

单轨吊在软岩大倾角巷道运输重型支架的应用

王修宏, 吕 益

(中煤新集能源股份有限公司, 安徽 淮南 232001)

摘 要:针对我国中东部煤矿软岩、破碎顶板、斜巷大倾角复杂条件下运输重型液压支架的技术难题, 中煤新集能源股份有限公司引进重型防爆柴油单轨吊机车设备, 结合现场条件, 对专用重型起吊梁单轨道安装方式、吊挂链条布置方式、单轨吊吊挂方式和吊挂机具、使用过程中现场管理等进行研究创新, 首次实现用单轨吊整体运输 48 t 重型液压支架, 运输效率较传统绞车运输提高 50% 以上, 成功解决了综采工作面传统回撤工艺存在的准备量大、运输环节和人员多、运输效率与劳动效率低、安全管理复杂等问题, 可实现复杂地质条件下综采工作面安全、高效、快速安装和回撤。

关键词:单轨吊运输; 轨道安装; 大倾角煤层; 重型支架; 重型起吊梁

中图分类号: TD35 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2017)08-0200-06

Innovation and application of monorail crane to transport heavy powered support in soft rock large inclined gateway

Wang Xiuhong, Lyu Yi

(China Coal Xinji Energy Company Limited, Huainan 232001, China)

Abstract: According to the technical problems of the heavy powered support under the conditions of the soft rock, broken roof, high inclined complicated gateway in the coal mines of Mid-Eastern China, a heavy flameproof diesel engine monorail locomotive equipment was imported by China Coal Xinji Energy Company Limited. In combination with the site condition, a study and innovation was conducted on the installation method of the monorail for the heavy lifting beam, layout method of the suspended chain, the suspended method and suspended tool of the monorail, and site management during the application process. It was a first time for the monorail to transport the 48 t heavy hydraulic powered support and the transportation efficiency was over 50% higher than the conventional winch transportation. Thus the monorail transportation could successfully solve the high preparation workload, many transportation links and personnel, low transportation efficiency and low labor efficiency existed in the conventional withdrawing technique of the fully mechanized coal mining face and could realize the safety, high efficient and rapid installation and withdrawing of the fully mechanized coal mining face under the complicated geological conditions.

Key words: monorail transportation; railway installation; large inclined seam; heavy powered support; heavy lifting beam

0 引 言

目前我国中东部地区煤矿开采多为深部、井工矿、综合机械化开采方式, 随着技术进步和安全开采的需要, 液压支架、采煤机、刮板输送机等综采“三机”设备, 向大功率、重型化、自动化方向发展^[1], 特别是液压支架, 从单架重十几吨发展到接近 50 t。

这些重型、大功率综采设备的应用为我国煤矿安全高效开采起着关键性作用。但重型液压支架的应用, 也给工作面安装、拆除期间的大件运输带来很大困难。当前主要运输方式有以神东公司为代表的无轨胶轮车整体运输^[2], 传统的大绞车、巷道小调度绞车和无极绳绞车运输为主的地轨运输系统^[3], 以及柴油单轨吊机车运输 3 种方式。由于中东部地区

收稿日期: 2017-04-11; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2017.08.034

作者简介: 王修宏(1963—), 男, 安徽六安人, 高级工程师, 现任中煤新集能源股份有限公司副总工程师。E-mail: wklz5678@163.com

引用格式: 王修宏, 吕 益. 单轨吊在软岩大倾角巷道运输重型支架的应用[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(8): 200-205, 242.

Wang Xiuhong, Lyu Yi. Innovation and application of monorail crane to transport heavy powered support in soft rock large inclined gateway[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 200-205, 242.

