

煤矿井下支护工程施工技术创新

刘生荣

华电煤业集团工程技术有限公司 陕西 榆林 719000

摘要: 在煤炭开采领域,井下支护工程是保障安全生产、提高开采效率的关键环节。本文聚焦煤矿井下支护工程施工技术创新,系统分析其重要性、关键技术及创新路径。在阐述棚式、砌碹等传统支护技术原理与应用的基础上,重点探讨材料、工艺、监测控制三大创新方向,包括新型材料研发、快速掘进一体化等新工艺,以及光纤传感等智能监测技术。针对地质复杂、技术更新滞后等挑战,提出智能适配、绿色支护等对策,旨在推动支护技术升级,提升煤矿开采安全性与效率,为煤炭行业高质量发展提供技术支撑。

关键词: 煤矿;井下支护;工程施工;技术创新

引言:随着煤炭开采向深部拓展,井下高应力、破碎围岩等复杂地质条件,使传统支护技术面临巨大挑战。顶板垮落、巷道变形等事故频发,严重威胁安全生产与资源高效开发。支护工程作为煤矿开采的安全基石,其技术创新迫在眉睫。本文通过梳理现有支护关键技术,深入挖掘材料革新、工艺优化及智能监测等创新方向,剖析技术创新面临的困境与解决方案,以期突破煤矿井下支护技术瓶颈、推动行业可持续发展提供有益参考。

1 煤矿井下支护工程的重要性

在煤矿开采作业中,井下支护工程如同坚固的防线,是维系安全生产的关键所在。煤矿井下环境复杂,巷道与采掘工作面长期承受着巨大的地压、地下水侵蚀以及爆破震动等多重作用,一旦支护强度不足或技术应用不当,极易引发顶板冒落、巷道坍塌等严重事故。据行业数据统计,在煤矿安全事故中,因支护失效导致的顶板事故占比高达30%以上,不仅造成人员伤亡,还会中断生产,给企业带来巨大经济损失。从生产运营层面来看,高效可靠的支护体系能够显著提升开采效率。稳定的巷道环境可减少因支护问题导致的停工维护频次,使采掘设备得以连续作业,避免频繁返工带来的时间与资源浪费。以深部矿井开采为例,合理的支护设计能将巷道返修周期延长3-5倍,大幅降低维护成本。此外,良好的支护还能为通风、排水、运输等系统提供稳定运行空间,保障整个开采流程的顺畅衔接。在资源开发向深部推进的趋势下,复杂地质条件对支护技术提出更高要求。通过强化支护工程建设,既能有效控制围岩变形,保障作业人员安全,又能为瓦斯抽采、灾害防治等工作创造有利条件,助力煤矿实现智能化、绿色化发展^[1]。

2 煤矿井下支护的关键技术

2.1 棚式支护技术

棚式支护技术是煤矿井下应用较早且广泛的支护方式之一,主要由金属、木材或钢筋混凝土构件组装而成。其结构类似于简易框架,通过立柱和横梁形成棚架,对巷道围岩进行支撑。木材棚架因取材方便、安装灵活,在小型矿井或临时性巷道中仍有使用,但因其强度低、易腐朽,逐渐被金属棚架取代。金属棚架多采用工字钢或矿工钢制作,具有较高的承载能力和抗变形能力,适用于回采巷道及断面较小的永久巷道。棚式支护的优点在于安装便捷,可快速对巷道进行临时支护,但其缺点也较为明显,如支护构件间连接多为铰接,整体稳定性较差,难以应对高应力环境,且后期维护成本较高,需要频繁更换损坏部件。

2.2 砌碹支护技术

砌碹支护技术是利用砖石、混凝土等材料,在巷道表面砌筑成连续的拱形或矩形结构,形成坚固的支护体。该技术的原理是通过砌体的抗压性能,将围岩压力均匀传递至巷道底板。在施工过程中,需先架设模板,再分层浇筑混凝土或砌筑砖石,待结构硬化后形成稳定的支护层。砌碹支护具有整体性强、封闭性好的特点,能够有效防止地下水渗漏和围岩风化,适用于服务年限长、稳定性要求高的主要运输巷道和硐室。然而,砌碹支护施工工艺复杂,需耗费大量人力和时间,且对巷道断面尺寸要求严格,一旦出现变形难以修复。此外,其自重大、成本高,在复杂地质条件下易因不均匀沉降导致结构开裂,限制了该技术的广泛应用^[2]。

2.3 U型钢支架支护技术

U型钢支架支护技术采用特殊轧制的U型钢材作为支护构件,通过卡缆将多段U型钢连接成封闭或半封闭的环形结构。这种设计使其能有效适应巷道围岩的变形,在受到压力时,U型钢可产生一定的收缩变形,释放围岩应

