

浅析煤矿巷道掘进技术的现状与发展

郝记伟

山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司 山西 忻州 034000

摘要：煤炭在能源体系中占据重要地位，煤矿巷道掘进作为煤炭开采的关键基础环节，其技术水平直接影响煤矿生产的安全、效率与可持续性。本文围绕煤矿巷道掘进技术展开研究，阐述了其概念，并介绍钻爆法、机械化掘进法、水力掘进法三类主流技术及其特点，同时分析技术在生产效率、成本控制、资源利用方面的重要性。接着从传统、现代、联合掘进技术三方面剖析现状，传统技术存在效率低、安全风险高等问题，现代技术虽提升自动化与效率但仍有限，联合技术理论研究待深入。最后指出技术将向智能化、高效化、安全化、绿色化方向发展，为煤矿行业掘进技术应用与升级提供参考。

关键词：煤矿巷道掘进技术；现状；发展趋势

引言：当前随着煤矿开采规模扩大与地质条件复杂化，传统掘进技术已难以满足需求，现代技术虽逐步推广但仍面临诸多挑战。在此背景下，深入研究煤矿巷道掘进技术的概述、现状及发展趋势，对解决当下技术应用难题、推动技术创新升级、保障煤炭行业稳定发展具有重要意义。本文以此为出发点，系统梳理相关技术内容，为行业实践与研究提供理论支撑。

1 煤矿巷道掘进技术概述

1.1 煤矿巷道掘进技术的概念与分类

煤矿巷道掘进技术，是指在煤矿开采作业中，借助特定工艺、设备与手段，在地下煤层或岩层中开挖出用于煤炭运输、通风、人员通行及设备安置等功能通道（即巷道）的专业技术体系。其核心在于通过科学的技术手段，实现地下空间的有序开辟，为煤矿整体开采流程提供基础保障。

该技术主要可分为以下三类：（1）钻爆法，以炸药爆破为核心环节，先通过设备在目标岩层或煤层钻孔，再填入炸药并引爆，使岩石或煤层破碎，后续进行清理与支护作业，其特点是技术成熟、适用范围较广，对不同硬度的岩层或煤层均有一定适应性，但作业流程相对分散，各工序衔接需精准把控；（2）机械化掘进法，依靠掘进机、转载机、支护设备等组成的成套机械系统开展作业，能同步完成破岩、装岩、运岩与支护等工序，特点是自动化程度较高，作业连续性强，可减少人工操作环节，不过对设备性能与维护要求较高；（3）水力掘进法，利用高压水流的冲击力破碎煤层或松软岩层，同时完成物料的输送，特点是作业过程中粉尘产生量较少，对作业环境影响相对较小，但对水压控制要求严格，且在坚硬岩层中适用性有限。

1.2 煤矿巷道掘进技术的重要性

煤矿巷道掘进技术是煤矿开采过程中的关键基础环节，其技术水平与应用状况，直接关系到煤矿安全生产的基本保障。其重要性体现在以下方面：（1）在生产效率层面，合理的掘进技术可优化巷道开挖流程，减少作业间断时间，提升巷道成型速度，确保煤矿开采所需的运输、通风等通道及时到位，避免因巷道建设滞后影响整体开采进度。（2）从成本控制角度来看，高效的掘进技术能减少不必要的人力、物力投入，降低设备损耗与能源消耗，同时减少因技术不当导致的返工、维修等额外成本，助力煤矿企业实现成本优化。（3）在资源利用方面，科学的掘进技术可通过精准的巷道规划与开挖，减少对煤层的浪费，确保煤炭资源能按合理路径开采，提升资源开采的整体利用率，符合煤矿行业可持续发展的基本要求^[1]。

2 煤矿巷道掘进技术现状

2.1 传统掘进技术现状

（1）传统的煤矿巷道掘进技术中，钻爆法占据重要地位。其原理是通过在煤层或岩层中钻孔，装填炸药并引爆，利用炸药爆炸产生的能量破碎岩石，从而开辟巷道空间。在钻孔环节，以往多采用人工手持式风钻，这种方式劳动强度极大，工人需长时间手持沉重设备，在狭窄空间内保持特定姿势作业，且受工人个体差异影响，钻孔效率和质量参差不齐。随着技术发展，虽出现了一些机械化程度稍高的钻孔设备，如简易的液压钻车，但整体仍未摆脱人工干预较多的局面。爆破作业时，炸药的选择、用量计算以及装药结构设计等，主要依赖技术人员的经验判断，缺乏精准的理论模型支持，这导致在实际操作中，易出现炸药使用过量或不足的情