井工开采及煤层巷道起伏变化大、地底软等客观条件的限制,我国中东部地区煤矿辅助运输无轨胶轮车运输方式在中东部矿井应用很少,仍以无极绳配合慢速绞车、电机车牵引的传统方式为主,导致运输安全威胁大、效率低、用人多,工作面安装拆除时间长,安全事故多发,必须积极稳妥地开展安全高效矿井辅助运输关键技术的研究及试验推广工作^[4]。单轨吊车运输系统具有安全可靠、不跑车、不掉道、不受底板影响及爬坡能力强、转弯灵活等优点,使得单轨吊系统在煤矿辅助运输系统中有着广阔的应用前景。中煤新集能源股份有限公司(以下简称中煤新集公司)刘庄煤矿综采工作面多为倾斜长壁布置,工作面安装时采面倾斜长壁多在2 000 m左右,巷道属软岩、破碎顶板、大倾角(平均12°、最大20°),综采设备为大功率重型装备,其中最重的液压支架为ZZ13000/27/60D型支撑掩护式支架,总质量48 t。传统的慢速绞车运输方式,需要采用多台绞车接力运输设备,每台绞车必须安装“一坡三挡”等安全措施,安全威胁大。加上轨道运输巷底板抗压能力差,容易底鼓变形,造成轨道铺设后质量变化快,轨道轨距、弯道曲率半径误差超标,轨道接头高低超标和前后间隙超标,轨道线路道岔使用性能变差。如维护不及时,车辆运行会造成掉道、翻车等脱轨事故^[5]。由于需安排多名绞车司机配合作业,用人多、效率低,每班仅运输1~2架。

单轨吊是一种挂在单轨铁路上运行的、通过柴油机液压驱动的机车,由轨道系统及机车组成。由于单轨吊与柔性连接的结构单元相分离,具有最适宜的空间灵活性,模块化结构使其充分适应多种不同的井下巷道条件。机车由主机部分、独立的冷却单元、数量可变的机车驱动部、前后司机室、机械连接元件、用于电力和信号传输的线路和电缆组成,技术先进,安全可靠,是我国推广应用的新型煤矿辅助运输设备^[6]。中煤新集公司刘庄煤矿创新使用单轨吊运输,已在36 t的ZZ10000/22/45D支架运输上取得成功。为解决西区48 t重ZZ13000/27/60D液压支架运输问题,结合现场条件,研发了专用重型起吊梁,对单轨道安装方式、单轨吊吊挂方式和吊挂索具、单轨吊现场使用管理进行研究创新。采用单轨吊运输方式以来,累计运输各类液压支架2 236台、SL500采煤机10台、SGZ1000/3×1000刮板输送机10部。在安全可靠的基础上,作业人员数量和作业效率较传统作业方式提高50%以上。

1 单轨吊轨道安装方式的改进

针对新集公司刘庄煤矿800 m深井开采,巷道的顶板多为砂质泥岩且顶板破碎,地压大,斜巷倾角大,局部达22°复杂的地质条件,先后在刘庄煤矿东二11煤轨道上山、西三11煤轨道上山等地点安装使用单轨吊,运输质量为36 t、48 t液压支架及人员、材料。首次使用时,采用德国的安装材料和工艺,其吊挂重型轨道的锚杆受地压挤压应力和顶板破碎的双重作用,位置发生变化,再加之锚杆受单轨吊运行荷载影响产生的剪切力与拉伸力的作用,以及顶板等多种复杂应力的综合作用,导致悬挂单轨吊轨道的进口高强锚杆在使用2个月后,多处折断,无法正常运行^[7]。为寻求适合软岩、煤顶、顶板破碎、大倾角地压大巷道的单轨吊轨道安装工艺,先后到潞安、淮北、山东等地煤矿学习调研,深入研究刘庄矿使用进口高强锚杆折断的机理和对相关材料的要求,确定新工艺。采用中煤新集公司日常使用的普通左旋锚杆、锚固剂、树脂锚固剂,停止使用德国进口的单轨吊轨道悬挂的大吊挂板和锚杆托盘,采用特制的索具悬挂单轨吊轨道,使其锚杆只承受单轨吊轨道的悬挂重力,不承受巷道支护的应力,而巷道变形产生的锚杆位移及单轨吊运行产生的刚性剪切力变为弹性缓冲,锚杆的受力状况大为改善,巷道变形时确保锚杆不被剪断。先后在刘庄矿、口孜东矿复杂地质条件巷道安装试验成功并总结推广,均取得良好的使用效果并获得国家发明专利。在顶板破碎、松动、漏顶空顶处,采用2根锚索,吊挂矿用11号工字钢,在矿用11号工字钢上吊挂单轨吊轨道,同时每隔30 m加装防摆动链条,吊挂链条超过600 mm的地方,加设链条斜拉;用锚索吊挂的地方,有的锚索外露较短,需将索具上移压紧,同时所有用锚索起吊连接的地方,加第2个索具保护,防止索具脱落^[8]。

1.1 轨道选型

1) 轨道最大受力计算。根据相关设计标准,单轨吊运输系统采用2种轨型:I140E(轻型)以及I140V(重型)轨道。对整体运输液压支架及解体液压支架、设备和物料、人员时轨道受力分析结果得出,在运输整体液压支架时,起吊梁处轨道受力为最大^[9]。

