

煤矿智能化掘进工作面特征与趋势展望

闫昕岭

平煤神马建工集团建井三处, 河南 平顶山

Email: sanchuyan@126.com

收稿日期: 2021年5月19日; 录用日期: 2021年6月16日; 发布日期: 2021年6月24日

摘要

煤矿智能化掘进工作面的建设是目前智能煤矿建设的一个重要组成部分, 也是智能煤矿建成与否的一个重要标志。本文就煤矿智能化掘进工作面的发展历程、应该具备的基本特征、面临的难题以及实践中怎样科学建设智能化掘进工作面等方面的问题进行了详细的论证、分析、总结和预判, 以便有利于智能化在煤矿建设中的良性应用与健康发展。

关键词

煤矿, 智能化掘进工作面, 特征, 难题, 趋势研究

Characteristics and Trend of Intelligent Heading Face in Coal Mine

Xinling Yan

Mine Construction No. 3 Division, Pingmei Shenma Construction Engineering Group Corporation Ltd.,

Pingdingshan Henan

Email: sanchuyan@126.com

Received: May 19th, 2021; accepted: Jun. 16th, 2021; published: Jun. 24th, 2021

Abstract

The construction of intelligent driving face in coal mine is an important part of the construction of intelligent coal mine, and it is also an important symbol of the completion of intelligent coal mine. In this paper, the development process of intelligent driving face in coal mine, the basic characteristics it should have, the problems it faces and how to scientifically build intelligent driving face in practice are discussed, analyzed, summarized and predicted in detail, so as to facilitate the benign application and healthy development of intelligent driving face in coal mine construction.

文章引用: 闫昕岭. 煤矿智能化掘进工作面特征与趋势展望[J]. 现代管理, 2021, 11(6): 626-632.

DOI: 10.12677/mm.2021.116080

Keywords

Coal Mine, Intelligent Heading Face, Features, Difficult Problems, Trend Research

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

随着“中国制造 2025”战略规划的全面实施及工业 4.0 信息物理融合技术的不断进步，“智能工厂”、“智能制造”在我国蓬勃兴起和快速发展[1]，尤其在离散制造业和物流业已得到充分利用，效果显著。以离散制造业为例，汽车、机械、模具、航空航天、家电、消费电子等产品，除了其自身要求尽可能智能化外，其设计和制造过程全部或部分已实现智能化，达到了生产效率提升和节能降耗双收益。伴随着智能化的浪潮，近几年煤矿在井下智能化采煤和掘进施工方面也进行了不少探索和尝试，积累了一定的经验，但整体仍处于起步阶段，应用水平赶不上工业制造业。

我处作为专业煤矿建井施工单位，基于市场需求和保持竞争优势等因素考虑，一直在尝试煤矿智能施工设备应用和煤矿井下智能化掘进工作面全方位建设，在 BIM 技术基础上力争迈上智能化施工台阶，只是由于没有成熟的经验可以借鉴，对一些煤矿井下专业问题处置思路和智能化掘进工作面标准认识不一，争论较多，实施效果不理想。为此，本文就煤矿智能化掘进工作面应该具有的特征、面临的难题、怎样建设智能化掘进工作面等一些基础性问题进行理论论证和分析、总结，以利于智能化在煤矿建设施工中的良性应用与健康发展。

2. 掘进工作面机械化自动化智能化发展历程

煤矿建设施工行业是建筑业在煤矿地下工程中的分支学科，由于地下工程的特殊性、复杂性，再加上可能造成安全事故的不确定因素多，所以井下开掘施工管理最有机器人自动施工的急迫性。急需机械化、自动化或者说智能化的施工设备与工艺，最好是机器人代替人工作业，人员不下井或少下井。但井下工程的特点，决定了井下巷道掘进智能化和智能化掘进工作面的装备速度和使用不会超前于地面建筑工程，只有在地面使用成熟或至少实验成熟的装备技术才可以用于煤矿井下。新中国成立以来，煤矿井下施工行业在机器换人、自动化、智能化施工的大方向上不断探索，以代表先进施工生产力的国有大型煤矿施工企业为观察对象，其发展历程大致可划分为以下五个阶段。

一是起步缓慢发展期：1955 年~20 世纪 80 年代初。井巷工程施工主要特征是人工 + 部分半机械化设备。平斜巷整体为钻爆法施工，施工设备引进了前苏联的耙斗机、矿车、电机车等，凿岩是人抱电钻或风钻，耙斗机、矿车的使用使装砧排砧效率得到很大提升；立井井筒施工中使用了进口中小型号凿井绞车、吊桶等设备；暗立井反井施工以全人工为主[2]。

