

# 掘进工作面临时支护装置改进与安全性能提升研究

冯 辉 夏军亮

陕西彬长大佛寺矿业有限公司 陕西 咸阳 713500

**摘要:** 临时支护是煤矿井下掘进作业中保障顶板安全、防止冒顶片帮事故的关键环节,直接关系到作业人员的安全和矿井的安全生产效率。然而,传统临时支护方式存在诸多固有缺陷,如支护强度不足、操作繁琐、空顶时间长、适应性差等,已成为制约掘进安全与效率提升的瓶颈。本文旨在系统分析当前主流临时支护装置(包括机载式、单元支架式、锚杆钻车集成式等)的技术特点、应用现状及存在的核心问题,并深入探讨其在结构设计、材料选择、智能化控制、人机工程学等方面的改进方向。在此基础上,提出一套涵盖技术革新、管理优化、人员培训和标准体系完善在内的综合性安全性能提升策略。研究表明,通过发展高强轻量化、自适应、智能化的新型临时支护装备,并辅以科学的管理体系,可显著缩短空顶时间、提高支护可靠性、降低安全风险,为实现煤矿掘进工作面的本质安全和高效生产提供有力支撑。

**关键词:** 掘进工作面; 临时支护; 安全性能; 装置改进; 智能化; 空顶时间

## 引言

煤炭是我国能源基石,未来仍将占据重要地位。随着浅部资源枯竭,煤矿开采深度增加,地质条件复杂,高地应力等问题突出,给巷道掘进顶板安全管理带来巨大挑战。掘进循环作业中,截割完成到永久支护施作间存在“空顶”区域,易发生顶板事故,临时支护装置是填补这一安全空白的关键装备,能在永久支护前为顶板提供临时支撑,防止事故发生。但长期以来,许多矿井仍采用简易传统支护方式,存在支护面积小、初撑力低等弊端,难以满足复杂地质条件需求,也制约了掘进速度提升。近年来,国家对煤矿安全生产要求提高,智能化矿山建设推进,研发应用新型临时支护技术成行业共识,相关法规也明确要求掘进工作面必须使用临时支护。因此,系统研究现有装置不足、探索改进路径、构建安全性能提升策略意义重大,本文将围绕此展开探讨。

## 1 掘进工作面临时支护的重要性与现状分析

### 1.1 临时支护的核心作用

临时支护在掘进安全链条中扮演着承上启下的关键角色,其重要性主要体现在以下三个方面:(1)安全保障:这是最根本的作用。有效的临时支护能够迅速建立对新暴露顶板的支撑,抑制围岩的瞬时变形和离层,防止碎石掉落或大规模冒顶,为作业人员创造一个相对安全的操作空间。(2)效率提升:高效的临时支护可以大幅缩短空顶时间,使后续的永久支护、物料运输等工序能够快速衔接,从而加快整个掘进循环的节奏,提高单进水平。(3)围岩控制:良好的临时支护有助于维持巷道轮廓的稳定,减少围岩的过度松动圈范围,为后续永

久支护提供更好的受力基础,最终形成更稳定的巷道支护体系。

### 1.2 主流临时支护装置类型及应用现状

目前,国内煤矿掘进工作面应用的临时支护装置呈现出从传统向现代过渡的多元化格局。传统简易式支护,如前探梁和点柱/木垛,因其结构简单、成本低廉,仍在部分中小型矿井或特定条件下使用。前探梁通常利用工字钢或轨道制作,通过悬挂在已支护好的锚杆上向前延伸,但其支护多为被动承载,初撑力几乎为零,且需要大量人工架设拆卸,劳动强度大,在顶板破碎或倾角较大时稳定性极差。点柱或木垛虽能提供一定主动支撑力,但同样依赖人力,支护密度难以保证,且木材消耗不符合绿色矿山理念。相比之下,以机载式临时支护为代表的现代化装备正成为行业主流。这类装置将临时支护机构直接集成在掘进机本体上,实现了掘进与临时支护的平行作业,极大地缩短了空顶时间,操作由司机在驾驶室内完成,安全性与效率均得到显著提升<sup>[1]</sup>。此外,单元支架式临时支护以其高支护强度和大面积覆盖能力,在一些地质条件复杂、对支护要求极高的工作面得到应用,但其设备体积重量大、初期投资高、转弯适应性差等缺点也限制了其普及。锚杆钻车集成式支护则代表了更高层次的集成化方向,它试图将临时支护与永久支护无缝衔接,理论上可将空顶时间压缩至最低,但其技术复杂性和对设备可靠性的严苛要求,使得其应用尚处于探索阶段。尽管新型支护装置的应用取得了显著成效,但在实际推广和使用过程中,依然暴露出一系列共性问题,亟待解决。

