



移动扫码阅读

史志远.全工况下无极绳连续牵引车安全载人速度试验研究[J].煤炭科学技术,2019,47(2):143-149.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.02.024
 SHI Zhiyuan.Experimental study on safe transportation speed of continuous tractor with non-polar rope under all working conditions [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47 (2): 143 - 149. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.02.024

全工况下无极绳连续牵引车安全载人速度试验研究

史志远

(安标国家矿用产品安全标志中心有限公司,北京 100013)

摘要:针对无极绳连续牵引车安全载人速度难于科学界定的问题,在1:1全工况综合模拟试验场上,开展了大量实际运人试验,探究了与人身安全密切相关的因素随运行速度的变化规律。研究结果表明:在水平直线、水平转弯($R_H=9\text{ m}$)、垂直转弯($R_V=15\text{ m}$)工况条件下,噪声、纵向振幅、横向振幅随运行速度表现出了不同的规律,且不同工况的安全速度阈值不同;在试验坡度分别为 12° 、 15° 、 25° 工况条件下,制动距离、张紧装置偏移量、紧急制动回弹距离随运行速度呈现出不同的变化规律,且不同工况的临界速度变化较大;通过试验研究与理论分析,获得了无极绳连续牵引车安全合理的载人速度及运行坡度。

关键词:无极绳连续牵引车;安全速度;载人速度;运行坡度;煤矿

中图分类号:TD64;TH52 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2019)02-0143-07

Experimental study on safe transportation speed of continuous tractor with non-polar rope under all working conditions

SHI Zhiyuan

(Mining Products Safety Approval & Certification Center Co.,Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In view of the difficulty of scientifically defining the safe transportation speed of continuous tractor with non-polar rope, the actual carrier test was carried out on the 1:1 full-scale comprehensive simulation test site, and the factors closely related to personal safety which varies with the running speed were studied. The results show that the safety speed thresholds of noise, longitudinal amplitude and transverse amplitude are different under the condition of horizontal straight line, horizontal turning ($R_H=9\text{ m}$) and vertical turning ($R_V=15\text{ m}$), and the safety speed threshold of different working conditions is different. Under the conditions of 12° , 15° and 25° test slope, braking distance, tensioning device offset and emergency braking rebound distance are different with the running speed, and the critical speed varies greatly in different working conditions. Through the combination of experimental research and theoretical analysis, a safe and reasonable transportation speed and running slope are obtained.

Key words: continuous tractor with non-polar rope; safety speed; transportation speed; running slope; coal mine

0 引言

从20世纪90年代中期开始,无极绳连续牵引车作为辅助运输设备,在我国部分矿井得到应用^[1]。近年来,随着煤矿开采规模的不断扩大,长距离、大坡度、高载重等严酷工况日益增加,为了满足严酷工况的运输需求,无极绳连续牵引车运输能力向大型化方向发展。目前最大牵引力达到160

kN,最大功率达到200 kW,最长运输距离达到3 000 m,最大使用坡度达到 18° ,最小水平曲率半径为9 m,最小垂直曲率半径为 $15\text{ m}^{[2-3]}$ 。

国内外科研人员在相关领域开展了一些研究。CHEN Wei等^[4]研究了无极绳连续牵引车数据采集与信号处理方法及保证其安全运行的技术措施;WAN等^[5]研究了无极绳连续牵引车安全监测系统的无线信号处理技术;文献[6-7]基于BioLAB方法

收稿日期:2018-09-22;责任编辑:赵瑞

基金项目:国家煤矿安全监察局资助项目(JZS-2016-17)

作者简介:史志远(1980—),男,河北承德人,高级工程师,博士。Tel:010-84264266-816,E-mail:shizhiyuancmt@126.com

