

煤矿井下长距离设备列车适应性研究

李 刚^{1,2}

(1. 中国煤炭科工集团太原研究院有限公司, 太原 030006; 2. 山西天地煤机装备有限公司, 太原 030006)

摘 要:为了解决煤矿井下传统绞车牵引设备列车采用钢丝绳牵引、高空悬挂单轨吊带来的安全风险,避免设备列车在运输过程中发生自滑移、掉道、翻车、跑车、钢丝绳断裂等事故,研制 KDYZ40-40/2000 矿用电控液压移动列车组,为综采工作面动力控制设备提供安全保障,核算长距离设备列车载重、锚固牵引力、推移系统拉力以及自动伸缩管缆装置设计中弹簧制动器的适应性,重点研究了自移设备列车在 $\pm 12^\circ$ 坡道上的适应性。结果表明:该设备列车组能够适应 $\pm 12^\circ$ 坡道的工况条件,取消绞车牵引、高空悬挂单轨吊以及铺设轨道,有效保证安全高效生产。

关键词:自移设备列车;轨道;锚固牵引装置;适应性

中图分类号:TD525

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Adaptation research of Long Distance Equipment Train in Coal Mine

LI Gang^{1,2}

(1. Taiyuan Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group, Taiyuan 030006, China;
2. Shanxi Tiandi Coal Machinery Equipment Co., Ltd., Taiyuan 030006, China)

Abstract: There are safety risks caused by wire rope traction and high-altitude suspension monorail cranes in the traditional winch traction equipment trains. To avoid the accidents in the transportation process of the equipment trains, including self-slip, derailment, rollover, sliding, and wire rope breaking, KDYZ40-40/2000 mining electronic control hydraulic mobile train unit was developed to provide safety guarantee for the power control equipment on fully mechanized mining face. The study calculated the weight of the long-distance equipment trains, anchoring traction force, pulling force of pushing system, and the adaptability of spring brake in automatic telescopic pipe and cable device, and it focused on the adaptability of the self-moving equipment train on the $\pm 12^\circ$ ramp. The results show that the train unit can adapt to the working conditions of $\pm 12^\circ$ ramp. Eliminating winch traction, high-altitude suspension monorail crane, and tracks, effectively guaranteed the safe and efficient production.

Key words: self-moving equipment train; track; anchor traction device; adaptability

煤矿用设备列车是煤矿综采工作面的动力控制核心,整体牵引长度约 30 m,电缆液管吊挂单轨道长度约 100 m,总质量约 280 t,传统绞车牵引设备列车采用 2 台回柱绞车前后拉动来调整位置以便为工作面正常开采提供支持,在 $\pm 5^\circ$ 以上的坡道上行

走存在列车自滑移现象,整体稳定性差,钢丝绳易断裂,存在严重的安全隐患^[1-4]。

长距离遥控式设备列车组的研制,可实现顺槽巷道中的动力负荷中心^[5]、泵站、电缆、液管、工具箱等设备与工作面三机设备快速联动,无需铺设轨道、

* 收稿日期:2020-03-16

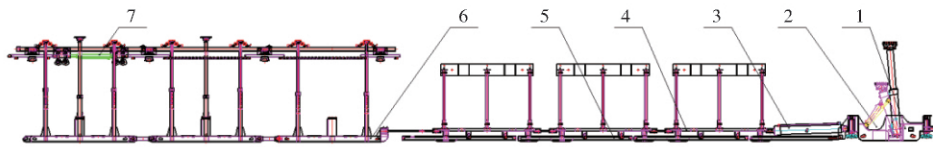
基金项目:国家重点研发计划(2017YFC0804305);山西省重点研发计划项目(201803D121005);山西省科技重大专项(20181102017-01);天地科技青年项目(2018-TD-QN035)