二是引进消化适应期：20 世纪 80 年代~90 年代中。随着改革开放大潮的推进，这一阶段煤矿施工业从波兰、瑞典、德国、英国、日本等国家引进了大量自动化、半自动化先进设备，并结合我国实际进行了适度创新，施工效率进一步提升。显著特征是煤巷中开始广泛使用综合掘进机 + 皮带设备，岩巷中开始试用岩石掘进机 + 皮带设备，替代了人工凿岩工序，喷浆机全面推广；立井井筒施工在引进部分设备的基础上，自主攻关的“立井短段掘砌机械化配套快速施工项目”取得成功，使立井施工的机械化、自

动化程度达到了 80% 以上,但仍需要较多的岗位操作人员;暗立井施工中开始使用反井钻机并快速推广,施工效率和安全保障都得到极大提高。

三是自主创新自动化设备快速发展期:20 世纪 90 年代中~2005 年前后。煤矿施工设备经过前一阶段大批量从国外购买引进后,在有成功的经验和不成功的教训案例示范下,施工单位开始冷静下来,开始考虑结合我国矿山工程实际特点,思考哪些设备是真正适用于我们自己的,哪些工作是我们自己能做的。在坚定实施矿山施工机械化、自动化、信息化的大前提下,施工单位与设备制造单位合作进行自我创新制造新施工设备的潮流兴起。煤、半煤岩巷道中各种功率的国产掘进机全面使用,岩石掘进机不断出新试用;坚硬岩巷中国产凿岩台车、铲车、耙装机、梭车等开始推广;立井井筒钻井法施工设备、冻结法施工钻孔设备、冻结设备、大直径凿井绞车都实现了国产化并得到实际应用;反井钻机也开始创新研制和推出样机试用。这阶段矿山工程施工效率进一步提升[3]。

四是智能设备蓬勃使用期:2005 年~2015 年前后。这一阶段,结合煤矿安全管理、环保管理新要求,煤矿施工行业提出和持续落实“机械化替人、自动化减人、信息化少(无)人”的总目标,施工设备不断升级换代,自动化、集控化、初步智能化设备大量出现与使用。标志事件就是具有高度集控功能的盾构机、智能化机械手、节能变频设备、智能安全监控系统、和井下通讯局域网开始进入井下,并取得了较好应用效果。立井井筒施工中提升吊挂系统及施工设备开始提出智能化改造概念,如取消悬吊滑模绳试验自动控制的液压迈步滑模、自适应运行绞车等。总体状况是井下施工个别系统或个别作业环节已明显体现出智能化特征。

五是全面智能化掘进工作面探索发展期:2015 年至今。随着大数据、云计算、互联网、物联网等信息技术的发展和中国政府《中国制造 2025》制造强国战略的强力实施,智能化设备制造水平和实用性大幅度提高,各行各业智能化融入或智能化改造方兴未艾,尤其工业制造业、医学、物流业等人工智能技术已有深入应用。在此情况下,智能化掘进工作面概念也开始进入煤矿施工行业的视野。鉴于煤矿井下巷道施工所处环境与生产辅助系统的复杂性,整体实现工作面的智能化掘进比地面要困难的多。近几年,部分大型国有煤炭或煤矿建设施工企业,在井下巷道施工中单一辅助系统或个别生产环节智能化的基础上,探索实施整体智能化掘进工作面的装备与运行,如对煤矿井下用钻装锚运一体机、盾构机的持续升级改造实验,取得了一定的进步与经验,但仍不具有成熟推广价值。

3. 智能化掘进工作面应有的特征与效果

3.1. 智能化掘进工作面的概念

人工智能的概念强调以智能机器模拟、延伸和扩展人类的智能,使智能机器会听(语音识别、机器翻译等)、会看(图像识别、文字识别等)、会说(语音合成、人机对话等)、会思考(人机对弈、定理证明等)、会学习(机器学习、知识表示等)、会行动(机器人、自动驾驶等),一句话就是正常人类的替身与扩展[4]。结合煤矿井下工程施工特点,智能化掘进工作面的概念应该表述为:为实现煤矿井下开掘工程安全快速有效施工,装备有可以自适应井下巷道围岩条件,适时调整施工图设计,完全自主或部分自主完成巷道施工掘、支、装、运环节工作及相应的数据收集与存储、发送,并能够自动实现安全生产条件检测、判断与处理能力的智能设备的井下工作场所。