起吊梁处总载荷(ZZ13000/27/60D型液压支架48 t,起吊梁约8 t)56 t,SLG16.5型起吊梁共有16个行走小车,轨道单点载荷要求的能力为35 kN。

2)使用 SLG16.5 重型起吊梁整体运输 48 t 重型液压支架受力分析,每个行走小车作用在轨道上的力为 35 kN。

3)综合以上分析:刘庄矿采用 I140V 05/100-600 型号轨道,每节长度 2.6 m,轨道单点受力满足以上受力要求^[10]。

1.2 轨道悬挂方式与安装

根据安装所在巷道顶板的实际情况,考虑施工方便及质量要求,确定采用 U 型棚卡子或锚杆卸扣连接,链条吊挂如图 1 所示。锚杆吊挂采用普通 $\phi 22$ mm,长 2 500 mm 的左旋锚杆,锚固剂为 MSK2350 型 1 卷(里)和 Z2350 型 2 卷(外)树脂锚固剂,每根锚杆锚索锚固力不应低于 100 kN。

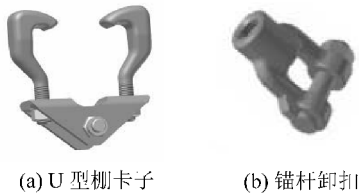
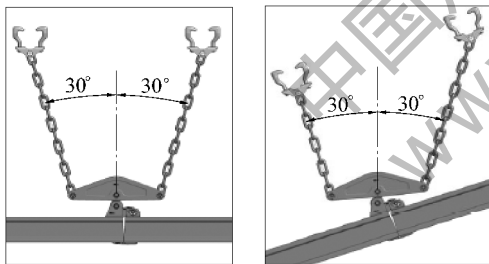


图 1 轨道吊挂机具

Fig. 1 Track hanging machine

1)每根轨道有 2 个吊挂装置,锚杆间距 600~900 mm,链条与中心线的角度 30° 为佳,如图 2 所示。



(a) 平巷轨道吊挂装置 (b) 斜巷轨道吊挂装置

图 2 轨道吊挂装置

Fig. 2 Track hanging device

2)在顶板破碎、松动、漏顶空顶处,采用 2 根 $\phi 22.5$ mm \times 6 300 mm 的锚索,配合切割 1 m 长的矿用废旧 U 型钢材,使用 U 型棚卡子连接链条吊挂。