力,同时保持较高的支撑力。U型钢支架具有强度高、可缩性好的特点,尤其适用于地压大、变形显著的软岩巷道和深部巷道。其安装过程相对简便,可根据巷道断面形状灵活调整支架弧度,且拆卸后可重复使用,降低了支护成本。但U型钢支架对安装质量要求较高,卡缆的紧固程度直接影响支架的承载能力,若安装不当,易出现支架失稳现象。

2.4 锚杆支护技术

锚杆支护技术是通过向围岩中钻孔,将锚杆锚固在稳定岩层内,利用锚杆与围岩的摩擦力和锚固力,将不稳定的岩层与深部稳定岩体连接为一体,形成自承拱结构。该技术充分发挥围岩的自承能力,改变了传统支护“被动承受”的方式。锚杆材料主要有金属、树脂、玻璃钢等,可根据不同地质条件选择。其中,树脂锚杆因锚固速度快、强度高,在实际工程中应用广泛。锚杆支护具有施工速度快、成本低、对巷道断面影响小等优点,尤其适用于煤层巷道和中等稳定围岩的支护。同时,锚杆可与金属网、钢带等联合使用,形成锚网、锚梁网等复合支护结构,进一步提高支护效果。但锚杆支护对围岩性质和施工工艺要求较高,若锚固深度不足或锚杆参数选择不当,易导致支护失效。

2.5 联合支护技术

联合支护技术是根据煤矿井下复杂多变的地质条件,将两种或两种以上的支护方式有机结合,发挥各支护技术优势的综合支护方法。例如,锚杆支护与棚式支护结合,先用锚杆加固围岩,形成内部支撑,再利用棚架提供外部防护,既提高了围岩自承能力,又增强了支护结构的整体稳定性;U型钢支架与喷射混凝土结合,通过喷射混凝土封闭围岩表面,防止风化剥落,U型钢支架提供强力支撑,适用于破碎围岩巷道。联合支护技术能够根据不同的工程需求和地质条件,灵活调整支护方案,在高应力、软岩、断层破碎带等复杂环境中表现出显著优势。然而,联合支护的设计和施工难度较大,需要充分考虑各支护方式的协同作用,精确计算支护参数,否则可能出现支护过度或不足的问题,增加工程成本和安全风险。

3 煤矿井下支护工程施工技术创新方向

3.1 材料创新

3.1.1 新型支护材料的研发与应用

随着煤矿开采向深部和复杂地质区域拓展,传统支护材料已难以满足工程需求,新型支护材料的研发与应用成为行业关注焦点。高性能复合材料凭借高强度、轻量化、耐腐蚀等特性,逐渐崭露头角。例如,纤维增强

塑料(FRP)锚杆结合了玻璃纤维、碳纤维的高强度与树脂的粘结性能,重量仅为金属锚杆的三分之一,却能承受同等拉力,且不易受井下潮湿环境腐蚀,在高应力软岩巷道支护中表现优异。此外,智能材料的应用也为支护工程带来新突破,形状记忆合金制成的U型钢支架,在受到围岩压力变形后,可通过加热等方式恢复初始形状,持续提供稳定支撑力。同时,纳米改性混凝土的研发,通过在普通混凝土中添加纳米级二氧化硅等材料,显著提升其抗压、抗渗性能,使砌碛支护结构更加耐久。这些新型材料的应用,不仅提高了支护工程的安全性与可靠性,也为煤矿智能化开采提供了有力支撑^[3]。

3.1.2 材料性能对支护效果的影响

材料性能决定着煤矿井下支护工程的效果。强度是支护材料的核心指标,高抗压、抗拉强度的材料能够有效抵御围岩压力,防止巷道变形坍塌。如高强度螺纹钢锚杆,其屈服强度比普通钢材提高30%以上,可深入稳定岩层提供更强大锚固力。弹性模量则影响材料的变形特性,弹性模量适中的材料在围岩压力作用下既能产生一定变形释放应力,又能保持结构稳定,避免因刚性过大导致应力集中。以U型钢支架为例,合理的弹性模量使其在软岩巷道中实现“让压”支护,减少支架损坏率。此外,材料的耐腐蚀性和耐老化性也至关重要,井下潮湿、酸碱环境易加速材料劣化,采用防腐涂层或新型耐腐蚀材料,可显著延长支护结构使用寿命。因此,深入研究材料性能与支护效果的关系,是优化支护技术的关键环节。

