

单轨吊在煤矿辅助运输系统中的应用

李志远

禹州枣园煤业有限公司 河南 禹州 461670

摘要：单轨吊技术以其独特的顶部轨道运行方式，在煤矿辅助运输系统中展现出显著优势。该技术不仅提高了巷道空间利用率，适应了复杂地质条件，还显著提升了运输效率和安全性。通过智能化升级，单轨吊实现了远程遥控、无人驾驶等功能，进一步增强了其应用灵活性和作业效能。在煤矿开采向深部延伸的背景下，单轨吊已成为提升煤矿辅助运输能力、保障安全生产的重要技术手段。

关键词：单轨吊；煤矿辅助运输系统；应用

引言：随着煤矿开采技术的不断进步，对运输系统的要求也日益提高。传统运输方式在面对复杂多变的井下环境时，往往显得力不从心。而单轨吊作为一种新型、高效的煤矿辅助运输设备，凭借其独特的结构和运行特点，在煤矿运输领域展现出巨大潜力。本文旨在深入探讨单轨吊在煤矿辅助运输系统中的应用，以期为提高煤矿运输效率、降低运输成本、保障安全生产提供有益的参考。

1 单轨吊技术概述

1.1 单轨吊的定义与工作原理

单轨吊是一种借助悬吊在巷道顶部轨道上的行走机构，实现物料、设备或人员运输的机械装备。其工作原理是通过驱动装置带动行走轮沿预设的工字钢或专用轨道运行，利用悬吊臂或承载平台完成货物的起吊、运输和卸载。轨道的铺设路径可根据巷道走向灵活设计，包括水平转弯、上下坡等复杂路段，通过液压或机械传动系统实现动力传递，确保设备在不同工况下稳定运行。

1.2 单轨吊的类型与分类

(1) 防爆特殊型蓄电池单轨吊。以蓄电池为动力源，配备防爆电气系统，适用于煤矿等存在易燃易爆气体的危险环境。具有零排放、噪音低的特点，续航能力取决于电池容量，需定期充电，适合中短距离运输。(2) 防爆柴油机单轨吊。采用防爆柴油机提供动力，动力强劲，续航里程长，无需频繁充电或接线，适应长距离、重负荷运输场景。但运行过程中会产生一定废气和噪音，需配备有效的尾气处理装置。(3) 其他类型。防爆锂电池单轨吊结合了锂电池高能量密度与防爆特性，充电效率高、寿命长，逐渐成为替代传统蓄电池的升级产品；气动单轨吊以压缩空气为动力，适用于对电气设备限制严格的高瓦斯矿井，安全性突出但动力相对有限。

1.3 单轨吊的技术特点与优势

(1) 巷道断面空间利用率高。单轨吊通过顶部轨道悬吊运行，不占用巷道底部空间，可与其他运输设备（如刮板输送机、胶带输送机）共享巷道，尤其在断面较小的矿井或隧道中，能显著提升空间利用效率，减少巷道开挖成本。(2) 运行灵活，效率高。轨道可适应复杂地形，实现水平转弯和坡度行驶，单轨吊自身转向灵活，能快速调整运输路线。同时，其起吊、卸载动作连贯，可实现连续作业，大幅提升物料运输效率。(3) 维护费用较低。单轨吊结构相对简单，关键部件如驱动装置、行走轮等设计耐用，日常维护主要涉及润滑、紧固和电池（或柴油机）检查，无需复杂的维修工序，长期使用可降低维护成本和停机时间^[1]。

2 单轨吊在煤矿辅助运输系统中的应用

2.1 应用背景与需求分析

(1) 煤矿开采环境的变化。随着浅部煤炭资源的逐步枯竭，煤矿开采不断向深部延伸，井下地质条件愈发复杂，高地应力、高瓦斯、高地温等问题凸显。传统辅助运输设备在狭窄巷道、起伏地形中适应性不足，易受顶板淋水、底板泥泞等环境因素影响，而单轨吊依托顶部轨道运行的特性，能有效规避地面环境干扰，成为深部开采的理想选择。同时，绿色矿山建设要求降低井下污染，单轨吊的低排放（如蓄电池型、锂电池型）优势进一步契合环保需求。(2) 综采设备重量的增加。煤炭产业机械化、智能化转型推动综采设备向大型化发展，液压支架、采煤机等核心设备重量持续攀升，部分设备单件重量已突破30吨。传统绞车、卡轨车等运输工具承载能力有限，且在运输过程中易因颠簸导致设备损坏，而单轨吊通过稳定的悬吊结构和强劲的驱动系统，可实现大吨位设备的安全运输，满足重型装备的转运需求。(3) 运输效率与安全性的提升需求。煤矿辅助运输涵盖物料、人员、设备等多类对象，传统运输方式存在转载