3)同时每隔 30 m 加装防摆动链条,是防止在单轨吊轨道上运行的单轨吊机车及重型液压支架产生的纵向及横向摆动,用锚链将单轨吊轨道固定在巷道的两侧帮上。

4)吊挂单轨吊轨道的链条超过 600 mm 时,在单轨吊轨道上运行的单轨吊机车及重型液压

支架易产生纵向及横向摆动,用锚链将单轨吊轨道固定在巷道的两侧帮上,以减小单轨吊的纵向及横向摆动。

5)加装斜拉链条,其目的也是防止在单轨吊轨道上运行的单轨吊机车及重型液压支架产生的纵向及横向摆动,也采用锚链将单轨吊轨道固定在巷道的两侧帮上,如图 3 所示。

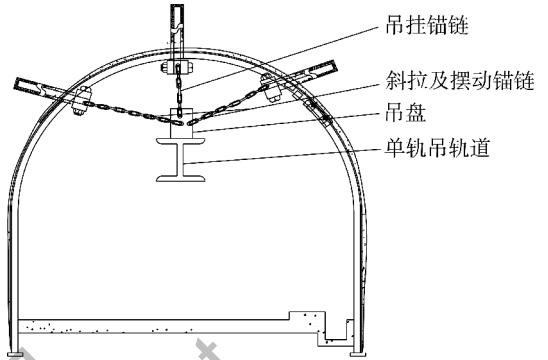


图 3 消除轨道摆动的链条布置

Fig. 3 Chain layout for removing track swingings

6)锚索外露较短时,需将索具上移压紧,是确保锚索用垫板与锚索的铆具将工字钢可靠固定在巷道顶板上。

7)用锚索起吊连接的地方,加第 2 个索具保护,防止索具脱落,是确保锚索用垫板与锚索的铆具将工字钢可靠固定在巷道顶板上。

1.3 巷道断面要求

工作面开切眼至组装间巷道高度为 4 900 mm,宽度以单轨吊轨道中心线两侧各 2 000 mm(最低不低于 1 500 mm),如图 4 所示。

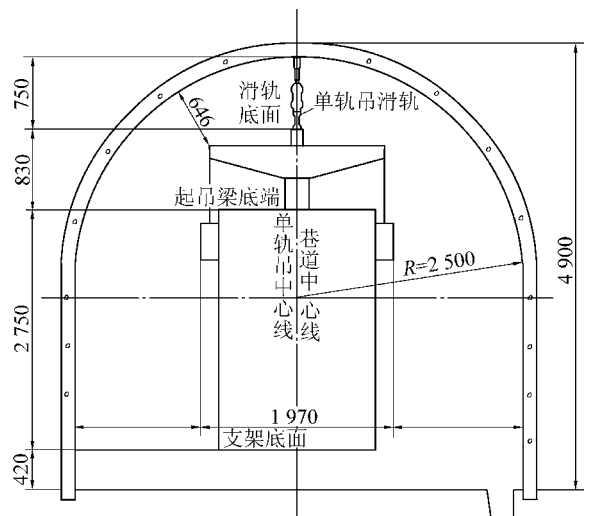


图 4 巷道断面示意

Fig. 4 Schematic of roadway section

2 机车选择及单轨吊与起吊梁的创新

单轨吊运输是目前国内外较为先进的煤矿辅助运输方式,其牵引力 60~280 kN,最大爬坡角度 30°,最大运行速度 2.15 m/s,但之前从未运输过超过 40 t 的液压支架。为突破这一目标,对单轨吊机车选型、轨道吊挂方式、吊挂链条布置方式、吊挂锚杆安装方式进行创新,设计新型专用吊挂机具,设计适用于 48 t 重液压支架的专用起吊梁,实现在全球范围内首次整体运输 48 t 重液压支架。实践证明,单轨吊运输具有运输安全环境好、运输效率高、需用人员少等优势,特别适合煤矿地质条件复杂和弯道多的巷道使用,实现在大倾角巷道条件下重载设备、物料和人员连续化运输,取消斜巷“一坡三挡”等安

全设施和传统绞车信号工、把钩工,杜绝斜巷断绳跑车风险^[11],实现从井口或采区运输车场到采掘工作面的连续运输。

2.1 液压支架整体运输的机车选型

1) 牵引力计算公式如下:

$$F = g(W_1 + W_2 + W_3 + W_4)(\sin \alpha + f \cos \alpha)$$

其中: F 为支架需要牵引力, kN; g 为牵引力换算系数,取 9.8; W_1 为设备最大质量,取 48 t; W_2 为机车自重,取 12.5 t; W_3 为起吊梁自重,取 8.0 t; W_4 为拉杆及线管质量,取 0.5 t; α 为运输线路的最大坡度,取 15°; f 为机车运行阻力系数,取 0.03。经计算可知 $F = 196$ kN。