作者简介:李刚(1981—),男,安徽巢湖人,大学本科,副研究员,从事煤矿井下支护和运输技术研究工作,E-mail:13753190900@163.com。

挂电缆、移动绞车等繁重工作,避免设备列车发生自滑移、掉道、翻车、跑车、钢丝绳断等事故,极大地降低了工人的劳动强度,提高了设备的自动化水平,保证其在大角度煤矿井下的适应性以及安全性^[6]。

1 设备列车组成

自移设备列车组总长 260 m,如图 1 所示。主要



1—锚固牵引装置;2—远程遥控电液控制系统;3—推移控制系统;4—自移平板车;5—自移轨道;6—自动伸缩管缆装置;7—步进推移装置

图 1 KDYZ40-40/2000 矿用电控液压移动列车组

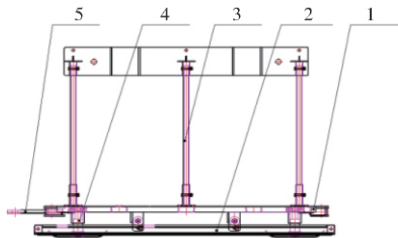
Fig. 1 Mining electronic control hydraulic mobile train units (KDYZ40-40/2000)

2 自移设备列车适应性核算

长距离设备列车适应性研究,主要为 260 m 设备列车适应中煤平朔井工三矿巷道最大坡度 $\pm 12^\circ$ 起伏变化;满足单车承载重量不小于 40 t;设备列车锚固牵引装置结构形式适应巷道条件,锚固牵引力与推移系统适应牵引重量不小于 280 t 的要求。为了实现管缆自动伸缩,其装置关键部件弹簧制动器必须安全可靠,满足制动适应性要求。

2.1 自移式平板车载重

自移式平板车为设备列车中主要承载机构,如图 2 所示。其主要由平板车、轨道、管缆储存架、升降装置以及连接装置组成。无需人工铺设轨道,避免设备列车翻车事故的发生,能够适应大坡度顺槽巷道的要求,提高了安全性,减轻劳动强度。



1—平板车;2—轨道;3—管缆储存架;4—升降装置;5—连接装置

图 2 自移式平板车

Fig. 2 Self-moving flatcar

自移式平板车配有专用轨道和轨道提升装置,专用轨道间通过连接段铰接,适应上下坡道,实现移动列车组整体迈步自移,避免列车组跑车和掉道事故的发生。提升装置在设计时和轨道的摩擦方式为滚动摩擦,摩擦力小,不易损坏,整体运行平稳。

该装置采用 4 根规格为 $\Phi 100$ mm/ $\Phi 70$ mm 油缸进行提升控制,单车设计的最大载重不小于 40 t。

由锚固牵引装置,自移轨道、推移控制系统、30 台自移式平板车、远程遥控电液控制系统以及 12 台自动伸缩管缆装置组成。锚固牵引装置与自移式平板车互为支点,通过推移与远程遥控电液控制系统进行操作,实现设备列车整体前移^[7],一个循环过程大约需要 4 min,可实现 $\pm 12^\circ$ 以下坡道上安全可靠移动。

自移式平板车单车载重 F_1 如式(1)所示:

$$F_1 = 4 \times F_2 k_1 \quad (1)$$

单根提升油缸提升力 F_2 :

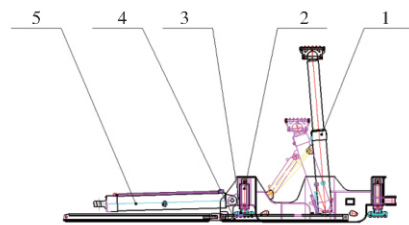
$$F_2 = pS_1 = p \frac{\pi D_1^2}{4} \quad (2)$$

式(1)(2)中: k_1 为支撑效率系数,取 0.7; p 为泵站供液压力,取 31.5 MPa; D_1 为外缸内径,为 100 mm。

将参数代入公式(1)、(2)得出:自移式平板车单车载重 $F_1 \approx 692$ kN $>$ 40 kN,符合设计要求。

2.2 锚固牵引装置适应性核算

锚固牵引装置为设备列车提供锚固牵引点,锚固牵引装置以液压为动力,如图 3 所示。由锚固架、调偏装置、升降装置、轨道以及推移控制系统组成,实现长距离设备列车快速前移,防止设备列车跑车、翻车。



