

一采区进风暗斜井单轨吊车运输系统技术方法

陈永乐

河南平禹四矿矿业有限公司 河南 许昌 461600

摘要: 煤矿辅助运输系统是保障采掘接续与安全生产的关键环节,传统绞车提升方式已难以适应现代化矿井高效、安全的运输需求。本文以平禹四矿一采区进风暗斜井为工程背景,系统研究单轨吊车运输系统的设计方法与技术。研究从巷道条件与运输需求出发,对比分析防爆柴油机单轨吊与防爆锂电池单轨吊的适用性,完成设备选型计算、牵引力校核与轨道系统受力分析。结果表明,DCR140/110Y型防爆柴油机单轨吊额定牵引力140kN,满足最大坡度15°、总负载19.5t的运输要求;轨道吊挂点最大悬吊力8.009t,经安全系数校核后锚杆锚固力需达12t。该方案可减少运输环节作业人员60%以上,实现重型设备整体连续运输,为类似条件矿井单轨吊系统设计提供参考。

关键词: 单轨吊;辅助运输;防爆柴油机;轨道系统;选型计算

引言: 煤矿井下辅助运输系统承担着物料、设备及人员运送的重要任务,是矿井生产系统中不可或缺的组成部分。随着综采工作面设备大型化趋势日益明显,液压支架、采煤机等重型设备重量普遍超过20t,传统绞车提升加矿车运输的方式在运输效率、安全性及大件适应能力等方面已暴露出明显不足。单轨吊车作为一种悬挂于巷道顶板的辅助运输装备,具有爬坡能力强、不跑车不掉道、不受底板条件影响、可实现连续直达运输等突出优势,在国内外煤矿井下得到了日益广泛的应用。然而,单轨吊系统设计需紧密结合矿井具体巷道条件、运输需求及设备技术参数进行差异化选型与计算,方能确保方案的工程适用性。本文以平禹四矿一采区进风暗斜井为研究对象,从必要性分析、方案比选、设备选型计算、轨道受力分析等方面开展系统研究,为单轨吊运输系统的工程设计提供技术参考。

1 工程概况与运输需求分析

1.1 矿井概况与巷道条件

平禹四矿设计生产能力0.45Mt/a,主采二1煤层,采用斜井单水平上下山开拓,井底水平标高-270m。现有主斜井、副斜井、行人斜井、回风斜井和并联回风斜井共5个井筒。矿井以一个采区、一个综采工作面保证设计生产能力,现有生产采区为II采区。一采区进风暗斜井设计长度840m,施工坡度13°07',目前已掘进约400m。巷道采用锚网索+喷射混凝土支护,三心拱形断面,净断面18m²,净宽5.6m,净高4m。巷道最大坡度15°,起点处高度9.5m(长度约50m),随后15m为U36型钢棚支护(高度6.5m,

间距0.6m),其余段锚杆/锚索支护高度约4m,顶板平整。暗斜井上部通过车场与副斜井相连,下部与东翼运输上山沟通,形成采区通风与运输系统^[1]。

1.2 运输需求分析

根据通风系统优化方案,一采区进风暗斜井承担采区设备、材料及大件物资运输任务,矸石通过带式输送机运输,人员通过架空乘人装置运输。运输需求具体如下:最大件重量为液压支架,整体重量25t,拆解后最大件约16.2t(按17t计算),外形尺寸约6.96×1.43×2m;配套起吊梁及多功能运输架总重约2.5t,总负载19.5t;运输距离840m,最大坡度15°;工作制度为330d/a、16h/d。