环节多、调度复杂等问题,不仅效率低下,还易因人工操作失误引发碰撞、坠落等安全事故。随着煤矿产能提升,对辅助运输的连续性、时效性要求显著提高,单轨吊的无转载直达运输、自动化操作等特点,既能减少中间环节耗时,又能通过标准化作业降低人为风险,满足高效安全的运输需求。

2.2 单轨吊在煤矿辅助运输中的具体应用

(1) 长距离、大坡度、无转载运输。在大型矿井中,采区与井底车场、工作面与顺槽之间的运输距离常达数千米,且部分巷道坡度超过 15° 。单轨吊凭借大功率驱动装置和防滑制动系统,可实现一次性长距离运输,无需中途转载,避免了传统运输中多次装卸导致的效率损耗。例如,在山西某煤矿,单轨吊承担着综采工作面设备从地面到井下工作面的全程运输,单程距离5.2千米,坡度最大 18° ,运输效率较传统方式提升40%以上。

(2) 复杂巷道条件下的灵活运行。煤矿井下巷道往往包含多个转弯、交叉点及变坡段,单轨吊通过可旋转的行走机构和柔性轨道设计,能在曲率半径3米以上的弯道灵活转向,适应“之”字形、螺旋形等复杂路径。在断层发育、巷道变形的区域,单轨吊可通过轨道微调快速适配巷道变化,确保运输不中断。某矿井在过断层区域采用单轨吊运输,成功解决了传统设备因巷道扭曲无法通行的难题^[2]。(3) 与其他运输设备的协同作业。单轨吊并非完全替代传统运输设备,而是通过系统集成形成协同运输网络。在井下,单轨吊负责重型设备、长材的精准转运,与胶带输送机配合完成散料运输(单轨吊吊装料斗对接胶带机),与无胶轮车协同实现人员“最后一公里”接驳。通过智能调度系统,可实现单轨吊与其他设备的运行路径优化,避免交叉干扰,提升整体运输系统的协调性。

2.3 单轨吊运输系统的智能化升级

(1) 基于矿用无线通信和工业环网技术的即时语音通讯。借助矿用5G、WiFi6等无线通信技术及工业以太网环网,单轨吊司机可与地面调度中心、井下作业点实现实时语音通话,同时传输设备运行数据(如位置、速度、载荷)。当单轨吊接近弯道、交叉点或其他设备时,系统会自动发出语音预警,确保行车安全。某煤矿通过该技术实现了单轨吊与掘进面、工作面的无缝通讯,应急响应时间缩短至3分钟以内。(2) 尾气自动净化、风门自动控制等技术。针对柴油机单轨吊,配备智能尾气净化系统,通过传感器实时监测尾气成分,自动调节尿素喷射量和催化反应温度,确保排放达标。在巷道风门处,单轨吊可通过RFID识别技术触发风门自动开

启/关闭,无需人工操作,减少运输停滞时间。这些技术的应用,既满足了井下环保要求,又提升了运输流程的自动化程度^[3]。(3) 远程遥控及无人驾驶技术的发展。基于机器视觉、激光雷达和惯导定位技术,单轨吊可实现远程遥控操作,司机在地面或井下集控中心即可完成起吊、行驶、卸载等动作。部分先进矿井已试点无人驾驶单轨吊,通过预设运输路线和智能避障算法,设备能自主规划路径、应对突发情况(如遇障碍物自动停车)。目前,无人驾驶单轨吊在固定线路的物料循环运输中已实现稳定运行,未来将逐步推广至复杂巷道场景。

3 单轨吊应用案例分析

3.1 案例选择标准与背景介绍

案例选取以技术适配性、场景典型性、效益可量化为核心,聚焦不同规模煤矿在复杂工况下的实践。当前煤矿辅助运输面临深部开采、设备重型化、效率提升等挑战,单轨吊成为破解难题的关键装备。所选案例均来自稳定运行1年以上的项目,涵盖大型国企矿井与设备制造企业的产品应用,可全面反映技术落地价值。

3.2 具体案例分析

3.2.1 案例一:中煤新集阜阳矿业单轨吊应用实例

(1) 应用效果与效率提升数据

该矿为埋深800米的高瓦斯矿井,巷道坡度达 16° ,原运输系统需5次转载,单台液压支架运输耗时10小时。引入2台防爆柴油机单轨吊后,实现无转载直达运输,运输时间缩短至3.5小时,效率提升65%;月均运输量从1100吨增至2600吨,设备利用率提高136%。运输事故率下降82%,年减少损失约800万元。

(2) 智能化辅助运输系统的构建与功能

搭建基于工业环网的智能平台,集成实时定位、载荷监测、自动避障功能。通过红外传感器预判50米内障碍物,触发自动减速;司机与调度中心实现秒级通讯,任务响应时间缩至2分钟内。系统使空驶率降低30%,调度效率提升35%。

3.2.2 案例二:徐州江煤科技有限公司单轨吊产品应用

(1) 产品特点与技术优势

其防爆锂电池单轨吊采用模块化电池组,续航18公里,1.5小时快充完成, -15°C 电量保持率超80%。智能能耗系统可按需调节功率,较传统机型节能20%;能在曲率半径2米弯道稳定运行,适配复杂巷道。

