

文章编号:1671-251X(2021)S1-0007-03

国家能源集团掘进智能化建设现状与路径研究

吴晓旭^{1,2}, 罗会强¹, 丁震²

(1. 国家能源集团 煤矿智能化建设办公室, 北京 100013;

2. 国家能源集团 煤炭运输部, 北京 100013)

摘要:通过分析国家能源集团掘进智能化建设现状,提出了掘进智能化建设原则,制定了近期、中长期掘进智能化建设目标。指出了掘进智能化建设途径:① 制定建设规划标准,包括顶层设计和装备要求。② 夯实智能建设基础,主要是开发智能一体化管控平台,建设煤矿云计算数据中心,推动煤矿信息网络升级,健全网络信息安全体系。③ 重点突破掘进工艺、支护工艺、精确导航、自动钻锚、自适应截割等关键技术瓶颈。④ 增强示范引领作用,重成智能化示范掘进工作面。⑤ 分类分步实施建设,按初级、中级、高级 3 个级别分类分步有序推进掘进智能化建设。

关键词:掘进智能化;掘进机器人;掘进工艺;掘进装备

中图分类号:TD632

文献标志码:A

Research on current situation and path of intelligent tunneling construction of CHN Energy

WU Xiaoxu^{1,2}, LUO Huiqiang¹, DING Zhen²

(1. Coal Mine Intelligent Construction Office, CHN Energy, Beijing 100013, China;

2. Coal Transportation Department, CHN Energy, Beijing 100013, China)

0 引言

我国煤炭储量和产量均居世界前列,煤炭作为一种极端重要的战略资源,在我国经济和社会发展中具有不可替代的作用。近年来,国家高度重视煤炭行业智能化发展,2019 年 1 月 2 日国家煤矿安全监察局发布了《煤矿机器人重点研发目录》,2020 年 2 月 25 日国家发展改革委等八部委联合印发了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》,明确了煤炭智能化的发展目标和主要任务,吹响了煤炭工业向智能化进军的冲锋号,标志着煤炭工业智能化春天的到来。国家能源集团 76% 的煤矿采用井工开采,一直坚持“采掘并重,掘进优先”的方针。煤矿智能化的核心就是要实现综采工作面和掘进工作面的智能化。目前,综采工作面智能化初见成效,而掘进工作面智能化建设严重滞后,导致采掘失衡,已严重影响并制约着煤矿安全、高效、智能生产^[1-2]。

笔者分析了国家能源集团智能化掘进技术应用现状、制约因素,同时对掘进智能化建设原则、建设目标、建设路径进行了研究。

1 掘进智能化建设现状

1.1 智能化掘进技术应用现状

国家能源集团共有约 200 个掘进工作面,主要应用了 6 种智能化掘进技术,实现了煤巷、岩巷、半煤岩巷掘进技术全覆盖。① 智能化综掘技术。红柳煤矿初步建成了掘进工作面远程操作智能系统,该系统集成自动定位、自动截割、远程遥控等功能,后配套采用自移机尾、可伸缩机身、卷带装置,可实现生产班 9 人作业,月进尺达 400 m。② 全断面智能掘进技术。大柳塔煤矿建成了快速掘进系统,该系统由全断面掘进机、十臂锚杆钻车、破碎转载机、可弯曲带式输送机、迈步式自移机尾等设备组成,月进尺达 3 088 m^[3]。③ 智能连掘技术。哈拉沟煤矿实现了掘进系统一键启停,连续掘进机和梭车实现远程控制、无人驾驶,锚杆钻车实现自动钻孔,生产班每班 6 人,全队人数由 70 人降至 50 人,月进尺达 2 000 m。④ 复杂地质条件智能快掘技术。利民煤矿采用掘锚一体机,月进尺达 600 m,工效提高 1 倍,日循环数由 8 个提高到 20 个,实现了遥控远程操作,由于单产单进水平提升,利民煤矿已全面取

收稿日期:2021-02-01;责任编辑:盛男。

作者简介:吴晓旭(1971—),男,辽宁阜新,高级工程师,主要从事煤矿机电技术、煤矿智能化研究及管理工作,E-mail: xiaoxu. wu@chnenergy.com.cn。

消夜班。⑤ TBM 智能快掘技术。首次应用于补连塔煤矿二号辅运平硐建设,成巷 2 745 m,净直径 6.6 m,效率是传统工艺的 4~6 倍,填补了国内煤矿斜井盾构施工技术空白^[3]。⑥ 掘进类机器人技术。已研发并现场试用掘进、钻锚、喷浆、掏槽、管路抓举安装钻孔等 5 种机器人^[2-8]。

1.2 智能化掘进制约因素

目前,煤矿综采工作面装备成套化、自动化、智能化、高效化、可靠性、安全性水平不断提升,而掘进工作面装备的研发难度较大,技术水平相对滞后,导致采掘失衡问题日益突出,直接影响煤炭高效生产。不断提高巷道掘进装备和工艺水平,构建智能化掘进系统,必须破解四大技术难题。