1—锚固架;2—升降装置;3—调偏装置;4—轨道;5—推移控制系统

图 3 锚固牵引装置

Fig. 3 Anchor traction equipment

锚固牵引装置在牵引设备时必须要有足够大的锚固牵引力,这就要求牵引装置给顶板和底板足够的支撑力,不破坏顶板的同时对顶底板的接触面产生足够大的摩擦力,不发生倒移现象。锚固牵引装置采用 2 根规格为 $\Phi 200/\Phi 160$ mm 油缸的立柱撑顶,锚固力为锚固牵引装置撑住顶板和底板摩擦力之和,锚固牵引装置锚固牵引力 F_3 如式(3)所示:

$$F_3 = 4 \times \mu_1 F_4 k_2 \quad (3)$$

单根立柱支撑力 F_4 :

$$F_4 = p_1 S_2 = p_1 \frac{\pi D_2^2}{4} \quad (4)$$

式(3)(4)中: k_2 为支撑效率系数,取 0.9; p_1 为泵站供液压力,取 31.5 MPa; D_2 为外缸内径,为 100 mm; μ_1 为锚固牵引装置撑住顶板和底板,取钢对煤的摩擦系数 0.3。

将参数代入公式(3)、(4)得出:锚固牵引装置锚固牵引力 $F_3 \approx 1\,068$ kN。

2.3 设备列车的牵引力核算

2.3.1 12°坡道爬坡安全计算

中煤平朔井工三矿巷道最大坡度±12°,设备列车与伸缩管缆装置(42台)设计的最大载重为200 t,自移式平板车与管缆车总重 80 t,需要牵引的总重量为 280 t,牵引的自移式平板车自带重型轨道、压轮以及升降系统,压轮采用自润滑滚动机构,实现列车滚动摩擦前移,验算时按滑动摩擦系数考虑,取钢对钢的滑动摩擦系数 $\mu_2 = 0.15$;在 12°坡道上设备列车需要的最大牵引力为设备列车总重下滑分力与其产生的摩擦力之和,在 12°坡道上设备列车需要的最大牵引力 F_5 如式(5)所示:

$$F_5 = G \sin 12^\circ + \mu_2 G \cos 12^\circ \quad (5)$$

将参数代入公式(5)得出:在 12°坡道上设备列车需要的最大牵引力 $F_5 \approx 993$ kN < F_3 (锚固牵引装置锚固牵引力),符合设计要求。

2.3.2 推移控制系统牵引力核算

自移设备列车推移控制系统采用 2 根规格为 $\Phi 230/\Phi 180$ mm 的推移油缸,通过远程遥控器同步控制,其设备列车牵引力 F_6 如式(6)所示:

$$F_6 = 2 \times F_7 \quad (6)$$

单根推移油缸牵引力 F_7 :

$$F_7 = p_1 (S_3 - S_4) = p_1 \frac{\pi (D_3^2 - D_4^2)}{4} \quad (7)$$

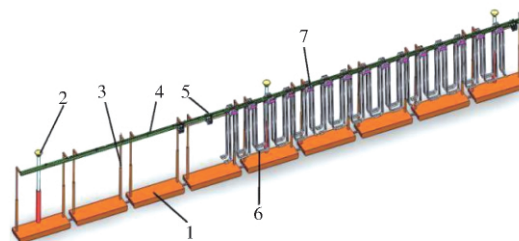
式中: p_1 为泵站供液压力,取 31.5 MPa; D_3 为外缸内径,为 230 mm; D_4 为活塞杆外径,180 mm。

将参数代入公式(6)、(7)得出:设备列车牵引力 $F_6 \approx 1\,236$ kN > F_5 (在 12°坡道上设备列车需要的最大牵引力),满足现场使用要求。