2) 机车重载/空载时性能曲线如图 5 所示。

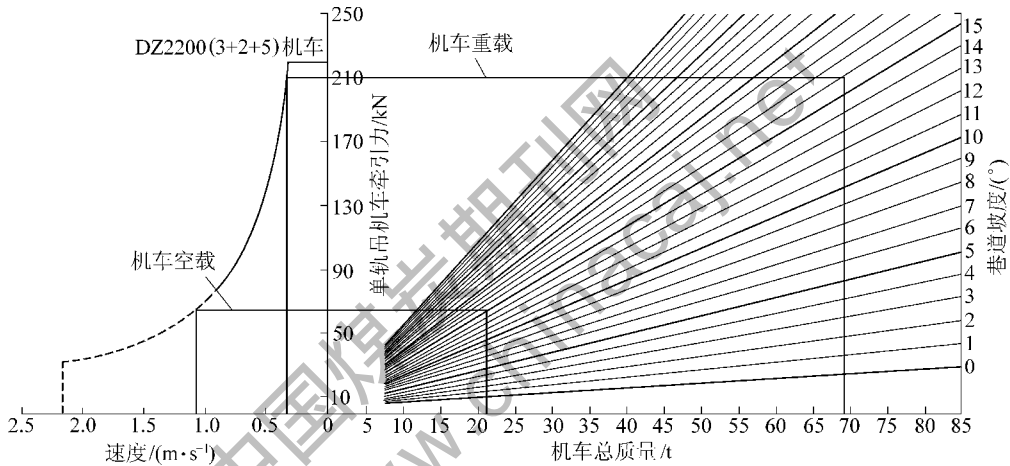


图 5 车重载/空载时性能曲线

Fig. 5 Performance curves of locomotive overloading/no-load

通过牵引力计算公式计算以及车重载/空载时性能曲线可知^[12],所选用的防爆柴油机能够满足目前煤矿大型液压支架、掘进机和采煤机的连续长距离大坡度的运输要求。

3) 机车及起吊梁选型。因机车牵引力至少需要 196 kN,推荐 DZ2200 3+2+5 机车配置,最大 275 kN 带 10 驱动单元完全能够完成使用工况要求。柴油单轨吊运输 47.5 t 液压支架示意如图 6 所示。

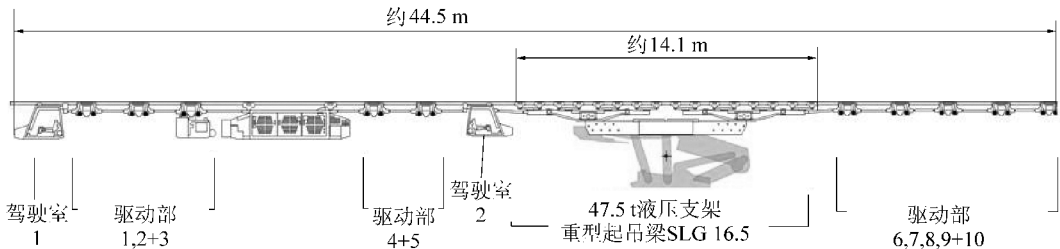


图 6 柴油单轨吊运输 47.5 t 液压支架示意

Fig. 6 Schematic diagram of 47.5 ton hydraulic support transported by diesel monorail crane

4) 起吊梁的改进和创新。虽然 DZ2200D 单轨吊(10 驱)能够用于质量 48 t 及以下液压支架的运输,但原有的 SLG16.3 起吊梁,由于起吊升降执行装

置为液压油缸,对液压支架在升降和运行过程的稳定性有较高要求,否则极易损坏油缸和起吊梁构件,同时造成安全威胁。结合设备工况,改造起吊梁与

机车的连接方式,采用高强度专用起吊链,改进起吊梁与液压支架的固定方式,结合原有支架起吊孔设计,改进起吊梁预设安装孔,创新起吊升降方式,将起吊升降执行油缸改为液压马达,使之升降平稳,无冲击。设计专用的起吊梁构件^[13],形成新型SLG16.5型起吊梁。

2.2 常用起吊梁与机车的配置方案

常用起吊梁与机车的配置方案见表1。根据刘庄煤矿巷道高度要求及ZZ13000/27/60D支架(48 t)使用单轨吊整体运输的现场实际情况,采用SLG16.5液压马达式起吊梁运输效果最好,可降低巷道高度的要求,减轻单轨吊起吊梁的质

表1 常用起吊梁与机车的配置方案

Table 1 Configuration of commonly used lifting beams and locomotive

序号	设备	型号	数量	备注
1	沙尔夫柴油机车单轨吊机车	DZ22003+2+5	1	提供机车动力及运行轨道
2	起吊梁	SLG16.5	1	用于整体回撤支架
3	起吊梁	SLG8.2	1	用于回撤轻型设备
4	起吊梁	SLG4.1	4	用于回撤轻型设备及人员

3 单轨吊运输重型液压支架现场管理创新

正式运输之前,先将综采支架调向拖出,运至单轨吊起吊梁的正下方,然后使用单轨吊机车的重型起吊梁起吊液压支架。起吊前先将液压支架顶梁前段缓慢起吊至合适高度后,再使用液压单体支撑在重型起吊梁后翼十字中心处配合单轨吊机车的重型起吊梁的液压马达,将液压支架的尾部起吊至合适高度,确保液压支架整体离地约100 mm。确认无误后,清理工作面开切眼内所有闲杂人员,开启单轨吊机车,将重型综采液压支架运出工作面开切眼,运输至采区轨道下山的下车场及吊装间。运输过程中合理控制车速,斜巷运输时,单轨吊机车的速度不得大于0.6 m/s;平巷运输时,速度不得大于1.0 m/s,过道岔、弯道的速度不得大于0.2 m/s;行驶过程中,遇有障碍物等影响单轨吊运行时,单轨吊机车的司机应立即停车。为保证运输中人员安全,在单轨吊运行时,人员必须在单轨吊的上山方向,不得在单轨吊下方及两侧,防止单轨吊所运物料掉落或运行时摆动伤人。