况。炸药过量,不仅造成资源浪费,还会对巷道周边岩体结构产生过度破坏,增加后续支护难度;炸药不足,则无法有效破碎岩石,影响掘进进度。钻爆法掘进过程中,产生的粉尘、有害气体以及强烈噪音,严重污染井下作业环境,危害工人身体健康,且爆破作业本身存在较高安全风险,稍有不慎便可能引发安全事故。(2)挖掘机掘进法作为传统技术的一种,主要通过挖掘机的铲斗直接挖掘煤层或较为松软的岩层来实现巷道掘进。这种方法设备相对简单,初期投入成本较低,在一些地质条件较为简单、煤层松软且对巷道成型精度要求不高的小型煤矿中仍有应用。然而,其局限性也十分显著。挖掘机的挖掘能力有限,面对硬度稍高的岩石便难以发挥作用,掘进效率极低。同时,挖掘过程难以保证巷道壁的平整度,容易造成巷道超挖或欠挖,不仅增加了支护材料的消耗,还可能影响巷道的稳定性。

2.2 现代掘进技术现状

(1) 综合机械化掘进技术是现代煤矿巷道掘进的主流方向之一。该技术以掘进机为核心,配套转载机、运输机以及支护设备等,形成一套完整的机械化作业系统。掘进机按照工作机构形式,可分为悬臂式掘进机和全断面掘进机。悬臂式掘进机灵活性较高,能够适应不同形状和尺寸的巷道掘进需求,在我国煤矿巷道掘进中应用广泛。其工作时,通过悬臂上的截割头旋转破碎岩石或煤层,截割头可在一定范围内上下、左右摆动,实现对巷道断面的精确切割。但在面对硬度较高的岩石时,截割头的截齿磨损速度极快,频繁更换截齿不仅增加了设备维护成本,还会导致掘进作业中断,影响整体掘进效率。并且,悬臂式掘进机在作业过程中会产生大量粉尘,虽配备了一些降尘装置,但效果仍有待提升,粉尘污染问题对工人健康和井下安全生产构成威胁。(2) 全断面掘进机则适用于大断面、长距离的巷道掘进工程。它能够一次性完成整个巷道断面的掘进工作,掘进速度快、效率高,且巷道成型质量好,能有效减少后续支护工作量。全断面掘进机一般采用滚刀破岩方式,通过刀盘的旋转使滚刀在岩石表面滚动,利用滚刀的挤压和剪切作用破碎岩石。其刀盘直径根据巷道断面尺寸定制,大型全断面掘进机刀盘直径可达数米甚至十几米。不过全断面掘进机设备庞大、结构复杂,购置成本极高,且对施工场地和技术人员要求苛刻。其安装、调试过程繁琐,一旦出现故障,维修难度大、时间长,会造成巨大的经济损失。全断面掘进机的转弯半径较大,在巷道走向复杂多变的情况下,应用受到一定限制。(3) 智能化掘进技术作为现代掘进技术的前沿发展方向,正逐渐改变着煤矿巷道掘进的作业模式。它融合了人工智能、

大数据、物联网、自动控制等先进技术,实现了掘进过程的自动化、智能化控制。智能化掘进设备能够通过各类传感器实时感知巷道围岩状况、设备运行状态等信息,并将这些数据传输至控制系统。控制系统利用大数据分析和人工智能算法,对采集到的数据进行处理和分析,进而自动调整设备的运行参数,实现精准截割、自动支护等功能。智能掘进机可根据岩石硬度的变化自动调节截割头的转速和推进速度,在保证掘进效率的同时,降低截齿损耗。在支护环节,智能化系统能够依据巷道围岩的稳定性,自动控制支护设备的动作,实现锚杆、锚索的精准安装,提高支护效果和安全性。智能化掘进技术还可实现远程操控,操作人员可在远离井下危险区域的地面控制中心,通过远程监控系统对掘进作业进行实时监控和操作,极大地保障了人员安全^[2]。

2.3 联合掘进技术现状

爆破-机械联合掘进技术,主要针对硬岩巷道掘进而发展起来。其原理是先通过超深孔爆破技术对岩体整体强度进行弱化处理,然后再采用机械化设备进行后续掘进作业。在爆破阶段,超深孔爆破相较于传统爆破,能够将炸药能量更集中地作用于深部岩体,使岩体在较大范围内产生裂隙,降低岩石整体强度,为后续机械化掘进创造有利条件。在实际应用中,超深孔爆破的钻孔深度、孔径、孔间距以及炸药的选择和装填方式等参数,需要根据具体的岩石性质和巷道设计要求进行精确计算和优化。然而,目前在该技术领域,对于地应力条件下爆破裂纹的空间形态、扩展规律以及堵塞长度等方面的理论研究尚不够深入,导致爆破参数的设计在一定程度上依赖经验,难以充分发挥爆破效果,甚至可能因爆破不当对巷道围岩造成过度损伤。在机械化掘进环节,经过爆破弱化后的岩石,虽强度有所降低,但由于爆破后岩石的破碎程度和块度分布不均匀,对机械化掘进设备的适应性提出了更高要求。现有的掘进机在处理这种经过爆破预处理的岩石时,可能会出现截割困难、设备振动加剧等问题,影响掘进效率和设备使用寿命。爆破-机械联合掘进技术的作业流程相对复杂,需要爆破作业团队和机械化掘进作业团队之间密切配合,任何一个环节出现问题,都可能导致整个掘进作业的延误^[3]。