2.4 自动伸缩管缆装置适应性核算

自动伸缩管缆装置,如图 4 所示。主要由运输车、撑顶立柱、步进推移装置以及管缆托架等组成,可将设备列车的电缆、液管吊挂于管缆装置的单轨吊上,完全替代传统的单轨吊高空悬挂电缆以及液

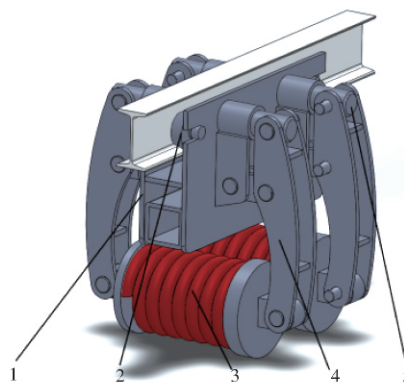
管,管缆通过电液控制系统与工作面同步自动伸缩,减少了液管与电缆的长度,最大储存电缆 36 m,避免了高空作业的安全隐患,实现了工作面的自动化。



1—运输车;2—撑顶立柱;3—悬臂梁;4—工字钢梁;
5—步进推移装置;6—管缆;7—管缆托架组成
图 4 自动伸缩管缆装置

Fig. 4 Automatic telescopic pipe and cable device

自动伸缩管缆装置中的步进推移装置是实现电缆、液管与工作面同步自动伸缩关键设备,步进推移装置主要由推移油缸与弹簧制动器组成。按照大于 2 倍工作面推移步距确定推移油缸规格为 $\Phi 160$ mm/ $\Phi 105$ mm,推移行程为 1 500 mm。弹簧制动器是步进推移装置的关键机构,弹簧制动器采用摩擦制动原理,结构主要包括机架组件、行走轮组件、摇臂组件、液缸弹簧组件和制动闸块,具体结构如图 5 所示。



1—机架组件;2—行走轮组件;3—液缸弹簧制动组件;
4—摇臂组件;5—制动闸块

图 5 弹簧制动器的结构

Fig. 5 Structure of spring brake

整体采用刹腹板式双弹簧制动,增大制动力,对导轨精度及强度要求低。双边摇臂组件采用连杆框架结构,可以沿铰接点灵活摆动。液缸弹簧制动组件的弹簧内设有液缸,有效节省空间的同时,可以防止弹簧随摇臂运动时弹力增大而崩落,极大地增加了弹簧制动器的安全可靠。

弹簧制动器利用弹簧蓄能,制动时,弹簧瞬间张开致使摩擦闸块压紧轨道腹板完成制动。因此,弹簧的选型设计尤为重要。本装置选择圆柱螺旋压缩

弹簧,闸块与轨道间的摩擦系数 μ_2 为 0.15。弹簧材料选用高强度弹簧钢 40SiZCrNiZMoV,许用切应力 τ_p 为 1 200 MPa。矿用管缆单轨吊设计工作适用巷道倾角 α 范围为 $0^\circ \sim 12^\circ$,总重量 m (包含悬挂电缆和液压胶管质量)约为 10.4 t。在计算弹簧制动力时忽略整机加速度和行走轮滚动摩擦力的影响。

管缆单轨吊整机下滑力 F_8 如式(8)所示:

$$F_8 = mg \sin \alpha \quad (8)$$

矿用管缆单轨吊实现制动 F_z 需满足以下条件:

$$F_z \geq F_{8\max} = mg \sin 18^\circ = 21.63 \text{ kN} \quad .$$

制动闸块 n 数量为 4, F_z 为弹簧制动器的制动力,来源于弹簧产生的摩擦力,单个制动闸块的制动力 F_{dz} 如式(9)所示:

$$F_{dz} = \frac{F_z}{n\mu_2} \geq \frac{21.63}{4 \times 0.15} = 36.05 \text{ kN} \quad . \quad (9)$$