1) 运输前,需提前将待吊运的液压支架、采煤机等大型设备运至起吊梁正下方,调整起吊梁链条状态,保证垂直悬挂,不得斜拉重物,链环不错扭和打结。

量,简化结构,提高安全稳定性,减小巷道高度和挖底量。

柴油单轨吊机车配合SLG16.5重型起吊梁(48 t)的成功应用,改善运输重型综采液压支架运输的安全环境,消灭窄轨运输的掉道、翻车、斜巷断绳、溜车等重大运输事故,实现平巷—斜巷、多弯道、多岔道的连续直达运输,杜绝煤矿传统的斜巷地轨运输系统钢丝绳牵引易发生的断绳、跑车、掉道等事故^[14],杜绝调度绞车、无极绳绞车、慢速绞车等多次转运过程中摘挂钩的伤人、挤人事故,安全性、可靠性成倍提高,实现了煤矿综采工作面设备拆除、安装、运输安全高效的目标。

表1 常用起吊梁与机车的配置方案

Table 1 Configuration of commonly used lifting beams and locomotive

序号	设备	型号	数量	备注
1	沙尔夫柴油机车单轨吊机车	DZ22003+2+5	1	提供机车动力及运行轨道
2	起吊梁	SLG16.5	1	用于整体回撤支架
3	起吊梁	SLG8.2	1	用于回撤轻型设备
4	起吊梁	SLG4.1	4	用于回撤轻型设备及人员

2) 运输超过8 t的重型物料时,必须使用机车的专用重型起吊梁,运输低于8 t的小型件可以用机车的轻型起吊梁进行运输。

3) 单轨吊重型起吊梁两翼伸出距中心线的最大宽度为1 200 mm,运输过程中沿途不得有影响设备运行路线的任何障碍物。根据设备最大件的外型尺寸,加工模型支架提前进行试运行,对影响运行的局部巷道,必须进行扩帮或挖底,经验收合格后方可运行。

4) 加强单轨吊机车使用过程中的维护。要保证各部件完好、性能可靠,特别是防冻液的更换和冷却室的清理、制动缸和夹紧缸的完好等,要安排专人日检,并做好记录^[15]。

5) 沿途所有单轨吊梁在每次运输前都要进行全覆盖巡查,轨道连接啮合处、螺栓、起吊点和受力锚杆等全部检查,发现有锚杆失力、螺丝松动、单轨吊梁变形、轨道连接啮合处断裂等现象要及时处理,确保轨道系统完好。

4 单轨吊与无级绳绞车运输方法的比较及效益

目前“两准”煤矿综采工作面液压支架安装与撤出的运输方式为“轨道、绞车、钢丝绳、平板车”,一个综采工作面的撤出时间约需2个多月,而采用

单轨吊运输方式进行撤出只需要1个半月左右,其工作面上下口不需卧设平台、施工绞车窝,准备时间短,运输环节少,运输效率高,无需绞车司机、信号工、把钩工等,减少运输人员;消除了运输过程中的安全隐患。单轨吊安装简单,操作方便、快捷,提高了煤矿辅助运输系统的安全性,单轨吊机车的钳型导向装置,能有效防止脱轨事故的发生,当其速度大于2.2 m/s时,制动装置自动抱闸,避免溜车的风险^[16]。

刘庄煤矿成功实现单轨吊运输重型液压支架,不仅在生产准备上缩短了工期,减轻了工人劳动强度,降低了生产成本,提高了煤矿辅助运输的安全系数,而且提升了煤矿井下辅助运输的机械化、自动化水平,辅助运输智能化成为可能,无论从经济效益、安全效益还是社会效益等方面,都是一次质的飞跃。

1)节省了传统运输路线必需的绞车固定基础及2条重型轨道施工的工时、材料和电费,节约成本^[17-18]。

2)大幅减少了工作面吊装间、绞车基础施工、上平台挖底及轨道巷修巷、挖底、整道工作量。以往工作面撤除生产准备期间至少需要7支队伍同时进行施工,171101工作面采用单轨吊进行撤除时,由于工作面综采设备全部由运输巷运输,轨道巷无需进行挖底、钉道,开切眼上平台也不需要施工。用单轨吊撤出时,生产准备期间只需要4支队伍。