对矿工不安全行为与噪声关系进行了试验研究;文献[8-10]基于路面不平整度的车辆振动响应分析方法,研究了振动对行车安全的影响;文献[11-12]开展了绞车多驱动负载对装载车辆安全性能的影响研究;文献[13-14]研究了车辆制动安全距离及分离路面上车辆紧急制动时的稳定性分析与控制;文献[15]研究了无极绳牵引车自动张紧装置的安全保障技术;文献[16-20]研究了高速列车车辆连接部位气动噪声数值模拟及降噪方法;DANIEL Ainalis等^[21]研究了道路高程谱模型与车辆振动响应相结合的车辆动态特性评价问题。通过对国内外大量文献研究发现,在无极绳连续牵引车运人安全速度方面,暂无相关理论与试验研究;最新版《煤矿安全规程》(2016),无极绳连续牵引车设计、安装、验收等相关标准(规范)均未对其运人速度进行明确规定;而且运输物料的速度不能作为运送人员的参考,否则人员的安全无法保障。综上所述,开展该研究具有重要的理论意义与现实价值,且迫在眉睫。

目前,无极绳连续牵引车正逐步成为井下运输

人员的重要系统,速度的合理界定是其安全运人的最关键因素。笔者基于无极绳连续牵引车实际运输工况,以提高其运人安全性与可靠性为目的,通过试验研究与理论分析相结合的方式,在综合模拟试验场上,开展涉及运人安全的重要影响因素随运行速度的变化规律研究,进而确定煤矿井下合理运人速度与坡度。通过研究,将为产品生产企业安全设计、煤矿用户安全使用、认证(检验)机构安全评价提供科学、准确的数据支撑。

1 无极绳连续牵引车运人试验

1.1 无极绳连续牵引车结构

无极绳连续牵引车主要由无极绳绞车、钢丝绳张紧装置、牵引梭车、承载车辆、压绳装置、尾轮、通信系统和电控系统等组成,如图1所示。承载车辆用于运输物料或人员,往复运行于固定轨道线路上,由牵引梭车导引运行。一般在坡度和转弯等局部地段增设护轨、卡轨装置以防止车辆掉道^[2-5]。

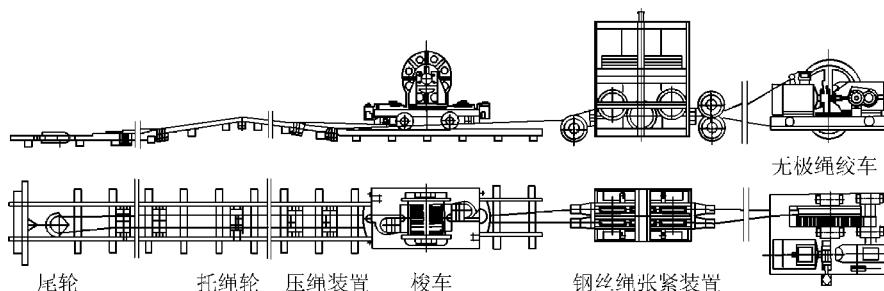


图1 无极绳连续牵引车结构组成示意

Fig.1 Structure diagram of continuous tractor with non-polar rope

1.2 试验场地

全工况综合模拟试验场地与实际工况比例为1:1,能模拟无极绳连续牵引车在煤矿井下运行过程中可能遇到的各种工况,因此,通过该场地获得的试验数据科学准确、实用性强。槽钢通过螺栓固定在混凝土基底上,轨道通过压板和螺栓固定于槽钢上,轨道下底面距离混泥土面约85 mm,铺设3根轨道,600 mm和900 mm轨距共用其中1根钢轨,另1根钢轨单独设置,轨型均为30 kg/m。该试验场地全长800 m;平道连续总长度为550 m(直线平道最长约250 m);水平弯道4处,其中45°、90°弯道各2处,水平弯道最小转弯半径9 m;坡道共3处,坡度(长度)分别为12°(40 m)、15°(45 m)和25°(13 m),垂直变坡轨道最小转弯半径15 m。

1.3 专用试验台

专用试验台主要由机械绞车(图2a)、模拟轨道

(图2b)、张紧装置(图2c)、牵引梭车(图2d)、运人车厢(图2e)、控制设备(图2f)等组成。试验台是测定和分析无极绳连续牵引车安全性能、可靠性等的试验装置集成。