## 2 现有临时支护装置存在的主要问题

现有临时支护装置的问题是多维度且相互交织的。结构与材料上,部分装置为控成本或沿用旧设计,强度刚度不足,遇坚硬顶板等易变形断裂;采用厚重钢材又致整机过重,增加掘进机负载、加速磨损、提高能耗。且多为固定结构,难适应复杂地质条件,遇断层等支护效果差。智能化与自动化水平低,缺乏对顶板状态的实时感知,无法动态调整;控制依赖人工经验与手动操作,精度效率有限,缺乏数据交互与协同控制能力,难及时预警。人机工程学与操作便捷性差,部分机载装置遮挡司机视野;关键部件布置紧凑,维护困难;突发故障时缺乏应急方案,安全风险大。此外,配套管理体系不健全,操作流程与验收标准模糊,执行随意;操作人员对新型装备掌握不深,有误操作风险;缺乏长期系统性监测评估机制,改进缺乏数据支撑,难形成闭环管理。

## 3 临时支护装置的技术改进方向

针对上述问题,临时支护装置的改进应聚焦于“更强、更轻、更智、更适”四大目标,通过技术创新实现本质安全的跃升。

### 3.1 结构优化与新材料应用

未来的结构设计应摆脱经验主义的束缚,更多地倚重现代工程分析工具。通过运用有限元分析(FEA)和拓扑优化技术,可以对支护梁、立柱等关键承力部件进行精细化重塑,在确保甚至提升整体强度与刚度的前提下,精准去除冗余材料,实现显著的轻量化效果。与此同时,模块化设计理念的引入将赋予装置前所未有的灵活性,使其能够根据不同巷道的具体需求进行快速组合或调整,从而大大增强其通用性和对复杂工况的适应性。在材料选择上,除了继续优化高强度合金钢的应用外,还应积极探索在非核心承力部件上使用碳纤维增强复合材料(CFRP)或超高分子量聚乙烯(UHMWPE)等新型高强轻质复合材料。这些材料不仅比强度远超传统金属,还具备优异的耐腐蚀性和抗冲击韧性,有望在减轻重量的同时延长设备寿命<sup>[2]</sup>。更进一步,可以借鉴仿生学原理,开发柔性-刚性混合支护结构,在刚性主梁前端集成柔性充气囊或高弹性聚合物垫层,使其既能提供强大的支撑反力,又能通过柔性变形吸收围岩的微小位移能量,有效缓冲冲击载荷,保护支护结构本身。

### 3.2 智能化与自动化升级

智能化是临时支护技术发展的核心驱动力。首要任务是为其赋予“感官”和“大脑”。通过在装置上集成压力/位移传感器、顶板离层仪、高清摄像头、激光雷达乃至声发射传感器,可以构建一个多源信息融合的全面感

知网络,实时捕捉顶板的力学状态和形态变化。基于这些海量数据,利用边缘计算单元或与地面集控中心联动,运行先进的智能算法(如机器学习模型),系统便能够自动研判顶板的稳定性等级,并据此动态调整支护参数,例如初撑力大小、支护面积乃至跟进速度,真正实现“按需支护”的自适应控制。在此基础上,为每台临时支护装置建立数字孪生体,使其物理状态和工作环境在虚拟空间中得到实时映射,管理人员便可在地面调度中心远程监控所有装置的运行健康状况和支护效果,从而实现全局优化调度和精准的预防性维护,将故障消灭在萌芽状态。

### 3.3 人机协同与安全冗余设计

技术的终极目的是服务于人。因此,改进必须充分考虑人机协同的友好性。可以通过AR(增强现实)技术,将支护装置的状态信息、前方地质三维模型等关键数据直观地叠加到司机的视野中,有效消除视觉盲区,提升操作的精准度和安全性。同时,应大力简化操作逻辑,将复杂的多步骤操作整合为“一键伸出”、“一键收回”等高度集成的智能模式,降低对操作人员技能的门槛要求。安全是不可逾越的红线,为此必须在设计中融入多重安全冗余理念<sup>[3]</sup>。例如,在液压系统中设置双回路、配备蓄能器保压等措施,确保在单一元件失效的极端情况下,装置仍能维持基本支撑功能或执行安全降架程序。此外,设计可靠的机械锁止机构作为液压失效后的最后一道防线,也是保障人员安全撤离的关键所在。

