

综 述

大采高技术与大采高液压支架的开发研究

王国法

(煤炭科学研究总院开采设计分院 开采装备技术研究所, 北京 100013)

[摘 要] 介绍国内外大采高技术发展概况和年产 6.0Mt 大采高综采成套装备研制, 分析影响大采高液压支架稳定性和适应性的因素, 提出保证大采高工作面支架稳定性措施, 探讨 7m 煤层一次采全高技术装备的可行性。

[关键词] 大采高; 液压支架; 稳定性; 一次采全高

[中图分类号] TD355.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2009) 01-0001-04

Research on Mining Technology with High Mining Height and Development of Powered Support for High Mining Height

WANG Guo-fa

(Mining Equipment Institute Coal Mining & Designing Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: Development status of mining technology with large mining height in China and abroad is introduced in this paper. Development of full-mechanized mining outfit with large mining height whose output reaches 6.0Mt annual is introduced as well. After analyzing influence factors of stability and adaptability of powered support with large mining height, this paper puts forward measure of assuring stability of powered support with large mining height and discussed technology and equipments feasibility of single mining 7m thick coal seam.

Key words: large mining height; powered support; stability; single mining full height

1 大采高技术发展现状

我国国有重点煤矿厚煤层储量占 44%, 而厚煤层采出的产量占 45% 以上, 绝大多数高产高效矿井是在以厚煤层开采为主的生产条件下实现的。目前, 我国重点煤矿厚煤层开采方法主要有综采放顶煤开采和大采高综采 2 种。放顶煤开采虽然已经在我国发展成为一种厚煤层高产高效采煤方法, 广泛应用于 5~15m 厚煤层一次采全高, 但仍有许多难以解决的技术难题。对于 4~6m 的稳定厚煤层, 大采高综采具有更好的技术经济优势。

近十年来, 以神东矿区为代表的现代化矿井建设, 依靠得天独厚的厚煤层赋存条件和先进的管理模式, 采用国际一流装备, 进行 4~6m 一次采全高, 不断刷新工作面高产高效纪录, 工作面年产达到千万吨级水平。晋城寺河煤矿采用国产大采高液压支架, 成功实现 6m 一次采全高, 月产突破 800kt。

国外主要产煤国家厚煤层开采主要采用一次采全高长壁开采, 美国、澳大利亚等发达国家的煤矿

普遍采用高效集约化生产, 最大采高 4.5m, 南非和捷克最大采高达到 6m。

配套装备是大采高高效综采生产技术的核心, 国外技术发展的最新特点是:

(1) 新型大功率电牵引采煤机总功率达到 2000~3000kW, 装备了采用先进的信息处理技术和传感技术的控制和故障诊断系统。德国 Eickhoff 公司的 SL500 系列采煤机采高范围 2.0~6.5m, 最大牵引力可达 1000kN, 最大牵引速度可达 37m/min, 可以截割 ≤ 10 的煤和岩石。美国 JOY 公司的 7LS 系列采煤机截高范围 2.0~5.5m, 最大牵引力可达 800kN, 最大牵引速度可达 30m/min。

(2) 工作面刮板输送机向着大运量、软启动、高强度、重型化、高可靠性方向发展。最大运量达 6000t/h, 装机功率 4×1200 kW。中部槽的槽间连接强度已达到 4500kN, 链环直径最大达 $2 \times \phi 52$ mm。采用伸缩机尾的液压自动张紧装置。

(3) 液压支架向高工作阻力的两柱掩护式支架发展, 支护工作阻力达 6000~12000kN, 支护高度 3~6m, 支架立柱缸径 320~440mm, 支架中心

[收稿日期] 2008-10-10

[作者简介] 王国法 (1960-), 男, 山东烟台人, 研究员, 博士生导师, 国家级有贡献的中青年专家, 现任煤炭科学研究总院首席科学家, 开采设计研究分院开采装备技术研究所所长。