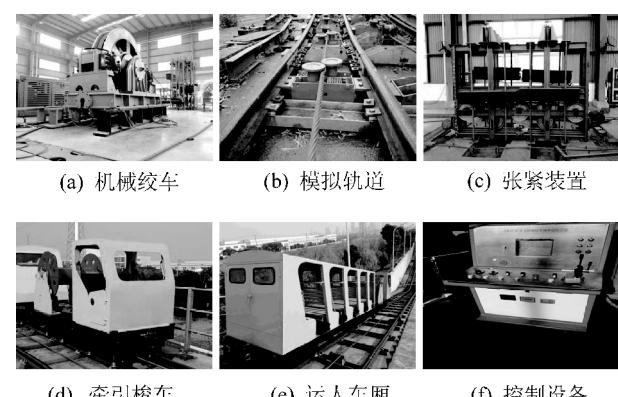


图2 无极绳连续牵引车专用试验台

Fig.2 Special test bench of continuous tractor with non-polar rope

机械绞车、张紧装置安置在试验车间内,钢丝绳从机械绞车和张紧装置引出后,通过导绳轮组导向进入各自轨道。选用可以调速的机械绞车,调速精度≤0.1 m/s,在试验车间配备绞车操作台,有打点、通话功能以及急停、超速、越位等保护。另外,为方便跟车人员与试验台操作人员通话交流,配置1~2部对讲机;为保证重载掉道、脱轨等情况发生后,能及时恢复,配置1台可移动、起吊质量为50 t的吊车。

综合考虑目前无极绳连续牵引车的生产技术现状、煤矿使用情况及现场试验准确性等,选取SQ-120/160P无极绳连续牵引车作为试验样机,其主要技术参数如下:

牵引力/kN	≤120
爬坡角度/(°)	≤25
电动机功率/kW	160
运行速度/(m·s⁻¹)	0~3.0
钢丝绳直径/mm	28(6×19S+FC1670)
轨距/mm	600,900

在试验过程中,还需要拉压力传感器、位移传感器、噪声测试仪、电子秒表、压力表、数字式测距仪、数字式角度仪、测震表等测试仪器。

1.4 试验条件

通过分析可知影响运人安全因素很多,各因素影响规律及作用机理不同。在正常运输条件下,噪声、纵向振幅、横向振幅、制动距离、张紧装置偏移量、紧急制动回弹距离是决定运人安全的关键因素,因此在试验过程中把以上6个因素作为影响因素进行试验研究。每人质量按95 kg、携带负荷按15 kg,总质量按110 kg计算,正、反2个运行方向进行试验。综上,基于无极绳连续牵引车运输人员的实际工况,结合模拟试验场地的特点,设计试验条件,见表1。

表1 试验条件

Table 1 Test conditions

参量	对应取值					
运行速度/(m·s⁻¹)	0.5	1.0	1.5	1.8	2.0	2.5
试验坡度/(°)	12		15		25	
试验轨道工况	水平运行(普通轨道装置)		转弯运行($R_H = 9\text{ m}$,护轨装置)		转弯运行($R_V = 15\text{ m}$,卡轨装置)	

2 试验结果分析

2.1 最大噪声随运行速度的变化规律

从图3可以看出,在运行速度为0.5~1.8 m/s

范围内,水平直线运行时车厢内最大噪声最小、而水平转弯($R_H = 9\text{ m}$)时噪声较大、垂直转弯($R_V = 15\text{ m}$)时噪声最大。可见,不同工况下,车厢内产生的噪声不同,在垂直转弯工况下,更应注意噪声对人员的影响。

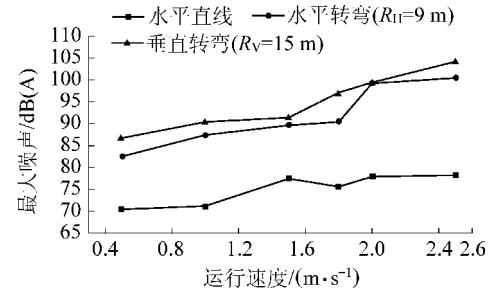


图3 运人车厢内最大噪声随速度的变化规律
Fig.3 Variation law of the maximum noise with velocity in passenger car

无论水平直线、水平转弯还是垂直转弯工况下,车内最大噪声均随着运行速度的增加而增加。在水平直线工况下,最大噪声变化比较平稳,当运行速度为2.5 m/s时,水平直线工况下最大噪声为77.5 dB(A)。在水平转弯($R_H = 9\text{ m}$)工况下,运行速度在1.8 m/s条件下,最大噪声发生了突变,迅速增加,在2.0 m/s时,最大噪声达到了99.2 dB(A),在2.5 m/s时,最大噪声达到了100.4 dB(A)。垂直转弯($R_V = 15\text{ m}$)工况下,在运行速度为2.5 m/s时,最大噪声达到了考察范围内的最大值104.2 dB(A)。