3)运输系统实现了简化和优化。减少了多台32 t/28 t慢速绞车转换的工序环节。用无级绳绞车运输,整个系统需要绞车司机、信号、把钩工及警戒人员达28人,而使用单轨吊运输只需要1名押车工和1名司机,每个节省26个人工,按照工作面撤出需要约2个月的时间计算,共节省1560个人工。

4)提高了工作效率。传统撤出工艺1个圆班可以拆除5~6台支架,而使用单轨1个圆班撤出9~10架,最高圆班撤12架。

5)降低安全风险,提高安全系数。采用单轨吊运输后,综采工作面设备撤出周期可控制在45 d内完成,为工作面封闭赢得了宝贵时间。

5 结 语

在煤矿辅助运输系统中,单轨吊车作为一种高效现代化的煤矿辅助运输设备,能够应用于煤矿井下人员、材料设备等的辅助运输。采用单轨吊运输,提升了综采工作面大型设备回撤的安全性,减轻了

职工劳动强度,提高了工作效率。单轨吊不仅能实现连续运输,而且可以作为起吊设备对重物进行起吊,既能运输综采设备,又能运输人员和材料,减少矿井辅助运输人员,提升矿井辅助运输安全可靠。单轨吊运输简化、优化了煤矿辅助运输系统,减少矿井投入资金和岗位人员数量,其经济效益和社会效益可观,对我国中东部煤矿辅助运输技术升级具有示范意义。

参考文献(References):

- [1] 王国法.煤炭安全高效绿色开采技术与装备的创新与发展[J].煤矿开采,2013,18(5):1-5.
Wang Guofa. Innovation and development of safe, high-efficiency and green coal mining technology and equipments[J]. Coal Mining Technology, 2013, 18(5): 1-5.
- [2] 王继生,樊运平.无轨胶轮车在神东矿井辅助运输系统中的应用[J].煤炭工程,2007(9):68-69.
Wang Jisheng, Fan Yunning. Application of rubber tyre vehicle to auxiliary transportation system in Shendong Mine[J]. Coal Engineering, 2007(9): 68-69.
- [3] 吴家安.煤矿井下单轨吊机车辅助运输系统的应用[J].煤矿机电,2014(1):109-111.
Wu Jia'an. Application of monorail locomotive auxiliary transportation system in underground mine[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2014(1): 109-111.
- [4] 倪兴华.安全高效矿井辅助运输关键技术研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1909-1915.
Ni Xinghua. Research and application of key technology for safety and high efficient mine auxiliary transportation[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1909-1915.
- [5] 徐亲成.单轨吊辅助运输系统在复杂地质条件下的应用[J].中国科技信息,2014(18):62-63.
Xu Qincheng. Application of monorail auxiliary transportation system under complicated geological conditions[J]. China Science and Technology Information, 2014(18): 62-63.
- [6] 国家煤矿安全监察局.煤矿安全规程[M].北京:煤炭工业出版社,2016:218-230.
- [7] 肖亚宁,王志清,林健,等.锚杆支护巷道单轨吊悬吊技术及应用[J].煤炭科学技术,2003,25(8):16-18.
Xiao Yaning, Wang Zhiqing, Lin Jian, et al. Overhead monorail suspending technology in mine bolt supported roadway and application[J]. Coal Science and Technology, 2003, 25(8): 16-18.
- [8] 王志清,万世文.单轨吊辅助运输对巷道支护的影响[J].煤炭科学技术,2003,25(5):19-21.
Wang Zhiqing, Wan Shiwen. Monorail auxiliary transportation influenced to mine roadway support[J]. Coal Science and Technology, 2003, 25(5): 19-21.
- [9] 张小俊,李君利.移动荷载作用下单轨吊轨道支座力计算公式(下转第242页)

