现采煤工艺及开采方式，自动实现单向割煤中部斜切进刀方式或双向割煤端头斜切进刀方式的选择。针对高速截割状态下振动、发热、磨损问题，功率密度大的特点，研究采煤机高速运行的动态响应和关键部件劣化机理进行研究，提出减小采煤机振动的方法和措施，使采煤机在高速采煤状态下能平稳运行；研究采煤机截割功率、牵引功率、滚筒转速、牵引速度之间的匹配关系，合理确定各参数值，使得采煤机发挥最大工作效能。

目前，井下的综放设备的各种动作多通过二维显示。基于矿井建设的 5G 高速网络，研究了“VR 虚拟现实”技术，在调度室再现井下超长工作面设备的场景；通过井下设备的多工况传感器，模拟井下采放设备的运行状况，动态模拟

采煤工艺, 实现设备间的动态干涉检查, 最终实现装备与围岩的全方位耦合配套, 为装备高可靠性协调运转提供了基础保障。

4 智能+成套装备耦合联动控制, 实现工作面高速推进

根据工作面围岩运移形成的不稳定采动应力场与稳定性智能支护单元组成的液压支架群组产生的支护应力场耦合关系, 基于超长工作面液压支架与围岩耦合关系及开采工艺要求, 提出基于液压支架与围岩耦合的抗压、让压、稳压控制策略, 建立支护群组压力、姿态等参数变化与采动应力映射库, 提出液压支架对围岩的适应控制准则, 实现对液压支架支护状态的自动感知、评价、自修正与智能控制。

远及超远距离高压流体输送技术中的压降和高压产生的爆管现象等问题是短期内无法逾越的两大问题, 且在群组移架过程中产生整体压降, “刚度”降低, 严重影响拉架-推溜速度, 提出集中-分布式结合的敏捷供液体系, 研究基于工作面液压支架压力-流量补偿机制; 开展液压支架双供液系统动态特性及试验研究; 开发液压支架独立自供液压力、流量动态补偿调控装置和动适应和主动调控的大缸径立柱自适应调控装置, 研究综采工作面支架液压系统的快速响应系统, 实现电液控与供液系统的智能联动控制。

精准时序调控方主要为减少快速跟机过程的丢架现象, 保证综采工作面装备群有序、高效推进。研究建立工作面液压支架带压移架工况力学模型, 得出移架过程中所需推力与各参数之间的数学关系, 用于分析推移千斤顶所需推力随煤层倾角、支架-顶底板的摩擦系数、顶板压力的变化规律; 建立综合考虑支架外阻力及液压系统推移回路的机-液耦合移架运动学模型; 分析移架运动学规律和辨识移架速度关键影响因素, 通过变参数计算, 分析推移千斤顶外阻力与支架-顶底板的摩擦系数、顶板压力等参数的关系及液压支架移架速度(v)随泵站额定流量(Q)和设备外阻力(F_z)的变化规律; 研究群组移架过程动力分配机制, 为大流量智能供液系统和高压升柱系统提供决策。

5 智能+环境感知精准防控, 实现采煤工人“体面”工作

构建了超长工作面导水裂隙带发育高度模型, 研发了“天、地、井”智能化采动多场监测与预警系统, 基于三维地质模型和井田勘探、水文补勘、水文长观孔等水文地质资料, 构建水文地质概化模型, 率定主要含水层富水性参数, 拟合矿井地下水初始流场; 根据疏放水设计预测疏降流场和采动流场, 并根据排水系统能力和工作面开采环境要求, 优化矿井疏放水方案; 基于疏降流场和采动流场, 预测不同开采条件下的工作面涌水量, 保证综放工作面安全、高效。通过智能安健环 HSE 系统的设计, 实现小保当超长工作面安全生产的闭环管控。利用物联网数据采集技术和视频模式识别和智能分析技术, 动态感知人员违规违章行为、设备设施安全隐患等自动形成告警, 建立煤矿安全评价指标体系, 量化煤矿风险指标。通过移动自组网多参数监测和互联, 将传统各自独立、固定的监测参数进行关联和集成, 对井下重点分区环境感知数据融合及预警, 实现煤矿危险源和空间对象状态的实时数据诊断和预测预警。通过打造煤矿安全态势感知与信息共享体系化协同的系统, 形成 360° 智能监控平台, 同时打造层级职能部门联合执行异常事件联动与处置机制, 实现一个中心、多级联网、互联互通、数据共享、业务协同的功能。

智能安健环 HSE 系统具有“全”、“联”、“智”的特点:

全: 工作区域无死角+环境参数全覆盖+人员状态全识别→(智能安检+健康监测+环境监测+人员定位);

联: 自组网、低功耗、多参数→(参数+位置互通; 人+机互联; 人+机+设备互联);