2 采用单轨吊的必要性与可行性

2.1 必要性分析

(1) 解决传统运输效率低下的迫切需求。现有副斜井采用矿车单钩串车提升,需设置绞车、车场及硐室,每次提升需摘挂钩、调车,环节多、速度慢、占用人大。单轨吊可实现连续直达运输,无需转载,效率可提高2~3倍,有效解决一采区辅助运输瓶颈问题。(2) 适应大件设备运输的客观需要。综采工作面液压支架、采煤机等大型设备传统运输需拆解分运,现场组装工作量大、工期长、安全隐患多。单轨吊配备专用起吊梁,可直接整体运输重型设备,从根本上解决大件整体下井的技术难题,大幅缩短工作面安装回撤周期。(3) 落实减人提效安全目标的必然选择。传统绞车运输需配置绞车司机、信号工、挂钩工、推车工等多个岗位,且人员需在倾斜巷道中频繁作业。单轨吊可实现一人操控,减

少作业人员 60% 以上, 消除摘挂钩、人工推车等高危环节, 符合“少人则安、无人则安”的发展理念。

2.2 可行性分析

一采区进风暗斜井巷道断面净宽 5.6m、净高 4m, 远高于单轨吊安装所需净宽 $\geq 2.4\text{m}$ 的基本要求, 且巷道采用锚网索 + 喷射混凝土支护, 顶板条件良好, 为轨道悬挂提供了可靠锚固基础; 最大坡度 15° 在设备 25° 的适应范围内, 巷道条件具备安装可行性。单轨吊辅助运输技术自上世纪八十年代从国外引进以来, 经过四十余年发展, 已在我国煤矿成熟应用, 在防爆动力、轨道系统、制动安全等核心技术方面积累了丰富的经验^[2]。平煤神马集团内部已有多个矿井成功应用单轨吊系统, 形成了完善的技术标准与操作规程, 可供直接借鉴。虽然初期投入较高, 但投运后可实现连续直达运输, 减少转载环节, 运输效率提升 2~3 倍, 同时减少岗位人员 60% 以上, 长期运行可显著降低绞车维护及人工成本, 综合效益显著。因此, 一采区进风暗斜井采用单轨吊车运输系统在技术和工程实践上均是可行的。

3 单轨吊选型方案设计与比选

3.1 方案一: 防爆柴油机单轨吊

方案一选用 DCR140/110Y 型防爆柴油机单轨吊机车, 该机型是针对煤矿井下大坡度、重载运输工况开发的专业装备。主要技术参数方面: 额定牵引力达到 140kN, 能够满足最大坡度条件下重型液压支架的整体搬运需求; 动力系统采用 110kW 防爆水冷柴油机, 具备良好的散热性能与防爆安全性, 排气温度控制在 70°C 以内, 表面最高温度不超过 150°C , 有效避免高温引发瓦斯爆炸风险; 轨道系统适应 I140V 专用工字钢, 该型号轨道为煤矿单轨吊标准配置, 承载能力与耐磨性优异; 最大爬坡能力 $\pm 25^\circ$, 重载工况下可达 $\pm 30^\circ$, 远高于本工程 15° 的坡度要求, 具备充足的富余系数; 运行速度 $0\sim 2.1\text{m/s}$ 无级调速, 可根据巷道条件与负载情况灵活调节, 保证运行平稳; 水平转弯半径 $\geq 4\text{m}$ 、垂直转弯半径 $\geq 10\text{m}$, 适应井下复杂巷道走向; 制动系统采用失效安全型设计, 集成工作制动、紧急制动与驻车制动三位一体, 制动力不低于额定牵引力的 1.5 倍, 确保在断电或液压失效时自动抱死, 杜绝溜车失速风险。该机型整机 MA 安全标志齐全, 防爆等级满足高瓦斯矿井使用要求, 技术成熟可靠。