距 1.75m 和 2.0m, 支架控制方式为环形供液及电液控制, 支架的降、移、升循环时间小于 10s, 支架的寿命试验高达 50000 次以上。

(4) 长距离、大运量、高带速的大型带式输送机已成为主要发展方向。目前, 煤矿带式输送机装机功率可达 $4 \times 970 \text{ kW}$, 运输能力已达 5500 t/h , 带速为 5 m/s 以上。应用动态分析技术和计算机监控等高新技术动态设计及动态过程监测、监控等, 确保了输送机运行的可靠性。采用 CST、变频等大功率软启动技术、自动张紧技术、高寿命高速托辊、快速自移机尾等使设备开机率、可靠性指标与生产效率不断提高。

(5) 在实现单机工况实时监测的基础上, 研究开发了基于振动信息或采高位置自学习控制的采煤机滚筒自动调高技术、液压支架电液控制技术, 工作面巷道集中控制中心通过采用位置红外传输、速度检测和计算机集中控制软件程序, 使采煤机、刮板输送机、液压支架等设备自动完成割煤、运输、液压支架移架和顶板支护等生产流程, 实现了工作面自动化生产。工作面巷道计算机集中控制中心还实时监测工作面顶板压力、供电、供液系统、工作面巷道胶带系统、煤仓料位等设备运行工况, 并通过矿井通讯光纤等介质经 Internet 网络和矿井及上部管理层实现信息交流与通讯控制。

2 国产大采高装备的研发

2.1 研制概况

大采高液压支架的稳定性、适应性和可靠性是决定大采高成败的主要因素。大采高液压支架由于其受力复杂, 对设计、制造和使用的技术要求高, 投资大, 因而成为液压支架技术发展水平的标志。我国一些高产高效矿井长期依靠进口, 神东和晋城等矿区先后引进了几十套国外大采高液压支架。

2003 年, 晋城煤业集团与天地科技股份有限公司开采所事业部及有关制造厂合作, 率先进行高端大采高液压支架国产化研发, 首次研制的 30 架 ZY8640/25.5/55 大采高液压支架于 2004 年 2 月底到寺河矿, 安装在 3302 工作面, 与 DBT 公司生产的支架在同一个工作面。经过一年多的井下使用, 状况良好。在首采工作面试验成功的基础上, 对使用中出现了的问题进行了改进, 经过改进后制造的成套支架从 2005 年 3 月起开始在 2303 工作面生产, 平均日产量 20 kt 以上, 月产量 630 kt 。试验期间对 2303 工作面支架性能进行了观测, 表明支架工作阻力与支护强度合理, 能够适应顶板来压, 稳定性

和护帮效果好, 总体性能达到引进德国 DBT 支架的水平。为了最大限度地提高采出率, 在充分论证的基础上, 晋城煤业集团又与郑煤机和天地科技股份有限公司开采所事业部共同研制了世界第 1 套 6.2m 大采高液压支架 ZY9400/28/62, 在寺河矿使用取得成功, 工作面最大采高达 6.2m, 工作面运转正常, 在限产条件下月产达 780 kt 。为进一步提高采高积累了经验。该套支架采用了伸缩梁和二级护帮机构, 增大护帮面积, 减少了片帮次数, 给煤矿安全生产提供了有力保证。

自 2004 年起, 先后由科技部、国家发改委组织, 由煤炭科学研究总院牵头, 全国骨干煤炭科研设计、制造和生产企业集团产学研结合, 进行“厚煤层高效综采关键技术与成套装备”和“年产 600 万吨综采成套装备研制”项目攻关研究。通过相关课题的研究, 攻克了厚煤层高效综采关键技术, 开发研制了高可靠性大采高综采成套装备, 改变了我国大采高高端综采装备依靠进口的局面, 同时以此为契机, 全面提升了我国煤机行业设计、加工制造水平, 进而全面提升了国产综采装备的生产能力、可靠性, 建立了大采高综采技术体系。