## 4 安全性能提升的综合策略

技术装备的改进固然是基础,但要真正实现安全性能的系统性跃升,还需构建一个涵盖“人、机、料、法、环”全要素的综合策略体系,形成技术与管理的合力。

### 4.1 建立科学的临时支护设计与选型规范

装备选型不应再是简单的“一刀切”或盲目追求高端。必须回归工程本质,根据具体矿井详尽的地质力学条件——包括地应力场特征、围岩强度分级、节理裂隙发育程度等——以及巷道的具体用途和断面尺寸,进行精细化的临时支护需求分析。在此基础上,制定科学、详细的选型指南,明确界定不同类型、不同规格临时支护装置的适用边界和工况限制,确保将最合适的装备用在最需要的地方,实现安全投入效益的最大化。

### 4.2 强化全生命周期管理

临时支护的安全效能贯穿于其从安装到报废的整个生命周期。在初始阶段,必须由专业技术人员严格按照规范进行安装和调试,确保各项性能参数精准达标。进入使用阶段后,应摒弃传统的故障后维修模式,转而建立基于设备运行数据的预防性维护计划。借助物联网技

术,对密封件、油缸等关键易损部件的运行状态进行实时监控和寿命预测,变被动抢修为主动保养,最大限度地保障设备的可用性和可靠性<sup>[4]</sup>。更为重要的是,要定期引入第三方或内部专业团队,对临时支护装置在实际工况下的支护效果进行系统性评估,通过前后对比和数据分析,客观验证其有效性,并为后续的技术迭代和管理优化提供坚实的数据支撑。

#### 4.3 深化人员培训与安全文化建设

再先进的装备也需要由人来驾驭。因此,必须深化分层级、有针对性的人员培训体系。对于一线操作人员,培训重点应放在规范操作流程和各类突发故障的应急处置上;对于维修人员,则需强化其对设备原理、故障诊断和精密维护技能的掌握;而对于管理人员,培训则应侧重于理解系统工作原理和构建高效的管理流程。为了提升培训效果,可以利用VR(虚拟现实)技术,模拟各种复杂工况和险情,让员工在绝对安全的环境中反复演练,从而内化安全意识,固化正确行为。最终,要将“临时支护是生命线”的核心理念深深植入企业文化之中,通过常态化开展案例警示教育、设立“安全之星”评选等活动,营造出人人重视安全、人人参与安全、人人守护安全的良好氛围。

#### 4.4 完善法规标准与监督考核机制

外部的制度约束是推动行业进步的重要力量。相关行业协会和主管部门应积极推动制定更为细化的临时支护装置技术标准和安全准入门槛,对其强度、可靠性、智能化水平等核心指标作出明确规定,从源头上杜绝不合格产品的流入。安全监管机构则需将临时支护的规范使用情况纳入日常监察的重点,对违规空顶作业、使用劣质或失效装备等行为实施严厉处罚,形成强有力的震

慑。在企业内部,应建立与安全绩效紧密挂钩的考核机制,将掘进工作面的临时支护完好率、空顶时间达标率等关键指标纳入区队和班组的绩效考评体系,通过正向激励与负向约束相结合的方式,充分激发基层自主抓好临时支护管理的内生动力。

### 5 结语

掘进工作面的安全高效生产,离不开可靠、先进的临时支护技术作为保障。本文系统梳理了当前临时支护领域面临的挑战,并指出,未来的改进方向在于深度融合先进制造、新材料、物联网、人工智能等前沿技术,推动临时支护装置向高强轻量化、自适应智能化、高度集成化的方向发展。然而,技术本身并非万能。要真正筑牢掘进安全防线,必须同步推进管理理念的革新和配套体系的完善。只有将先进的“硬装备”与科学的“软实力”——即精细化的设计选型、全生命周期的管理、高素质的人才队伍以及健全的法规标准——有机结合,形成一个有机统一的整体,才能有效破解当前困局,最大限度地缩短空顶时间,提升支护可靠性,从根本上防范和遏制掘进工作面顶板事故的发生,为我国煤炭工业的高质量、可持续发展保驾护航。

### 参考文献

- [1]张波.掘进工作面临时支护技术研究[J].西部探矿工程,2024,36(08):154-157.
- [2]文建东,赵鹏,李明.煤矿掘进工作面临时支护形式优化探索[J].能源技术与管理,2022,47(04):84-87.
- [3]黄万相.地质构造带区域掘进工作面临时支护技术探讨[J].江西煤炭科技,2025,(02):72-74+77.
- [4]王建霖.临时支护装置在煤矿掘进工作面的应用[J].矿业装备,2023,(12):19-21.