3.2 方案二: 防爆锂电池单轨吊

方案二选用防爆锂电池单轨吊机车, 该机型以矿用防爆锂离子蓄电池组作为动力源, 代表了煤矿辅助运

输装备电动化的发展方向。主要技术参数方面: 额定牵引力同样达到 140kN, 可满足本工程重载运输的牵引力需求; 动力源采用矿用防爆锂离子蓄电池组, 额定电压 320V DC, 配备专用防爆箱体与泄压保护装置; 牵引电机为隔爆型三相异步变频电机, 配合隔爆兼本安型变频控制器, 实现软启动、软停止与无级调速, 运行速度 $0\sim 2.1\text{m/s}$, 启动停车平稳, 对轨道系统冲击小; 续航能力方面, 满载连续作业可达 6~8 小时, 基本满足单班作业需求; 防爆标志为 Ex d I Mb/Ex ib I Mb, 防护等级 IP54, 符合煤矿井下防爆要求; 制动方式同样采用失效安全型制动, 制动力不低于额定牵引力的 1.5 倍; 整车配备 BMS 电池管理系统, 具备单体电压均衡、过充过放保护、过流短路保护及温度实时监测功能, 配合绝缘监测装置实现漏电报警断电^[3]。该机型具有零排放、低噪音、维护简单等环保优势, 但受限于当前电池技术, 在续航与充电效率方面仍存在一定局限。

3.3 方案综合对比与选定

两个方案的关键性能指标对比如下: 柴油机单轨吊最大牵引力可达 396kN, 爬坡能力 $\leq 25^\circ$, 每日最长运行时间 ≥ 20 小时, 燃料补给仅需 5 分钟; 锂电池单轨吊最大牵引力 390kN, 爬坡能力 $\leq 15^\circ$, 每日运行时间约 3 小时, 充电需 8 小时以上, 电池更换周期 2 年, 更换成本高达 300 万元。从运输效率角度看, 柴油机单轨吊可实现全天候连续运行, 尤其适应矿井多班制连续生产模式, 而锂电池机型充电时间远大于作业时间, 需配备备用电池组轮换使用, 实际可用作业时间受限。从爬坡能力看, 柴油机瞬时扭矩大, 重载上坡时功率输出稳定, 锂电池则存在功率衰减问题。从购置成本看, 柴油机单轨吊单台购置费比同吨位锂电池机型低 15%~20%, 且无需新建充电硐室与配套供电设施。在巷道通风方面, 柴油机虽然对配风量有一定要求, 但本工程局部通风机供风量 $480\sim 879\text{m}^3/\text{min}$, 远大于 $440\text{m}^3/\text{min}$ 的最低要求, 通风条件完全满足。锂电池机型虽零排放, 但电池舱需强制风冷或液冷, 且在高湿度环境中绝缘监测频繁报警, 需额外除湿措施。综合各方面对比, 结合矿井生产现状和现有巷道条件, 设计推荐方案一: 防爆柴油机单轨吊。

4 设备选型计算与轨道系统设计

4.1 运输能力计算

机车运输材料往返一次总时间: $t = t_y + t_d = 31.3\text{min}$, 其中运输时间 23.3min, 装载调车辅助时间 8min。每台机车每班往返次数 $P = 8.6$ 次, 每班需运输列车数 9.09 列, 需配机车数 $N = 1.05$ 台, 即 1 台机车可满足运输要求, 备用 1 台保障系统可靠性。

4.2 牵引力校核

机车最大牵引力计算公式： $F = (P_1 + P_3 + P_6)(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)g$

式中： P_1 为机车质量（10000kg）， P_3 为支架质量（17000kg）， P_6 为起吊梁总质量（4500kg）， α 为最大坡度（15°）， μ 为运行阻力系数（取 0.05）， g 为重力加速度（9.8m/s²）。计算得 $F = 88.842\text{kN}$ ，考虑 1.4 倍储备系数， $F_{\max} = 124.37\text{kN}$ 。所选 DCR140/110Y 单轨吊额定牵引力 $140\text{kN} > 124.37\text{kN}$ ，满足使用要求。