3.2. 智能化掘进工作面的特征

根据人工智能的特点和上述煤矿井下智能化掘进工作面的概念内涵,智能化掘进工作面应至少具有 6 大基本特征。

- 1) 生产设备网络化。在井下掘进工作面,掘进、支护、装砧、运输等主环节工作和通风、供电、供

水、供压风、排水、除尘、安全监控等辅助环节工作分别由不同的设备和系统完成，即使最为先进的盾构机和综合掘进机，目前也只是集成了几项功能。在智能掘进过程中，将所有设备及工位统一联网管理，使设备与设备之间、设备与计算机(集控中心)之间、设备与工位人员之间能够联网通讯、紧密关联、无缝连接。如现场技术人员可以在自己的计算机上，根据掘进设备传回的数据，及时调整巷道的设计参数，然后上传至集控中心，经审核同意后再把修改后的程序传至机器设备执行，同时技术人员还可在工位计算机上实时对比与建立档案文件。

2) 生产数据可视化。这是利用大数据分析进行设计生产决策的前提。井下掘进施工现场条件、影响因素繁多且瞬息万变，连续运转的作业线上的生产设备，所产生、采集和处理的数据量远大于日常企业中一般计算机和人工产生的数据，同时，系统正常生产对数据的实时性要求也会更高。智能生产现场，每隔几秒就必须能够收集一次数据并传输到控制中心，利用这些数据应该可以实现很多形式的分析，如岩石硬度、设备工作表面的承载力、主轴运转率、主轴负载率、做功率、零部件状态、设备综合利用率、成巷尺寸、安全参数(风量、瓦斯、CO浓度等等)。在生产过程中利用这些大数据，首先就能分析整个生产流程，了解每个环节是如何执行的，一旦某个流程偏离了标准工艺，还会产生一个报警信号，提示及时处理或自动纠偏；其次利用大数据技术，还可以对巷道掘进过程建立虚拟模型，仿真并优化生产布局和流程，以便进一步提高工效；再次，在安全管理方面，在设备运转过程中，利用各种传感器，可及时发现瓦斯、一氧化碳、巷道变形、水文、温度等异常安全信息，根据事先设定的严重程度提醒停机还是持续工作。

3) 生产文档无纸化。目前生产过程中矿建、机电、地测、安全等各专业需要大量的纸质文件支持，这些纸质文件大多分散管理，除不便于快速查找、集中共享和实时追踪外，还易丢失、浪费纸张、占用空间等。智能化生产实行无纸化管理后，技术、安全管理人员在现场即可快速查阅、浏览、下载、综合处理所需的生产安全信息，并实时进行归档保存，杜绝了文件、数据丢失和费时流转，有利于实现高效、环保、绿色生产。

4) 生产过程透明化。基于智能设备或智能作业线的智能化掘进工作面，在MES(制造执行系统)统筹下，整个生产施工工艺也必然能够实现仿真优化、数字化管控、状态信息实时监测和自适应控制，体现出智能管控的特征，更好的实现精准生产和落实设计意图，同时使生产过程透明化。目前MES在工业制造业已有比较成熟的技术，但对建筑业、尤其是煤矿井下施工工业，才刚刚起步研究，还必须进一步加大开发攻关力度，重点解决好设计调整、系统协调、资源到位、安全正常等四方面密切配合的问题，从而确保现场连续生产和各级管理者可以在最短时间内掌握生产现场的变化情况，最大限度地保持生产流程畅通和提高施工功效。

5) 生产现场无(少)人化。人类追求智能化制造、生产的最终目的，也就是要实现机器代替人自动工作，煤矿井下作业对此更有渴求。“中国制造2025”战略推动了我国工业机器人、机械手臂、集成化自动作业单元等智能设备的广泛应用，使地面工厂的无人化制造成为可能，也给井下无人掘进带来了希望。针对井下巷道掘进施工现场，智能化掘进工作面的数控中心、智能作业系统及坐标自控单元等应该可以进行自动化调度，掘、支、装、运等环节实现自动转换，达到无人值守的全自动生产化模式；即使掘进生产过程中遇到了问题，一旦解决，也可以立即恢复自动化生产。整个施工过程无需人工或极少量人工参与。

6) 安全管控拟人化。由于煤矿井下生产环境中面临水、火、瓦斯、顶板、冲击地压、高温等多种可能造成安全事故的因素的威胁，再加上空间受限一损俱损，这种特殊性决定了井下的任何工作必须把安全生产放到首位去考虑。安全生产具有压倒一切的优先性。井下智能掘进工作面也必须首先做到安全可控。配备的智能设备或安全智能管理系统，必须对井下施工过程中各种可能的不安全因素，能够及时

