

采矿工程巷道掘进和支护应用

朱玉祥

乌海市裕隆利胜矿业有限公司 内蒙古 乌海 016000

摘要：随着矿产资源开发向深部和复杂地质条件延伸，巷道掘进面临着地压增大、岩层破碎等诸多挑战。因此，本文聚焦采矿工程巷道掘进和支护应用。首先介绍传统与现代化掘进技术，包括钻爆法、机械掘进法、全断面掘进机等；阐述传统与新型支护技术，如锚杆支护、锚杆锚索联合支护等。接着探讨掘进与支护技术的协同应用，涵盖合理衔接、技术组合选择等方面。最后分析其发展趋势，涉及智能化与自动化、绿色环保技术、新材料与新技术的应用。旨在为采矿工程巷道施工提供技术参考，提升施工效率与安全性。

关键词：采矿工程；巷道掘进；支护应用

引言：在采矿工程中，巷道掘进与支护是关键环节，直接关系到矿井建设进度、生产安全及经济效益。随着矿业发展，对巷道掘进效率和支护可靠性要求日益提高。传统掘进与支护技术虽有一定应用基础，但在复杂地质条件下存在局限性。近年来，现代化掘进技术不断涌现，新型支护技术也持续创新。深入研究巷道掘进和支护技术，探索二者协同应用模式，并把握其发展趋势，对推动采矿工程技术进步、保障矿山安全生产具有重要的现实意义。

1 采矿工程巷道掘进技术

1.1 传统掘进技术

1.1.1 钻爆法

钻爆法是采矿工程中历史悠久且应用广泛的传统掘进技术。其原理是通过在巷道掌子面按设计布置炮孔，装填炸药后实施爆破，利用炸药爆炸产生的能量将岩石破碎，随后进行出渣作业。施工时，先使用凿岩设备钻孔，再依次完成装药、连线等工序，最后起爆。该方法设备投入低、操作简便，对地质条件适应性强，在小型矿山或地质复杂、断面不规则的巷道掘进中优势显著。但钻爆法存在明显弊端，爆破产生的震动、飞石易引发安全事故，同时伴随大量粉尘与噪音污染；且爆破效果受地质影响大，超挖、欠挖现象普遍，施工效率较低，难以满足现代化大规模采矿需求。

1.1.2 机械掘进法

机械掘进法主要依靠悬臂式掘进机等机械设备直接破碎岩石。作业时，掘进机的旋转截割头将岩石破碎，破碎后的岩渣通过刮板输送机和皮带输送机运出巷道。相较于钻爆法，机械掘进法无需爆破，极大降低了安全风险，减少了粉尘、噪音污染，改善了施工环境；同时，其对巷道成型的控制精度高，超欠挖现象少，施工

质量得以提升。然而，该技术也存在局限性，设备购置与维护成本高昂，在硬岩掘进时效率明显下降；并且设备体积较大，在狭窄或地质条件复杂的巷道中作业灵活性不足，限制了其应用范围。

1.2 现代化掘进技术

1.2.1 全断面掘进机（TBM）

全断面掘进机（TBM）是集掘进、支护、出渣等功能于一体的大型隧道施工设备。其工作时，刀盘上的刀具旋转切削岩石，破碎的岩渣通过皮带输送机运出，同时利用管片拼装机及时进行支护，实现掘进与支护同步作业。TBM具有高效、安全、精准的特点，可显著提升掘进速度，减少人工干预，降低劳动强度和安全风险；施工过程中对周边环境影响小，能有效控制超挖、欠挖现象，保障巷道成型质量。不过，TBM前期设备采购和运输成本极高，对地质条件要求苛刻，在断层破碎带、软土地层等复杂地质区域，易出现卡机、刀具磨损严重等问题，应用时需充分评估地质状况。

1.2.2 智能化控制技术

智能化控制技术深度融合传感器、物联网、大数据及人工智能，革新了采矿工程巷道掘进模式。借助激光导向系统与惯性导航设备，可精准控制掘进方向，避免偏差；利用地质雷达、超前钻探等手段，实时探测前方地质信息，提前预警风险，为施工决策提供数据支撑。设备运行中，智能算法能自动优化截割头转速、推进速度等参数，实现高效破岩。同时，远程监控与无人化作业技术的应用，减少了人员在高危环境的暴露，通过远程操控设备完成掘进、支护等工序，提升了施工安全性与效率，推动采矿工程向智能化、无人化方向迈进。

1.2.3 节能环保技术

节能环保技术是采矿工程巷道掘进绿色转型的关

键。在能源利用方面,采用变频调速技术,根据设备负载动态调节功率,降低能耗;引入液压混合动力系统,回收制动能量并循环利用,提升能源利用率。降尘方面,综合运用喷雾降尘、负压吸尘技术,有效降低作业环境粉尘浓度,改善工人劳动条件。此外,水资源循环利用系统将施工废水净化处理后重新投入使用,减少水资源浪费;通过优化施工工艺,减少材料损耗和废弃物产生,降低环境污染^[1]。