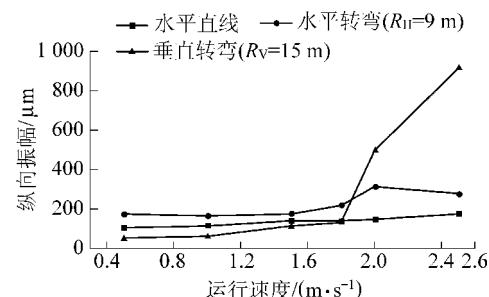


图4 运人车厢内纵向振幅随运行速度的变化规律
Fig.4 Variation law of longitudinal amplitude with running velocity in passenger car

噪声是影响煤矿井下矿工职业健康的关键因素,噪声的大小直接关系到人的心理健康。在实际运行过程中,尤其在近巷道口、硐室口、弯道、岔道地段,噪声尤其大。《煤矿安全规程》(2016版)第六百五十七条规定:“作业人员每天连续接触噪声时间达到或者超过8 h的,噪声声级限值为85 dB(A)。每天接触噪声时间不足8 h的,可以根据实际接触噪声的时间,按照接触噪声时间减半、噪声声级限值增加3 dB(A)的原则确定其声级限值。”因

此,根据试验结果,在水平直线工况下,乘车人员在各种运行速度下,均可不用佩戴防护用品;在水平转弯工况下,当速度达到1.8 m/s时,乘车人员须佩戴个人防护用品;在垂直转弯工况下,当速度达到1.5 m/s时,须佩戴个人防护用品。通过合理佩戴个人防护用品,可有效防止噪声引起的人身伤害。

2.2 纵向振幅随运行速度的变化规律

无论水平直线、水平转弯还是垂直转弯工况下,纵向振幅均随着运行速度的增加而增加。在水平直线工况下,纵向振幅变化比较平稳;在所测试范围内,最大纵向振幅为177.00 μm,在水平转弯($R_H=9$ m)工况下和垂直转弯($R_V=15$ m)工况下,分别为310 μm和910 μm。

在运行速度小于1.8 m/s的范围内,当运行速度一定时,纵向振幅随不同的工况发生了不同的变化,垂直转弯工况($R_V=15$ m)时最小、水平直线时较大、水平转弯($R_H=9$ m)最大。当运行速为1.8 m/s时,垂直转弯工况($R_V=15$ m)发生了突变,纵向振幅急剧增加,当运行速度为2.0 m/s时,纵向振幅为496 μm。这是因为垂直转弯的惯性作用,使车身纵向振幅出现非线性增长,从而出现了急速变大的情况。因为轨道、底板、接触面等的复杂工况以及无极牵引车系统的复杂构成,系统会出现无规则振动,从而引起振幅增加。

2.3 横向振幅随运行速度的变化规律

从图5可以看出,在水平转弯($R_H=9$ m)工况下,随着运行速度的增加,开始阶段运人车厢内横向振幅变化不大,当运行速度为1.5 m/s时,运人车厢内横向振幅急剧上升,在所考察范围内,最大横向振幅达到了1410 μm,超过该速度运行,容易出现掉道危险,建议在此处增设护轨装置,或者减速运行,慢速通过;而在水平直线和垂直转弯($R_V=15$ m)工况下,横向振幅的变化趋势基本相同,这说明在运行速度一定的情况下,横向振幅受水平直线和垂直转弯($R_V=15$ m)工况影响较小;在速度一定的情况下,水平转弯($R_H=9$ m)工况下的横向振幅明显高于其他两种工况条件,这是因为在水平转弯时,横向振幅出现了叠加状况,车厢的左右摆动幅度相对来说比较大。

2.4 制动距离随运行速度的变化规律

从图6可以看出,随着运行速度的增加,制动距离随之增加。在相同的运行速度条件下,试验坡度为25°时制动距离最大,试验坡度为15°时制动距离较小,试验坡度为12°时制动距离最小。在试验坡度为25°条件下,当运行速度为1.5 m/s时,制动距