收集、判断、存档、预警和处理，并根据事先设定的条件确定可否生产或调整设计。

4. 煤矿建设智能化掘进工作面面临的难题

对比煤矿智能化掘进工作面应该具有的特征，严格意义上讲，截至目前国内煤矿还没有建成一条智能化掘进工作面，甚至智能化生产工作面也没有建成(标准不统一)。之所以出现这种情况，还在于煤矿井下掘进作业面临很多地面工厂正常生产过程中不会遇见的问题，或者说难题。具体讲，有以下四个方面。

一是施工图设计频繁更改问题。井下巷道设计有其固有的遵循，施工过程中，随着地质条件变化，如出现褶曲构造、开放式断层、顶板岩层破碎、距煤层距离发生变化等情况时，就需要对巷道断面尺寸、支护形式、空间坡度参数进行调整，以适应现场实际。如果不进行调整，就可能出现顶板垮落压实设备、底板下沉困住设备或废巷情况出现，造成生产不能连续或无效生产。关键是，这种情况在我国中、东部地区和西南地区的煤矿中还频繁出现。

二是安全威胁因素多变问题。保护人的生命健康实现安全生产是煤矿首保目标，而井下不安全因素恰恰最多。智能化设备全部或部分取代人工后，人员零星工伤事故可杜绝或大幅度减少，人的不安全因素可以忽略不计。但对可能引起大范围危害后果的非伤亡事故的预防必须引起高度关注，并作出智能化设计处理，否则，一旦发生破坏性事故，任何设备也会变成一堆废铁。比如，瓦斯燃烧事故、瓦斯爆炸事故、煤尘爆炸事故、冲击地压事故、顶板事故、透水事故、大范围停电事故等，都会造成区域性破坏后果，造成这些事故的因素伴随着生产过程无时无刻都存在着，这是煤矿井下作业的特点，也是难点，更是智能化作业首要解决的问题[5]。

三是掘进辅助系统复杂问题。传统煤矿井下掘进工作面生产辅助系统相对复杂，除供电系统外，还有通风、供压风、供水、排水、通讯、运输、除尘、瓦斯及其他有害气体温度监控等系统，其中运输系统还是双向的，不但要解决矸石运出问题，还要解决支护材料运入问题。系统越多，问题也会越多，要有效运转，协同工作至关重要，这些都是智能化设备或智能化工作面必须要面对的。当然，考虑到智能化工作面的作业动力及方式与传统不同，很多系统可以优化合用或省掉。

四是作业空间受限问题。这个问题是不言而喻的。煤矿井下巷道掘进工作的最大特点，就是只能从一个方向向前施工，从一个方向退出，不像地面作业，可以四面八方、上下左右施以援手，一台设备解决不了的问题，可以同时上多台解决，但井下不能在前进时完成的工序，就必须退出来另补；再就是作业断面受限。巷道断面积从几平方到几十平方的都有，差异性比较大，支护形式也有多种，这会对智能设备的功能设计提出更高要求，也会造成设备通用性受限。

5. 趋势展望

随着工业制造智能化和“智能工厂”的快速发展，煤矿从施工到生产各方面实现智能化是大趋势。结合近几年煤矿智能化设备从“不能用”到“可以用”的不断突破和井下巷道施工的特点与现状，在可以预见的未来，煤矿智能化掘进工作面会出现怎样的趋势呢？

5.1. 巷道支护理念取得新突破，支护形式适用于智能化施工

目前煤矿巷道主流的支护形式为锚、网、索、喷、注等两种或几种形式的组合，突出特点就是同一地点无法实现平行作业，不适宜综合智能掘进设备一次成巷的特征。为此，巷道支护理念也要实时创新，考虑随着TBM的推广应用，管片支护、一次初成巷技术也应该可用于煤矿井下巷道，如果有必要，可在过后空间、时间具备时予以支护补强；支护形式改进后，相应的工程造价也必须予以调整。

巷道支护形式的改变是智能化工作的重要基础之一。

5.2. 可替代人工的真正智能化单一设备广泛用于井下

随着智能化设备的成熟完善,不具备系统集成化施工工作面的个别环节或掘进工序完全可以用智能设备代替,进而彻底淘汰传统的钻爆法施工技术。如用机器人掘进、机器人钻车凿岩、机械手安装锚杆或金属支架、机械手喷浆、智能绞车、智能水泵、智能风机、智能巡查机器人、智能安管系统等,这都可以减少大量的人工投入,减少井下施工安全风险。