2 采矿工程巷道支护技术

2.1 传统支护技术

2.1.1 锚杆支护

锚杆支护是通过在巷道围岩中钻孔,置入锚杆并注入锚固剂,利用锚杆与围岩间的粘结力或摩擦力,将不稳定的浅层岩体与深部稳定岩体相连,使围岩形成自承结构。施工时,先确定锚杆位置并钻孔,再插入锚杆、填充锚固剂固定,最后安装托盘拧紧螺母施加预应力。该技术施工简便、成本较低,对巷道断面影响小,适用于中等稳定围岩条件的巷道支护。但锚杆锚固力有限,在破碎软岩、高应力等复杂地质环境中,单独使用难以满足支护需求,常需与金属网、喷射混凝土等联合应用,以增强整体支护效果。

2.1.2 锚索支护

锚索支护以高强度钢绞线或钢筋为主体,通过钻孔深入至巷道围岩深处稳定岩层,经注浆锚固后张拉锁定,为巷道提供强大悬吊力。与锚杆相比,锚索锚固深度大、承载能力强,能有效控制深部围岩变形,尤其适用于高地应力、大断面巷道及松软破碎岩层支护。施工时需精准钻孔定位,确保锚索插入稳定岩层,且张拉过程对设备和操作技术要求高。不过,锚索支护成本较高,施工工艺复杂,若预应力施加不当易导致局部应力集中,影响支护效果,因此需严格把控施工参数和质量。

2.1.3 喷射混凝土支护

喷射混凝土支护是利用喷射机将干拌料高速喷射至巷道围岩表面,干料在喷头处与水混合后迅速凝结硬化形成支护层。在高速冲击力作用下,混凝土填充围岩裂隙、封闭岩面,阻止风化和地下水侵入,同时与围岩紧密粘结共同受力。该技术施工速度快、适应性强,能及时对破碎围岩进行支护,适用于各类巷道。但喷射作业会产生大量粉尘,危害工人健康;单次喷射厚度有限,混凝土收缩易开裂,耐久性不足,常需与锚杆、钢筋网等联合使用,通过多层喷射和添加外加剂等方式,提升支护结构的整体性和稳定性。

2.2 新型支护技术

2.2.1 锚杆锚索联合支护

锚杆锚索联合支护融合锚杆的浅层加固与锚索的深层锚固优势,通过协同作用提升巷道围岩稳定性。锚杆先对表层破碎岩体进行锚固,形成承载拱,增强围岩整体性;锚索则深入稳定岩层,以强大的悬吊力将不稳定岩体与深部稳固区域相连,抑制深层变形。该技术适用于高地应力、破碎软岩等复杂地质条件,尤其在大断面巷道、交叉巷道等关键部位效果显著。二者配合可实现“先固表、后强基”,有效控制围岩变形,但施工中需精确设计锚杆锚索的布置参数与预应力值,以确保支护结构受力均衡。

2.2.2 高强支护技术

高强支护技术以高强度材料和先进工艺为核心,通过采用高性能锚杆、锚索、U型钢支架及特种混凝土等,结合注浆加固技术,大幅提升支护结构的承载能力与抗变形性能。该技术凭借高刚度、高韧性的特性,能有效应对深部开采中的高地应力、冲击地压等复杂工况,显著降低巷道变形量与维护频率。在深部矿井、断层破碎带等高危区域,高强支护可快速构建稳定的承载体系,但因其材料成本高、施工设备与工艺要求严格,应用时需综合评估地质条件与经济效益,精准选择支护参数,实现技术与成本的平衡。

2.2.3 可缩性支护

可缩性支护针对围岩大变形特点,通过特殊设计的可缩结构,如可缩性U型钢支架、让压锚杆锚索等,在围岩压力作用下产生可控变形,释放地应力,避免支护结构因应力集中而破坏。在软岩巷道、膨胀性地层及受采动影响区域,该技术可动态适应围岩变形,维持巷道长期稳定。可缩性结构通过预留变形空间或采用弹性元件,使支护体在受压时逐步压缩,保持对围岩的持续支撑力。然而,可缩量的设计需精准匹配围岩变形规律,否则易导致支护失效,且需结合实时监测数据优化力学性能,确保支护效果的可靠性^[2]。