弹簧制动力 $F_t = \Delta x k$, 弹簧弹性系数 k 为定值, Δx 为弹簧变形量。为增大闸块压力,同时不影响弹簧及液压缸的受力,摇臂设计为 1:2 的杠杆机构,制动器弹簧制动力 F_{t2} 如式(10)所示:

$$F_{t2} = \frac{F_{t1} \cdot \Delta x_2}{\Delta x_1} = 42.81 \text{ kN} \quad . \quad (10)$$

式中: $F_{t1} = \frac{F_{dz}}{2} = 18.025 \text{ kN}$; Δx_1 为制动时弹簧压

缩量,设计值为 40 mm; Δx_2 为解除制动时弹簧压缩量,设计值为 95 mm。

根据成大先编制的机械设计手册^[7]计算弹簧的旋绕比 $C = \frac{D_5}{d}$, 假定 $C = 6$, 弹簧曲度系数 $K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} = 1.25$, 弹簧材料直径 d 如式(11)所示:

$$d \geq 1.6 \sqrt{\frac{KCF_{t2}}{\tau_p}} = 26.17 \text{ mm} \quad . \quad (11)$$

选取弹簧直径 d 为 30 mm; 得出制动弹簧中径 $D_5 = C \cdot d = 180 \text{ mm}$ 。

3 结论

传统设备列车采用绞车牵引,人工铺设轨道,高空悬挂电缆存在诸多安全隐患,劳动强度大、工作效率低、设备稳定性极差,严重制约着矿井高产高效、自动化、智能化的发展。井下长距离自动化设备列车组给锚固牵引设备列车的安全运行、管缆拖挂和存储方式带来的革命性变化,能够适应 $\pm 12^\circ$ 巷道的工况条件,取消绞车牵引、高空悬挂单轨吊以及铺设轨道,有效保证安全高效生产。

参考文献:

- [1] 屈淑亚,陈清华,张立祥. 滑靴式设备列车平板车结构设计与分析[J]. 煤矿机械, 2013, 34(9): 14-16.
QU Shuya, CHEN Qinghua, ZHANG Lixiang. Flat Car Structure Design and Analysis on Sliding Shoe Type Apparatus for Train[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(9): 14-16.
- [2] 周建军. YQKGC-00 液压卡轨式自移装置的应用[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2015, 28(3): 59-60.
ZHOU Jianjun. Application of YQKGC-00 Hydraulic Track-clamping Self-moving Device[J]. Journal of Shanxi Coal-Mining Administrators College, 2015, 28(3): 59-60.
- [3] 孙启得. 液压自移式设备列车的研制与应用[J]. 煤矿现代化, 2017(6): 108-110.
SUN Qide. Development and Application of Hydraulic Self-moving Equipment Train [J]. Coal Mine Modernization, 2017(6): 108-110.
- [4] 李民族. 综采工作面滑移式自移列车技术应用[J]. 山西焦煤科技, 2011(9): 11-12.
LI Minzu. Application on Sliding Shoes Type Self-moving Train Technology in Fully Mechanized Working Face[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2011(9): 11-12.
- [5] 张恒. 综采工作面远程集中供液系统设计与应用[J]. 煤矿现代化, 2018, 147(6): 128-130.
ZHENG Heng. Design and Application of Remote Centralized Liquid Supply System for Fully Mechanized Mining Face[J]. Coal Mine Modernization, 2018, 147(6): 128-130.
- [6] 李刚. 大坡度顺槽迈步自移设备列车: 中国, ZL201510178701. 9[P]. 2017-02-22.
- [7] 龚青, 冯晓斌. 近水平综采工作面自移式移变列车的设计研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(S2): 116-118.
GONG Qing, FENG Xiaobin. Design and Study on Self-moving Equipment Train in Near Horizontal Fully-mechanized Coal Mining Face [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(S2): 116-118.
- [8] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

(编辑: 樊 敏)