2.2 年产 6Mt 工作面大采高成套装备研制

针对神东和黄陵等矿区厚煤层赋存条件, 进行了一次采全高安全高效综采工作面总体配套研究, 提出了厚煤层一次采全高重型高效综采成套装备配套模式, 大采高强度开采工艺系统模式及优化参数, 电液控制及工作面远程控制模式, 开发研制成功首套国产年产 6~8Mt 生产能力的大采高综采成套装备, 建立了大采高综采技术体系, 填补了国内高端综采成套装备的空白, 可完全替代进口的同类装备, 改变了我国高端综采装备依靠进口的局面。促进国产综采装备制造技术跨上一个新台阶。

在引进的 Pro/Engineer 等软件平台基础上, 开发了采煤机三维数字化样机设计, 液压支架三维虚拟样机设计和动态仿真整架有限元设计分析、输送机动力学和运动仿真分析, 带式输送机动态分析等先进设计分析软件系统和方法, 全面提升了国内煤机行业设计理念与设计水平。

为实现煤机基础材料的升级, 研究提出高强度焊接结构技术要求, 与武钢、宝钢等钢铁企业合作, 开发了 $\sigma_b = 800 \sim 1000 \text{ MPa}$ 高强度焊接结构钢; 与成都大无缝钢管厂合作, 开发了 $360 \sim 440 \text{ mm}$ 大缸径立柱用钢管等; 开发了大缸底锻造加工、推镗滚压制造、等离子喷涂、整体铸焊、整体模锻成型等加工工艺, 全面提升了综采装备加工

制造水平。

提出了大采高支架参数确定方法,通过稳定性分析和三维有限元模拟研究,成功开发了 ZY8640/24/50D, ZY8640/25.5/55D, ZY10000/26/55, ZY9400/28/62D等系列大采高液压支架,首创了新型二级护帮、微隙准刚性四连杆机构等新结构和高强度结构钢混合气体保护焊及时效消除焊接应力新工艺;成功开发了 $\phi 360\sim 440\text{mm}$ 大缸径双伸缩立柱和新型密封结构。开发研制成功国内首套具有自主知识产权的 SRC 液压支架电液控制系统;开发了大流量电液控制阀、电磁先导阀、控制器、主控阀、电源和自动高压过滤站等关键元部件,首次采用流体动力学仿真方法开发研制了二级卸载大流量液控单向阀和安全阀,填补国内空白。

研制成功 MG750/1815-GWD 型和 MG900/2215-GWD 型大采高、大功率、智能化控制的交流电牵引采煤机。整机为无底托架积木式组合结构, CAN 总线结构、DSP 处理器的嵌入式控制系统,实现网络分布式信号处理,基于智能化专家系统的采煤机运行信息分析及故障诊断技术。开发了摇臂、牵引箱、齿轮和防爆等关键元部件制造的新材料和新工艺组装技术,保证了整机的可靠性。

研制成功 SGZ1000/3 $\times$ 700 和 SGZ1200/3 $\times$ 855 型刮板输送机,研制了高可靠性铸焊式 1750mm 长的整体加工中部槽、700kW 摩擦限矩器、自动伸缩机尾;首次研制了输送机综合监测传输系统;首次研制了双向对称模锻刮板、高强度一次大卸载口交叉侧卸机头架,短齿、高强度双联接链轮组件和大节距、经过特殊热处理的整体模锻销轨。开发研制成功 SZZ1200/400, SZZ1300/525 型转载机、PMC4000 破碎机,适用于大功率、宽体式锤式破碎机的大型整体式锤体;新型的锤头固定技术,带防偏沉机构的皮带机机尾自移装置。