5.3. 从单一智能设备应用向专业智能化系统应用发展

如何实现单一智能设备的信息化联网驱动,进而形成巷道掘进过程中某个生产或辅助系统的一体化智能化,是一定时期内煤矿井下智能化应用的主要发展方向。对巷道掘进来说,目前安全监测自控系统使用较为成熟,在此基础上,可以结合生产实际条件,对掘、运、排系统实现智能化,对运、支、固系统实现智能化,对供水、排水系统实现智能化,对通风、洒水、除尘系统实现智能化等,如此通过对一个专业系统的智能化,达到局部智能化作业的目的。当然,由单台智能化设备组成的系统,要想发挥好系统功效,每台设备之间的通讯必须畅通、快捷、及时,为此,云计算和5G技术的入井也势在必行。

5.4. 从专业智能化系统向综合智能掘进系统应用发展

装备具有自主适应功能的综合智能化掘进设备(单元)、实现井下巷道工作面自主作业、一次成巷是目前井工开采掘进作业追求的终极目标。实现这一目标,巷道施工就可以达到无人化或极少人化,从而节约大量人工成本,规避安全风险,实现绿色施工。目前看,实现这一目标的有效途径之一,就是对盾构机不断进行智能化改造升级,使之能够适应煤矿井下环境,应用于井下煤、岩石巷道施工,甚至适用于大断面竖井施工。这方面已有案例,但都没能实现全工序一次成巷,与整体智能化掘进要求目标仍有较大差距。

5.5. 开辟人工智能和智能设备应用新领域

人工智能是一门新兴交叉学科,智能设备制造是当前工业制造业的热点,并且会持续下去,但这两方面针对煤矿井下生产适用的研究应该说才刚刚起步。煤矿井下作业面临地质条件复杂、不安全因素多的特点,决定了每个煤矿都渴望能够实现智能机器完全替代人的目标,以实现安全生产,所以,煤矿对能够用于井下的智能设备的需求巨大,愿望迫切。这反过来会促使人工智能研究关注煤矿,制造更多的智能设备用于煤矿,从而促进人工智能产业和智能设备制造业的发展。只是这一过程可能会更加曲折。

6. 理性思考

在煤矿开采和掘进生产智能化大潮中,如何正确选择,既确保不脱离矿井实际,又能推进煤矿智能化工作、达到安全高效绿色目标至关重要。

1) 要尊重现实,选择合适的掘进智能化途径。迫于安全生产压力,虽然众多井工开采煤矿急需井下无人智能化作业,但客观讲,很多煤矿并不具备井下掘进全面智能化的条件,尤其地质灾害严重的矿井、中小矿井及系统复杂的老旧矿井等。为此,要结合矿井实际,不求高大上,但求实效有用,可探索选择从一个点的单台智能化设备应用,逐渐扩展成一条线上智能化设备的应用,步步为营,积累经验。

2) 正确看待智能化“烧钱”运动,算好综合账。一些人总认为上煤矿智能化掘进设备就是“烧钱”,性价比太低,对掘进工作整体无意义。这种观念是不正确的,不利于煤矿智能化进程。综合看,智能化掘进系统一个月施工岩石巷道300~500 m是可以达到的目标,是不是“烧钱”,既要算一条巷道的性价比,又要算采面早投产早收益的账,更要算安全账和对技术进步的促进作用。

3) 全面提前规划, 智能化工作要从矿井和巷道设计做起。智能化工作是个高投入系统工程, 即使是一个掘进工作面要实现智能化管理也是如此。为此, 要想顺利推进智能化掘进工作面的实施, 最好从建设智能化矿井做起, 即从矿井整体设计和系统、巷道设计时就考虑智能化施工的需要, 不做无谓的投入, 前一步的工作一定要为后一步工作打基础。

参考文献

- [1] 国务院. 中国制造 2025 白皮书[M]. 北京: 中信出版社, 2015.
- [2] 崔云龙, 曹静, 虞咸祥, 等. 简明建井工程手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [3] 本刊观察家. 辉煌五十年——中国煤炭工业发展成就透视[J]. 煤炭企业管理, 1999(11): 1-6.
- [4] 谭铁牛. 人工智能的历史、现状和未来[J]. 求是, 2019(4): 39-46.
- [5] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2016.