(1) 掘进装备的适应性、可靠性难题。煤炭赋存条件差异很大,地质条件复杂,尤其是针对煤层起伏较大、煤与瓦斯突出、夹矸与片帮严重等复杂地质条件的煤巷高效掘进需求,需要掘进装备的适应性、可靠性高。

(2) 掘进装备的成套化、高效化难题。仅依靠单台、离散设备的顺序工作,很难提高煤巷掘进效率,只有集成多台掘、锚、运等设备的优良特性,构建高效、可靠的成套掘进系统,才能达到事半功倍的效果。

(3) 掘进系统的精准性、健康性难题。煤矿巷道掘进系统的精准性、健康性均依赖于高性能的传感检测系统。精准性是提高掘进质量的前提,健康性是保证设备安全、高效、可靠运行的关键。掘进工作面环境恶劣、干扰严重,对传感检测系统和设备健康运行提出了苛刻的要求。

(4) 掘进系统的少人化、智能化难题。随着工业 4.0 的深入实施,“机械化换人、自动化减人、智能化少人”已经成为煤矿发展目标。因此,需要构建智能掘进机器人系统。

2 掘进智能化建设原则

(1) 统筹规划,分类施策。统筹兼顾国家能源集团所属煤矿水文地质条件、安全生产现状,加强顶层设计,科学谋划,合理确定近期及中长期目标,分类分级制定实施方案,指导掘进智能化建设^[2]。

(2) 需求导向,重点突破。以安全、高效、少人为导向,集中突破精准导航、自适应截割、截割成形监测、自动锚护、远程操控、粉尘防治等关键技术瓶颈,掘进系统实现安全、智能、高效^[2]。

(3) 试点先行,有序推进。针对国家能源集团不同矿区特点,以 9 个国家首批示范煤矿和 7 个国家能源集团生产安全示范煤矿建设为抓手,按国家

能源集团煤矿智能化建设指南,有序推进各矿井掘进智能化建设,实现总体建设目标。

(4) 自主创新,开放合作。基于国家能源集团优越的资源、技术、人才、产业条件,以自主创新为基础,通过协同创新中心引入多方合作,突破智能化掘进关键核心技术。

3 掘进智能化建设目标

(1) 总体目标。以国家能源集团煤矿智能化建设指南为指引,“一矿一策”,分级分类进行掘进智能化建设。智能化掘进技术 100% 覆盖,掘进工作面 100% 实现智能化,全员工效提高 200%,掘进人员数量降低 50%。

(2) 近期目标。2021 年,建设 40 个初级智能掘进工作面,覆盖 20 个矿,掘进工作面作业人数降至 9 人以下,实现掘进远程集控,90% 运行数据上传。掘支平行作业率达 50%,10% 的掘进工作面单进水平在 2020 年基础上提高 0.5 倍。2022 年,建成 10 个中级智能掘进工作面,其中全断面智能化掘进工作面至少 1 个,工作面作业人数降至 7 人以下。工作面主要设备具有人员接近预警系统;掘锚一体机适应范围延伸至“三软”煤层、冲击地压等复杂条件,采用掘锚一体机快掘系统代替综掘系统的工作面达 20 个,30% 的掘进工作面单进水平在 2020 年基础上提高 0.5 倍。

(3) 中长期目标。2025 年,建成 20 个高级智能掘进工作面,工作面作业人数降至 5 人以下;掘进工作面实现数字孪生,各设备实现自主精确导航,锚杆、锚网等辅材实现无人定点推送;锚杆支护实现随顶帮条件变化的自适应动态支护;连掘工作面实现电缆机器人辅助智能移动;人工干预率小于 10%;70% 的掘进工作面单进水平在 2020 年基础上提高 0.5 倍,掘进队伍减少 50%;力争在冲击低压、煤与瓦斯突出等灾害严重矿井的掘进工作面全部实现智能化^[4]。

4 掘进智能化建设路径

(1) 制定建设规划标准。对智能化掘进进行顶层设计,对装备提出明确要求。针对智能化掘进项目进行总体设计,以智能化掘进为目标,进行掘锚一体化、成套化设计。在设备制造层面,要实现掘进装备主要部件与关键传感元件的一体化设计、制造,实现液压系统特性匹配与精准控制。