开发研制成功大运量长运距带式输送机,开发了多电机软驱动及功率平衡技术、大拉力自动张紧技术、新型高速低阻托辊关键技术、新型液压卷带技术、智能化电控技术。

在神华集团万利一矿进行了为期 6 个月的井下工业性试验。试验期间成套设备开机率达到 94%,工作面共产原煤 4.54Mt 最高月产达 804kt 6~10 月份连续 5 个月平均月产 692.6kt 目前工作面月产已达到 950kt 水平。工业性试验表明,本项目所研制的装备配套性能好、可靠性高、开机率高。本项目共取得发明和实用新型专利 18 项。项目总体技术达到国际先进水平,部分成果达到国际领先

水平。成果已在晋城、伊泰集团、黄陵、西山煤电、神东、鲁能、陕煤、宁煤集团及大同等矿区广泛推广应用。

3 大采高液压支架的稳定性

3.1 大采高液压支架稳定性影响因素

大采高工作面的核心技术是支护,支护效果取决于单架支架的稳定性和支护系统的稳定性。单架支架的稳定性包括横向稳定性和纵向稳定性两个方面,主要取决于四连杆机构参数、销孔配合间隙和结构刚度。

支护系统的稳定性受众多复杂因素的影响,主要有单架支架的稳定性、支护系统刚度及配套协调性、煤岩稳定性、煤层倾角、初撑力、及时支护、护帮效果和工作面淋水情况等。试验表明,当煤层倾角在 10° 以内时,5~6m 采高时支架的倾倒是可控制的,控制大采高支架下滑和倾倒是生产技术难点。支架防倒防滑的前提是有效控制端面冒顶和煤体片帮,在此基础上再安设防倒防滑装置和合理安排回采工艺。刮板输送机机头和机尾安设防滑千斤顶,端头支架使用锚固装置,综采面内支架每隔几架安设一个防倒千斤顶,溜槽每隔几节安设一个防滑千斤顶。生产过程中保障支架侧护板完好,合理安排和实施割煤、移架及推溜工序。

研究表明,当支架工作阻力一定时,支架尾部稳定性随顶板冒落高度增大而非线性降低,直至最终受扭失稳。当顶板垮落高度一定时,支架抗扭稳定性随支架工作阻力线性增大,支架对顶底板的作用力对支架的抗扭稳定性作用明显。同时,顶梁上顶板压力的分布状态对支架的稳定性也有影响,尽量使支架顶梁受力比较均匀,有利于扭转支点落到支架后部,减小扭矩。

3.2 提高大采高液压支架稳定性的措施

大采高液压支架稳定性控制包括单个支架和工作面支护系统的稳定性控制两个方面。其目的在于尽量降低不利因素的影响,有效提高支护系统的稳定性。

(1) 合理地提高初撑力和工作阻力可有效地提高支架工作状态的稳定性,加大底座面积,调整合力作用点位置,降低底板比压。选用 1.75m、2m 中心距,可以增大底座宽度。

(2) 优化四连杆机构参数,提高加工精度,减小连接销轴孔间隙和部件连接横向间隙。以支架高度 6m 为例,当四连杆销孔间隙为 1.5mm 时,顶梁最大偏移量可达 145mm;当四连杆销孔间隙为

0.85mm 时, 最大偏移量可降到 72mm。

(3) 优化结构设计。不但要保证支架强度可靠, 同时要最大限度的提高结构刚度, 减少支架承载后的变形和位移。

(4) 完善护帮装置, 控制梁端距。控制片帮和前端冒顶是保证支架稳定性的重要基础。

(5) 提高工作面支护系统稳定性。大采高工作面支护系统的稳定性除需保证单个支架在工作过程中的稳定外, 还应增强相临支架的调架能力, 设置排头排尾支架组, 使工作面支护系统有相对稳定的整体性和可靠的依托。通常, 排头排尾支架组可由 3~5 架工作面基本支架靠附加装置连成整体来组成。