3 采矿工程巷道掘进与支护技术的协同应用

3.1 掘进与支护的合理衔接

掘进与支护的合理衔接是保障采矿工程安全高效推进的基础。在时间层面,需依据掘进速度与支护工艺特性,精准规划支护作业启动节点。如采用钻爆法掘进时,爆破后应立即开展初喷混凝土、安装临时锚杆等支护作业,防止围岩因暴露时间过长而失稳;待掘进达到一定距离,再实施永久支护,确保支护强度逐步提升。在空间布局上,通过分段掘进、分段支护或交替作业模式,减少掘进与支护设备的相互干扰,优化施工流程。

同时,建立动态沟通机制,实时共享施工进度与围岩状况信息,及时调整作业安排,从而缩短工序等待时间,降低安全风险,实现高效有序施工。

3.2 根据地质条件选择合适的技术组合

地质条件是决定掘进与支护技术组合的关键因素。在硬岩地层中,全断面掘进机(TBM)搭配高强度锚杆、锚索支护是理想选择,TBM可高效破岩,高强支护能稳固巷道;而在软岩、破碎带等复杂地质区域,悬臂式掘进机配合锚杆锚索联合支护、可缩性U型钢支架更为适用,前者可灵活控制截割、减少对围岩扰动,后者能适应围岩变形。通过地质勘探、超前探测等手段,获取岩层岩性、地应力分布、地下水状况等数据,构建地质-技术匹配模型,为技术选型提供科学依据。

3.3 施工工艺动态调整与协同增效

采矿工程中,巷道围岩条件复杂多变,需对施工工艺进行动态调整以实现协同增效。利用地质雷达、钻孔窥视仪等设备实时监测围岩变化,若发现岩层破碎加剧、地应力异常等情况,立即调整掘进速度与截割参数,同时优化支护方案,如加密锚杆布置、增加锚索预应力。根据掘进进度与围岩变形速率,灵活调整支护材料强度与支护时间间隔,对变形缓慢的稳定围岩适当延长支护周期,对变形剧烈区域采用快速支护技术。

3.4 智能化技术赋能掘进与支护协同作业

智能化技术为掘进与支护协同作业带来革命性变革。借助物联网、大数据与人工智能技术,构建一体化智能管理平台,实时采集掘进设备状态、施工参数、围岩数据等信息,并进行智能分析。例如,通过传感器监测掘进机截割载荷、推进速度,结合地质信息,自动优化截割路径;依据围岩应力传感器反馈,智能调控锚杆锚索预应力与支护结构伸缩量。利用三维建模与数字孪生技术,模拟施工全过程,预判潜在风险并制定应急预案^[3]。

4 采矿工程巷道掘进与支护技术的发展趋势

4.1 智能化与自动化发展

智能化与自动化是采矿工程巷道掘进与支护技术的核心发展方向。未来,掘进设备将配备更先进的传感器与控制系统,实现自主导航、智能截割。例如,掘进机

可依据实时地质数据,通过AI算法自动调整截割参数,精准破碎岩石;支护环节则借助机器人与自动化装置,完成锚杆锚索的快速安装、混凝土的均匀喷射,大幅提升施工效率与精度。同时,数字孪生技术将广泛应用,通过构建虚拟施工场景,模拟分析不同工况下的施工效果,提前优化方案。

4.2 绿色环保技术的应用

随着环保要求日益严格,绿色环保技术在采矿工程中的应用将愈发广泛。在掘进环节,电动化、低能耗设备将逐步取代传统燃油设备,降低碳排放;采用高效除尘、降噪技术,减少粉尘与噪音污染,改善作业环境。支护技术方面,研发可降解、无污染的锚固剂与支护材料,避免化学物质对地下水与土壤的污染。

4.3 新材料与新技术的应用

新材料与新技术的创新将为采矿工程带来重大突破。在材料领域,高强度、高韧性且具备自监测功能的新型支护材料将不断涌现,如纳米复合材料锚杆、智能合金锚索,可实时感知围岩状态并自动调整支护性能。在技术层面,3D打印技术有望用于快速成型复杂支护结构,缩短施工周期;微波破岩、激光切割等非爆破掘进技术将减少对围岩的扰动,提升施工安全性^[4]。

结束语

综上所述,采矿工程巷道掘进与支护技术历经从传统到现代化的变革。传统技术为行业发展奠定基础,新型技术与协同应用模式则有效应对复杂地质挑战,提升施工效率与安全性。智能化、绿色化、新材料等发展趋势,更为行业注入新动能。

参考文献

- [1]庞坤宇.采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析[J].世界有色金属,2020(08):41-42.
- [2]成晓伟.探究采矿工程中巷道掘进和支护应用[J].当代化工研究,2020(08):45-46.
- [4]王刚,孙欣欣,李帅.采矿工程巷道掘进和支护技术应用的探讨[J].内蒙古煤炭经济,2019(19):191+193.
- [5]周文凯.煤矿采矿工程巷道掘进和支护应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2019(18):179.