(2) 夯实智能建设基础。综合考量煤矿安全管理、生产经营、采掘装备等实际需求,开发智能一体化管控平台,建立煤矿云计算数据中心,推动煤矿信

息网络升级,实现煤矿地面和井下工控网络高度融合,为煤矿分析决策、远程控制提供可靠通信保障^[2]。

(3) 重点突破关键技术。以近年来研发的智能控制软件为核心,通过掘进机自动截割、支护设备自动钻锚与运输设备可视化集中控制,实现掘进人员在地面或巷道监控中心对掘进设备的远程智能监控^[6],确保掘进工艺中截割、装载、运输、降尘、铺网、临时支护、锚杆支护等操作智能化运行,实现掘进系统高效、智能掘进。为提升掘进智能化程度,需逐步突破以下关键技术。① 掘进工艺和支护工艺。利用多组施工机具实现多排多臂分段平行支护,工作面采用低密度强力锚杆支护,与临时支护共同作用控制顶板,形成安全的作业环境,并在后部空间补充永久支护,同步实施作业,形成“前疏后密,快速推进”的协同支护系统。② 井下空间导航技术。采用惯性导航+里程计+视觉识别的组合导航技术,实施掘进系统自动纠偏、自主掘进。③ 锚索自动钻孔技术^[8]和锚索支护机器人。钎杆仓需存储多根钎杆,运行中钎杆由机械手自动装拆,无人工干预,实现锚索支护由多人手工作业向多机一键式操作变革。④ 柔性连续运输技术。采用蛇形位姿锁定的多向自由架体,柔性适应底板起伏,实现小半径水平弯曲运输和长距离连续搭接转载。⑤ 高效粉尘防治技术。不断优化截齿布置,减少产尘量;采用大断面固液气三幕隔尘、机载除尘器与附壁风筒除尘。⑥ 安全预警技术。采用基于毫米波近感探测技术,智能感知人、设备相对位置^[9],实施主动警告或强制停机。⑦ 现场监控与设备健康诊断技术。确保工作面视频全覆盖,实时采集并分析设备运行状态,实现环境、设备、通信状态实时识别预警和设备故障预警。

(4) 增强示范引领作用。推动不同地质条件的煤矿智能化示范项目建设,建成智能化示范掘进工作面,实现掘进、支护、运输、通风、除尘等过程智能化,达到“掘进过程少人、危险区域无人”建设成果。

(5) 分类分步实施建设。① 初级智能掘进工作面建设以实现大部分数据集中上传、设备远程集中监控为主要目标,同时具备钻机电液控制、截割断面自动成形、运输系统在线监测等初级功能,根据不同地质条件开展成套技术与装备的工程示范,提升

掘支平行作业率,从而提高单进水平。② 中级智能掘进工作面建设以实现工序功能自适应为主要目标,实现自适应截割、钻机运行参数自适应调节、智能卸料、刚性架自动安装等,并进一步提升梭车等装备智能化水平,开展全断面掘进、钻锚一体化等新型技术研究,根据不同地质条件开展相应技术与成套装备工程示范,提高掘进人均工效,减少作业人员。③ 高级智能化掘进工作面建设以实现数字孪生为主要目标,各设备实现自主精确导航,锚杆、锚网等辅材实现无人定点推送;锚杆支护实现随顶帮条件变化的自适应动态支护;连掘工作面实现电缆机器人辅助智能移动;实现无人化掘进。

5 结语

煤矿采掘过程中存在采掘关系失衡,现有装备可靠性、适应性不足,单机智能化水平较低等问题,因此,需要发展掘锚一体化技术,研发智能掘进机器人系统,提升掘进成套技术装备的智能化发展及掘进工艺,实现掘进与锚护平行作业,煤矿高效率、高可靠、高质量掘进。

参考文献:

[1] 马宏伟,王世斌,毛清华,等.煤矿巷道智能掘进关键共性技术[J].煤炭学报,2021,46(1):310-320.

[2] 丁震,赵永峰,尤文顺,等.国家能源集团煤矿智能化建设路径研究[J].中国煤炭,2020,46(10):35-39.

[3] 马超,代贵生,曹光明.快速掘进系统在大柳塔煤矿的应用[J].煤炭工程,2015,47(12):34-37.

[4] 王国法,刘峰,庞义辉,等.煤矿智能化——煤炭工业高质量发展的核心技术支持[J].煤炭学报,2019,44(2):5-13.

[5] 丁震.我国煤巷掘进装备现状及发展趋势[J].工矿自动化,2014,40(4):23-27.

[6] 惠兴田,田国宾,康高鹏,等.煤巷掘进装备技术现状及关键技术探讨[J].煤炭科学技术,2019,47(6):11-16.

[7] 张旭辉,赵建勋,杨文娟,等.悬臂式掘进机视觉导航与定向掘进控制技术研究[J/OL].煤炭学报[2021-01-11].<https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.ZN20.0357>.

[8] 马宏伟,王鹏,张旭辉,等.煤矿巷道智能掘进机器人系统关键技术研究[J].西安科技大学学报,2020,40(5):751-759.

[9] 高旭彬.综掘工作面远程可视化控制关键技术研究[J].煤炭科学技术,2019,47(6):17-22.