3.2 工艺创新

3.2.1 新的施工工艺与方法

在煤矿井下支护工程中,新施工工艺与方法不断涌现,以适应复杂的地质条件和高效施工需求。例如,“快速掘进与支护一体化工艺”通过将掘进机与锚杆钻机、喷射混凝土设备集成,实现掘进、支护同步作业,大幅减少了传统先掘进后支护模式下的等待时间。在破碎岩层巷道施工中,“超前预支护工艺”利用超前小导管注浆技术,在巷道开挖前对围岩进行加固,提高围岩自稳能力,有效防止开挖过程中的坍塌风险。还有“机械化模板台车支护工艺”,将模板与行走机构结合,通过液压系统实现模板的快速定位与拆卸,用于砌碛支护施工,相比传统人工立模方式,施工效率提升了近3倍。此外,“智能张拉锚固工艺”采用自动化设备对锚杆进行张拉,精确控制锚固力,避免了人工操作导致的锚固力不均问题,显著提高了锚杆支护的可靠性。

3.2.2 工艺创新对施工效率和质量的提升

工艺创新为煤矿井下支护工程带来了显著的效率与质量提升。以快速掘进与支护一体化工艺为例,其同步作业模式使巷道日掘进进度从传统的8-10米提升至15-20米,有效缩短了施工周期,为后续开采作业争取了时间。机械化模板台车的应用,不仅加快了砌碛支护速度,还通过标准化模板确保了混凝土浇筑的平整度和厚度均匀性,减少了返工率,工程质量合格率从原来的85%提升至95%以上。智能张拉锚固工艺则通过精确控制锚杆拉力,使支护结构受力更加均衡,经实际监测,采用该工艺的巷道顶板下沉量比传统工艺降低了40%,极大提高了支护结构的稳定性。此外,超前预支护等工艺有效降低了施工安全风险,减少了因事故导致的停工时间,间接提升了整体施工效率,为煤矿安全生产和高效开采提供了坚实保障。

3.3 监测与控制技术创新

3.3.1 实时监测技术的应用

在煤矿井下支护工程中,实时监测技术是保障施工安全与支护效果的关键手段。光纤传感技术凭借其高精度、抗电磁干扰的特性,被广泛应用于巷道围岩变形监测。通过在锚杆、锚索内部或巷道表面铺设光纤,能够实时捕捉毫米级的位移变化,及时发现围岩的细微变形趋势,为支护结构的稳定性评估提供数据支持。例如,分布式光纤传感系统可沿巷道长距离布置,实现对整条巷道的连续监测,相比传统单点监测方式,大大提高了监测范围和准确性。此外,微震监测技术通过布置在巷道周边的传感器,实时接收岩体破裂产生的微震信号,分析围岩内部应力集中和破裂情况,提前预警潜在的顶板垮落、岩爆等灾害。同时,无线传感器网络的应用,解决了井下复杂环境下布线困难的问题,可将多个监测点的数据实时传输至地面监控中心,实现远程、动态监测,为工程决策提供及时可靠的信息。

3.3.2 基于监测数据的智能控制与决策

基于实时监测获取的数据,智能控制与决策系统能够实现对煤矿井下支护工程的精准管理。通过大数据分析和机器学习算法,对海量监测数据进行深度挖掘,可建立围岩变形与支护参数之间的关系模型,预测不同工况下巷道的变形趋势,为支护方案的优化提供科学依据。例如,当监测数据显示某区域巷道变形速率加快时,系统可自动分析判断是地应力异常还是支护强度不足,并根据预设规则给出调整锚杆拉力、增加支护密度等优化建议。此外,智能控制系统还能与支护设备联动,实现自动控制。当微震监测系统检测到岩体内应力急剧升高时,可自动启动注浆加固设备对围岩进行补强,无需人工干预,有效提高了应急响应速度。通过将监测数据与地理信息系统(GIS)结合,还能直观展示井下支护状态,辅助管理人员进行全局决策,推动煤矿井下支护工程向智能化、无人化方向发展^[4]。

结束语

煤矿井下支护工程施工技术创新是煤炭行业迈向高质量发展的必经之路。从材料革新到工艺突破,再到监测控制技术的智能化升级,每一项创新都为安全生产与高效开采注入新动能。尽管面临地质复杂、成本压力等诸多挑战,但随着产学研协同推进与技术成果的加速转化,智能适配、绿色环保的新型支护技术正逐步落地。

参考文献

- [1]孙明东.煤矿巷道支护技术在掘进中的应用[J].冶金管理,2021,(15):128-129.
- [2]安奇.煤矿井下巷道掘进施工及支护技术的研究[J].内蒙古煤炭经济,2021,(12):159-160.
- [3]王小红.煤矿井下巷道支护工艺的优化研究[J].机械管理开发,2021,36(05):27-28+130.
- [4]秦路通.煤矿井下掘进中的巷道支护技术[J].能源与节能,2021,(02):11-12+36.