(2) 用户反馈与效果评估

山西某民营煤矿应用后,用户称其零排放满足高瓦斯安全要求,噪音降至70分贝以下。设备日均运行15小

时,故障率2%,年运营成本降50万元,投资回收期2年,适配中小型矿井需求。

3.3 案例分析的总结与启示

案例表明,单轨吊应用需匹配矿井规模与工况:大型深部矿井宜选大功率智能机型,中小型矿井可择经济型锂电产品。智能化是效能关键,定位、避障等技术可降低风险、提效率。制造商需强化定制研发,适配特殊工况。未来,随无人驾驶技术成熟,单轨吊将在煤矿“少人化”运输中发挥更重要作用,推动辅助运输智能化升级。

4 单轨吊应用中面临的挑战与对策

4.1 技术挑战与解决方案

4.1.1 设备稳定性与可靠性问题

单轨吊在复杂巷道长期运行中,易因振动、粉尘导致驱动装置磨损、电气元件失效,尤其在大坡度($>15^{\circ}$)工况下,制动系统过热可能引发安全隐患。解决方案包括:采用耐磨合金材料制作行走轮,提升关键部件抗疲劳强度;开发自适应散热系统,通过温度传感器实时调节制动片冷却强度;建立设备健康监测平台,对轴承温度、液压压力等参数进行预警,提前排查故障。某煤矿通过该方案使设备平均无故障运行时间从800小时延长至1200小时。

4.1.2 智能化技术的集成与应用难度

井下无线通信信号弱、多设备数据交互延迟,导致智能调度系统响应滞后;不同厂家设备协议不兼容,增加集成难度。对策为:部署矿用5G+工业环网融合网络,确保数据传输速率达100Mbps以上;制定统一的数据接口标准,推动调度平台与单轨吊、风门等设备互联互通;采用边缘计算技术,在设备端实现本地化快速决策,减少对云端依赖。某项目通过技术整合,智能调度响应时间缩短至0.5秒以内^[4]。

4.2 经济挑战与对策

4.2.1 初期投资成本与回报周期分析

单轨吊系统(含轨道、设备、智能化改造)初期投资约为传统运输设备的1.5-2倍,中小型煤矿难以承受。建议采用“设备租赁+按吨收费”模式,降低一次性投入;针对大型矿井,可申请煤矿智能化改造专项补贴,覆盖30%-50%的设备费用。数据显示,通过补贴与租赁结合,回报周期可从5年缩短至3年以内。

4.2.2 运营成本的降低与效益提升策略

柴油机单轨吊燃油消耗、锂电池更换成本较高。对策包括:优先选用能量回收型锂电单轨吊,通过下坡制动发电降低能耗;建立设备共享机制,在多采区之间调度单轨吊,提升设备利用率至85%以上;开展预防性维护,减少突发故障导致的停机损失。某矿实施后,年运营成本降低22%,运输吨公里成本从12元降至9元。

4.3 安全挑战与保障措施

4.3.1 安全风险识别与评估

单轨吊运行存在轨道脱落、吊具断裂、碰撞等风险,需建立动态评估体系:通过有限元分析模拟轨道承重极限,标注危险区段;利用AI视频监控识别吊具变形、人员违规进入等隐患;每季度开展全系统风险分级,将坡度 $>18^{\circ}$ 、弯道曲率 <3 米的路段列为高风险区。

4.3.2 安全管理制度与应急预案的制定与实施

制定“一人一机一监护”制度,明确司机与地面调度的安全职责;每月开展单轨吊突发制动、钢丝绳断裂等场景的应急演练;配备轨道应急抢修包,确保故障30分钟内响应、2小时内修复。某矿通过严格执行制度,连续3年未发生单轨吊运输安全事故。

结束语

综上所述,单轨吊技术在煤矿辅助运输系统中的应用不仅显著提高了运输效率,还有效保障了作业安全,展现了其无可比拟的优势。它以其独特的运行模式和卓越的适应性,成为了现代煤矿运输系统中不可或缺的一部分。展望未来,随着智能化、自动化技术的不断融合,单轨吊的应用将会更加广泛和深入。我们期待单轨吊技术能够持续创新,为煤矿行业的安全高效发展注入新的活力。

参考文献

- [1]范海云.煤矿井下单轨吊机车辅助运输系统的应用研究[J].石化技术,2020,(12):311-312.
- [2]孙志.煤矿井下单轨吊机车辅助运输系统的研究[J].机械管理开发,2020,(02):28-29.
- [3]易国晶.单轨吊机车在盘江矿井中的应用[J].煤炭工程,2020,(07):75-76.
- [4]彭天府.煤矿井下单轨吊车辅助运输系统设计应用[J].机械研究与应用,2020,(13):133-134.