4.3 轨道悬吊力计算与锚杆设计

采用 I140V 轨道，单根长度 $L = 2.4\text{m}$ ，起吊梁承载小车间距 $A = 1.9\text{m}$ 、 $B = 1.36\text{m}$ ，总负载 $G = 19.5\text{t}$ 。根据单轨吊轨道系统悬吊点受力分析，在起吊重物时轨道各吊挂点承受动态载荷，取最大不利工况进行计算。经分段受力分析，四个吊挂点受力呈动态变化，计算得最大吊挂力 $T_{\max} = 8.009\text{t}$ 。取 2.4 倍安全系数，吊挂点最大承受力 19.222t ；考虑两根锚杆受力不平衡系数 1.2，单根锚杆所需锚固力为 11.53t 。设计取每根锚杆预紧锚固力 $\geq 12\text{t}$ ，满足安全要求。

4.4 轨道系统安装方案

运输线路全程铺设 I140V 重型轨道，配置 2.4m 直轨、1m 弯轨及过渡轨。针对不同巷道段设计差异化吊挂方式：起点超高段（9.5m）采用钢架结构配合托架或立柱支撑；U36 型钢棚段采用专用吊挂座与棚梁连接；锚杆锚索段采用双锚杆 + 双链吊挂座悬挂；上下坡弯道采用 1m+2m+1m 三段重轨过渡，控制垂直方向轨道最大夹角 $\leq 4^\circ$ 、水平方向 $\leq 1^\circ$ ，防止急转弯对机车造成损害。直线段每根轨道配置防摇摆横拉装置，坡道段配置斜拉装置。

4.5 通风与安全验算

根据《煤矿安全规程》要求，使用防爆柴油动力装置机车的巷道，配风量按每千瓦不小于 $4\text{m}^3/\text{min}$ 验算： $Q = 4 \times 110 = 440\text{m}^3/\text{min}$ 。现场 FBDNo8.0/2×45KW 局部通风机供风量 $480 \sim 879\text{m}^3/\text{min}$ ，满足掘进期间使用要求，巷道贯通后作为主要进风大巷亦满足需求。消防安全方面，编组站、错车场、加油硐室、检修硐室两侧设 DN50 消

火栓，并配置手提式磷酸铵盐灭火器，每个点两具。机车配备车载自动灭火系统及手动灭火器，关键部位设置高温部件隔热、管路防磨防拉脱等防护措施^[4]。

4.6 效益分析

经济效益方面，单轨吊投入运行后，每月可减少绞车提升运送物料人员 5 人以上，年节约人工费 42 万元，绞车维护费 24 万元，合计年节约 68 万元，投资回收期约 5 年。社会效益方面，防爆设计与多重安全保护从根源上规避掉道、跑车、断绳等高危事故风险；智能监测、遥控驾驶功能推动辅助运输向智能调度模式转变；尾气净化系统有效降低污染物排放，改善井下作业环境，助力绿色低碳发展。

结束语

单轨吊车运输系统是实现煤矿辅助运输现代化的重要技术路径。本文以平禹四矿一采区进风暗斜井为工程案例，完成了必要性论证、方案比选、设备选型计算与轨道系统设计的完整技术方案研究。结果表明，DCR140/110Y 型防爆柴油机单轨吊额定牵引力 140kN ，满足最大坡度 15°、总负载 19.5t 条件下的运输要求；轨道吊挂点最大悬吊力 8.009t ，锚杆锚固力应不低于 12t 。该方案可减少运输环节作业人员 60% 以上，年综合经济效益约 68 万元，研究成果可为同类条件矿井单轨吊系统设计提供参考。后续可在智能调度、无人驾驶等方面进一步深化研究。

参考文献

- [1] 梁飞宇. 矿用单轨吊车运输系统优化设计与应用[J]. 机械管理开发, 2023, 38(8):132-134.
- [2] 秦志强, 王瑞光. 赵固二矿单轨吊车智能运输管理系统技术研究与应用[J]. 山东煤炭科技, 2024, 42(6):161-164, 169.
- [3] 成绍刚. 井下单轨吊机车辅助运输系统的应用研究[J]. 当代化工研究, 2022(10): 77-79.
- [4] 王醒民, 钟乙萌. 煤矿井下单轨吊全封闭运输智能预警系统设计[J]. 工程机械, 2025, 56(5):1-4.