- [7] 王振锋,周英,孙玉宁,等.新型瓦斯抽采钻孔注浆封孔方法及封堵机理[J].煤炭学报,2015,40(3):588-595.
Wang Zhenfeng,Zhou Ying,Sun Yuning, *et al.* Novel gas extraction borehole grouting sealing method and sealing mechanism[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(3): 588-595.
- [8] 董方庭,宋宏伟.巷道围岩松动圈支护理论[J].煤炭学报,1994,19(1):21-32.
Dong Fangting,Song Hongwei.Roadway loose circle support theory [J]. Journal of China Coal Society, 1994, 19(1): 21-32.
- [9] 孙玉宁.本煤层瓦斯抽采成孔与封孔技术研究[D].焦作:河南理工大学,2008:47-56.
- [10] 宋宏伟,郭志宏,周荣章,等.围岩松动圈巷道支护理论的基本观点[J].建井技术,1994,4(5):3-9.
Song Hongwei, Guo Zhihong, Zhou Rongzhang, *et al.* The basic point of roadway surrounding rock loose circle theory [J]. Mine Construction Technology, 1994, 4(5): 3-9.
- [11] 董方庭.巷道围岩松动圈支护理论及应用技术[M].北京:煤炭工业出版社,2001.
- [12] 林柏泉,吕有厂,李宝玉,等.高压磨料射流割缝技术及其在防突工程中的应用[J].煤炭学报,2007,32(9):959-963.
Lin Baiquan, Lv Youchang, Li Baoyu, *et al.* High pressure abrasive hydraulic cutting seam technology and its application in outburst-prevention [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(9): 959-963.
- [13] 刘永茜,张玉贵,张浪.煤层瓦斯运移机制的关键参数表征[J].岩石力学与工程学报,2017,36(5):1145-1151.
Liu Yongqian, Zhang Yugui, Zhang Lang. Key parameters for gas migration mechanism in coal seam [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(5): 1145-1151.
- [14] 孙赞东,贾承造,李相方,等.非常规油气勘探与开发[M].北京:石油工业出版社,2011.
- [15] 杨宁波,王兆丰.钻孔周围煤体中透气性的变化规律研究[J].煤炭技术,2009,27(12):67-69.
Yang Ningbo, Wang Zhaofeng. Study on regularity of permeability changes in coal around borehole [J]. Coal Technology, 2009, 27(12): 67-69.
- [16] 周福宝,张仁贵,昝玺,等.一种瓦斯抽采钻孔的二次封孔装置,中国:ZL20082003509-217[P].2009-02-11.
- [17] 孙玉宁,熊祖强,张海军,等.瓦斯抽采二次高压注浆封孔装置及其封孔方法,中国:ZL2009100641866[P].2009-02-10.
- (上接 205 页)
- 的推导[J].煤炭工程,2013,45(11):25-26.
Zhang Xiaojun, Li Junli. Derivation of the formula for track bearing force of single track crane under moving load [J]. Coal Engineering, 2013, 45(11): 25-26.
- [10] 张小俊.煤矿单轨吊轨道内力计算及选型[J].煤炭工程,2014,46(4):29-31.
Zhang Xiaojun. Internal force calculation and selection on mine monorail crane [J]. Coal Engineering, 2014, 46(4): 29-31.
- [11] 姜汉军.矿井辅助运输设备[M].徐州:中国矿业大学出版社,2008.
- [12] 庄严.煤矿井下单轨吊车的选型计算[J].矿山机械,2010,35(5):44-46.
Zhuang Yan. Selection calculation of the monorail hoist in coal mine [J]. Mining & Processing Equipment, 2010, 35(5): 44-46.
- [13] 王旭东,赵亚东,杨志勇.矿用单轨吊机车液压系统的设计[J].煤矿机电,2013(1):123-124.
Wang Xudong, Zhao Yadong, Yang Zhiyong. Design of hydraulic system of mine monorail crane [J]. Coal Mine Machinery and Electrical Engineering, 2013(1): 123-124.
- [14] 李建升.单轨吊运输在综采综掘工作面的应用实践[J].煤炭工程,2011(9):58-59.
Li Jiansheng. Application of monorail transportation in fully mechanized mining and heading working face [J]. Coal Engineering, 2011(9): 58-59.
- [15] 王怀善.单轨吊在煤矿运输中的使用维护[J].科技资讯,2013(35):69.
Wang Huaishan. The monorail used in coal transportation and maintenance [J]. Science and Technology Information, 2013(35): 69.
- [16] 张艳,宋志安,刘红军.防爆柴油机单轨吊起吊系统设计[J].煤矿机械,2015,36(9):42-43.
Zhang Yan, Song Zhian, Liu Hongjun. Design of monorail crane of explosion-proof diesel engine lifting system [J]. Coal Mine Machinery, 2015, 36(9): 42-43.
- [17] 毛君.煤矿固定机械及运输设备[M].北京:煤炭工业出版社,2006.
- [18] 曹希.煤矿单轨吊辅助运输系统的应用研究[J].华东科技:学术版,2016(10):354-355.
Cao Xi. Study on the application of monorail assisted haulage system [J]. East China Science and Technology: Academic Edition, 2016(10): 354-355.