智: 智能预警, 自主推送, 闭环管理。

一线工人通过佩戴矿用动力送风式滤尘口罩, 通过过滤清洁空气并经正压送至呼吸面罩, 防尘过滤效果好, 呼吸阻力小, 使呼吸防护效果和舒适性显著提高, 可让井下工人安全舒适佩戴, 是保障煤矿工人职业健康安全、减少尘肺病危害的有效防护设备, 实现煤矿工人的体面工作。

6 总结

本项目是综采技术与装备发展的必然要求, 同时亦是目前煤炭开发市场的“痛点”和关键卡脖子技术, 煤机生产企业和高校研究的热点问题之一。国内多家煤炭生产企业都在着手中厚煤层高速截割、高效开采和智能化开发, 陕西煤业化工集团先行先试, 直接对标国际一流水平, 实践了真正意义上高速截割、高品质开采和智能增效的开采, 实现了工作面“顶板可控可预测”, “水源可控有保护”, “智能开采提效率”, “高速截运创效益”的开采理念, 为煤炭生产企业创造巨大的经济效益。

本项目优化了综采工作面的动力能量配置, 提高了装备整体效能, 节能效果明显; 在保证产量的前提下, 为煤矿

作业制度改革（如取消夜班）提供了可能，对改善工人劳动条件效益显著；项目对煤炭资源绿色、智能、安全、高效生产提供了核心技术支撑。

（1）超长工作面创造了良好的经济效益

对于同样的煤炭资源，可采用超长工作面、对拉工作面、背拉工作面和顺拉工作面的不同设计方式进行管理，不同方式的技术经济效果对比如下：

超长：工艺简单，岗位工少，设备少，中间巷不布置设备，只做回风增加割煤直线段比例，利于产量提升；面長大输送机管理及直线度控制难度较大。

对拉：比背拉、顺拉少胶带、转载和破碎机，工人少6人；对拉面两部分需3~5m错距，中间巷端头设备多，支护、推进、管理困难，中间巷运输兼回风，设备多，条件差。

背拉：两面相对独立，中间巷不布置设备，维护简单；人多、设备多，错距。

顺拉：两面相对独立；中间巷运输兼回风，人多、设备多，错距。

通过综合对比超长工作面方案巷道施工量最省，用工、费用最少，生产工艺简单。采用超长工作面与两个单面工作面分别回采相比，可提高全速截割段比例，提升工作面产能约2倍以上，增加年收入约12亿元；同时可减少巷道掘进、支护和人员费用，降低搬家倒面的频次，通过创收和节支，每个超长工作面可多创造效益不小于15亿元。

（2）超长工作面的应用引领了行业新的发展方向

布置超长工作面的优点可归纳为：“三提升，三降低”。

三提升是指绿色开采水平、产能和开采效率的提升；三降低是指煤炭损失、采掘接替矛盾和成本支出的降低。

以面长200m、300m和400m，开采1200m长度资源，推进距离取3000m为例，当煤厚取2.5m，巷高3m，煤柱宽20m时，面长由200m增加50%、100%，煤损降低29.8%、44.7%；矸石减少33.3%、50%；相同开机率工作面产能提升约20%、30%。

表1 不同工作面长度煤柱损失和矸石量对比

面长/m	工作面个数	煤柱		巷道破矸	
		数量	损失(万t)	数量	增矸(万t)
200	6	7	142	12	10.1
300	4	5	101	8	6.7
400	3	4	81	6	5.0

（3）超长工作面的应用打造了业内新的示范标杆

近年来，随着以黄陵智能化开采、20m特厚煤层大采高综放开采关键技术及装备、8.0m以上超大采高综采成套关键技术与装备等为代表的新技术突破与应用成功，我国的综采技术已步入世界领先行列。以美国为代表的长壁综采工作面生产实践正朝着面长500m方向的目标迈进，并实现了2m左右的煤层年产约千万吨。陕西煤业化工集团作为国内知名的能源开发企业，有责任带领行业推动该项技术的研发和应用。小保当公司通过自主创新开发的超长工作面智能化高效开采成套关键技术，实现了我国煤炭开采技术的重大突破与技术变革，达到了中厚煤层开采世界最先进发展技术水平；丰富了我国超长工作面开采与岩层控制理论，为科学合理加长工作面提供理论支撑，促进了煤炭开采基础研究的进步。超长工作面成套装备推动了煤机装备技术进步，显著提升了我国高端煤机装备在国际上的竞争力和影响力。

【参考文献】

- [1] 王建军. 超长孤岛工作面回采巷道应力分布及卸压控制[J]. 同煤科技, 2020(5): 28-31.
- [2] 秦小云. 寺河矿4301大采高超长工作面支架选型研究[J]. 能源与节能, 2020(9): 32-33.
- [3] 姚海, 贾鑫. 浅埋深厚煤层超长综采工作面贯通压架事故探析[J]. 煤炭科学技术, 2017(2): 77-81.

作者简介：伊春（1991.3-）男，西安科技大学，机械电子工程机电，陕西小保当矿业有限公司，副主任，助理工程师；李华玉（1978.4-）男，陕西小保当矿业有限公司，二号煤矿机电副矿长，助理工程师。