(6) 通过电液控制, 实现擦顶及时移架, 随动调架, 成组控制, 快速移架, 提高工作面推进速度; 设置防倒防滑装置和机头锚固装置等。

4 6~7m 煤层一次采全高的可行性分析

随着晋、陕、蒙一批新型大型煤矿的建设, 一个新的课题被提出来, 大采高技术能否适应更大采高? 例如, 一些矿井主采煤层为厚度 6~7m 的近水平煤层, 赋存十分稳定, 但煤质硬, 不适宜放顶煤, 如何高效安全和高采出率的开采这种煤层成为大采高技术面临的重要课题。

6~7m 煤层一次采全高的可行性取决于 2 个关键因素, 一是煤帮控制和支护系统的稳定性; 另一要素是采煤机截割 6~7m 煤层时的稳定性。艾柯夫 SL500 和 SL1000 采煤机在晋城寺河矿和神东矿区已成功截割 5~6.2m 煤层, SL1000 采煤机设计截割高度已达到 6.8m。基于实践基础的技术分析认为: 目前, 先进的采煤机能够满足 6~7m 煤层一次采全高工艺要求, 本文对此不作深入探讨, 而重点分析 6~7m 煤层一次采全高液压支架和支护

系统的稳定性。

煤炭科学研究总院开采分院已经进行了 7.2m 支架的三维动态设计和样机的研制试验, 采用数值模拟和样机试验相结合, 研究了支架的稳定性、适应性和可靠性。研究表明, 随着工作面采高的增加, 工作面的煤帮控制和支护系统的稳定性更加难以保证。实现 6~7m 煤层一次采全高的首要条件是, 判断煤层的结构, 进行适应性分析, 提高支架的支护能力, 尤其是加强护帮板的作用, 采用三级护帮, 增加护帮高度。同时, 应从总体配套和工艺系统上采取有效措施, 可以采用由 1 台每节 2m 长的可弯曲刮板输送机和 2 台采煤机及中心距 2m 的 6.5~7.3m 大采高液压支架等设备配套组成工作面生产系统, 2 台采煤机有同向和异向割煤 2 种方式, 可在工作面两端部斜切进刀, 也可从工作面中部斜切进刀。双滚筒采煤机可一次截割 6.5~7m 煤层, 也可采用 2 台采煤机分步截割, 前台采煤机截割上部煤层, 后台采煤机截割下部煤层。在刮板输送机挡煤板侧与液压支架推移杆间安设调平装置和监测与底板垂直度的传感器, 自动调平刮板输送机, 保证采煤机摇臂侧偏角度小于 3°, 液压支架上安设护帮高度不小于采高 $1/2$ 的三级护帮装置。上述方案已申报发明专利, 能实现 6.5~7m 厚煤层一次采全高安全高效、高采出率开采, 双采煤机配套方式可提高工作面推进速度, 减少顶板采动压力的影响, 台阶式截割方式能减少煤壁片帮的影响。

【参考文献】

- [1] 王国法, 等, 高效综合机械化采煤成套装备技术 [M] · 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [2] 张银亮 · 国产大采高液压支架的研究现装与发展趋势 [J] · 煤矿开采, 2008 (6): 1-3.

【责任编辑: 邹正立】

(上接 21 页)

及顶板有冲击倾向性, 采用深孔断顶爆破技术对顶板实施了断顶, 使煤体中的应力值发生 3 次较大的降低, 如图 4 所示, 可以推断基本顶岩层发生了 3 次大范围的断裂和垮落, 取得了较好的效果。深孔爆破参数: 炮孔直径 70mm, 药卷直径 50mm, 不耦合系数 1.4。

6 结论

(1) 不耦合系数装药可减少破碎区范围, 减

少消耗在使周围介质发生过于破碎和产生塑性变形的能量;

(2) 裂隙区范围随着装药不耦合系数的增大而增大, 破碎区范围随着不耦合系数的增大而减少。

【参考文献】

- [1] 喻长智 · 岩石爆破混沌模型与条形药包爆破应力波衰减规律的研究 [D] · 西安: 西安科技大学, 2001

【责任编辑: 邹正立】