3 煤矿巷道掘进技术发展趋势

3.1 智能化发展

智能化其核心在于通过技术手段减少人工干预、提升作业精准度与稳定性。当前,智能控制技术已逐步应用于掘进设备,通过传感器实时采集围岩参数、设备运行数据,经算法分析后自动调整截割速度、支护力度等

参数,实现掘进过程的动态适配;远程操控技术则突破井下作业空间限制,操作人员可在地面通过可视化系统监控掘进状态,完成设备启停、参数调整等操作;无人驾驶技术进一步提升掘进自动化水平,依托定位导航与路径规划算法,掘进设备可自主规避障碍、保持作业轨迹,减少人为操作误差。未来智能化发展将更注重多技术融合,推动智能感知、数据分析与设备控制的深度协同,同时强化系统抗干扰能力,提升复杂地质条件下的适应性。

3.2 高效化发展

提高掘进速度与效率是应对煤矿开采规模扩大、保障资源供应的关键需求。全断面掘进技术作为高效掘进的重要载体,将进一步优化设备结构,提升刀盘破岩强度与耐磨性能,缩短设备检修时间,同时改进排渣系统,减少作业中断;快速掘进技术则聚焦工序衔接优化,通过整合掘进、支护、运输等环节,实现各设备的同步作业,减少工序间隔,此外,还将加强设备功率与作业参数的匹配设计,在保证安全的前提下提升单位时间掘进量。高效化发展将结合地质探测技术,提前预判围岩条件,为掘进参数调整提供依据,同时推动设备轻量化与模块化设计,提升设备移动与组装效率,适应不同断面巷道的快速转换作业。

3.3 安全化发展

安全防护技术的升级将围绕风险预警与伤害防控展开。在防尘方面,将优化喷雾降尘系统,结合气流组织设计,提升粉尘捕捉效率,同时开发高效防尘口罩等个体防护装备,减少粉尘吸入;防瓦斯技术将强化实时监测能力,通过高精度传感器实现瓦斯浓度的连续监测,搭配自动抽排系统,确保瓦斯浓度控制在安全范围;防爆技术将聚焦设备本质安全改进,采用防爆材质与结构设计,避免设备运行中产生火花,同时完善防爆检测标准,提升设备安全可靠;人员安全防护则将加强定位与预警系统应用,实时追踪人员位置,在危险区域触发声光预警,同时优化井下应急通道设计,提升紧急情况下的疏散效率。未来,安全化发展将更注重“预防

为主”,通过大数据分析构建风险预警模型,提前识别潜在安全隐患,实现从被动防护到主动防控的转变。

3.4 绿色化发展

绿色化技术将覆盖巷道掘进的全流程污染治理。在废水排放控制方面,将优化井下废水收集系统,采用高效沉淀、过滤与净化技术,提升废水循环利用率,减少外排污水量;废气排放治理将加强井下通风系统优化,提升空气流通效率,同时开发低能耗的有害气体吸附技术,降低废气中污染物浓度;噪声污染治理将从设备源头入手,改进电机、风机等设备的降噪结构,采用减振、隔声材料,减少噪声传播,同时为操作人员配备隔音防护装备;固体废物处理将推动掘进矸石的资源化利用,通过破碎、筛分等工艺将矸石转化为建筑材料或填充料,减少固体废物堆存。绿色化发展将进一步整合环保技术与生产流程,推动“零排放”理念落地,同时加强环保设备的节能设计,降低治理过程中的能源消耗,实现经济效益与环境效益的协同^[4]。

结束语:煤矿巷道掘进技术历经发展,已形成多类型技术体系,在不同场景发挥作用,但传统技术的局限、现代技术的不足及联合技术的研究缺口,仍制约着其发展。而智能化、高效化、安全化、绿色化的发展趋势,为技术突破指明方向。未来要围绕这些趋势深化技术研发,解决现存问题,推动技术与煤矿生产深度融合。相信通过持续创新与实践,煤矿巷道掘进技术将不断升级,为煤炭行业实现安全、高效、绿色生产提供更坚实的技术保障,助力行业可持续发展。

参考文献

- [1]张旭宏.浅析煤矿巷道掘进技术的现状与发展[J].能源与节能,2024(8):173-175,187.
- [2]孔宏伟.浅析煤矿开采工程巷道掘进和支护技术[J].矿业装备,2024(7):114-116.
- [3]赵连欢.煤矿巷道掘进技术现状及未来发展趋势[J].内蒙古煤炭经济,2024(11):139-141.
- [4]赵忠强.煤矿巷道掘进技术与装备的现状与发展趋势[J].能源与节能,2024(1):200-203.