离达到了8600 mm,当运行速度超过1.5 m/s时,制动距离变化比较剧烈,增加的制动距离超过了标准范围,有引发危险的可能,所以为了保证人员安全,当运行速度超过1.5 m/s时,未继续进行相关试验。而在试验坡度为12°、15°条件下,当运行速度达到1.8 m/s后,制动距离的变化逐渐变得平缓。可见,运行速度为1.8 m/s为临界点,运行速度超过1.8 m/s后,坡度对制动距离影响相对较小,不会有太大的变化。

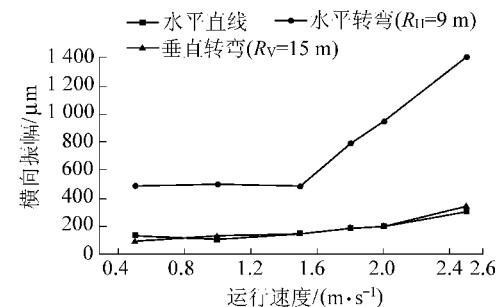


图5 运人车厢内横向振幅随运行速度的变化

Fig.5 Variation of transverse amplitude with velocity in passenger car

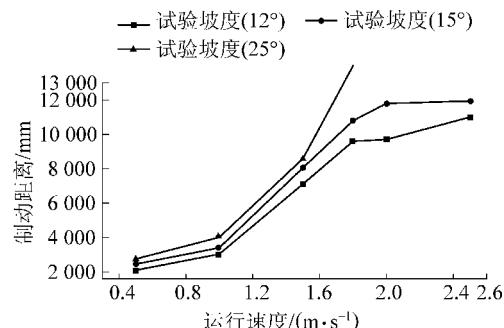


图6 运人车厢制动距离随运行速度的变化

Fig.6 Variation of braking distance of passenger car with velocity

2.5 张紧装置偏移量随运行速度的变化规律

从图7可以看出,随着运行速度的增加,张紧装置偏移量增加的趋势并不相同。当运行速度为0.5~1.0 m/s时,试验坡度为12°时,偏移量随运行速度呈线性增加,而试验坡度为15°和25°时,偏移量分别保持为200 mm和300 mm不变。当运行速度继续增加,试验坡度为15°和12°工况下,偏移量均为200 mm,而试验坡度为25°工况下,偏移量随运行速度线性上升。当运行速度大于1.5 m/s,在试验坡度为12°工况下,制动距离保持200 mm不变,而试验坡度为15°和25°条件下,偏移量明显增加。因此,在试验坡度超过15°条件下,运行速度超过1.5 m/s时应引起注意;在试验坡度超过25°条件下,应尽量

避免运行速度超过 1.5 m/s。

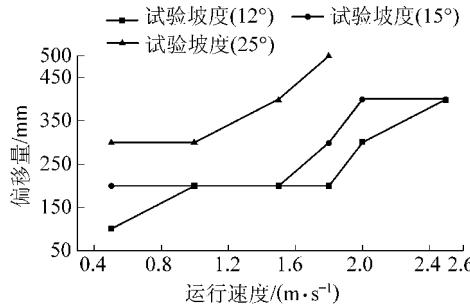


图 7 张紧装置偏移量随运行速度的变化

Fig.7 Variation of tensioning device offset with velocity

2.6 紧急制动回弹距离随运行速度的变化规律

从图 8 可以看出, 在不同的坡度条件下, 随着运行速度的增加, 紧急制动回弹距离随之增加, 但增加的趋势不同, 试验坡度为 12° 工况下, 制动回弹距离变化比较均匀, 运行速度为 2.5 m/s 时, 其最大值也仅为 850 mm。在运行速度为在 1.5 m/s 范围内时, 3 种坡度条件下, 制动回弹距离基本随运行速度线性增加。在试验坡度为 15° 工况下, 当运行速度超过为 1.5 m/s, 制动回弹距离随运行速度增加的趋势变大; 在试验坡度为 25° 工况下, 最大回弹距离变化较为剧烈, 在运行速度为 2.0 m/s 时, 其达到了 2 500 mm, 可见惯性比较大, 存在一定的安全隐患, 紧急制动对钢丝绳或者电动机的冲击比较大, 应考虑低速运行。

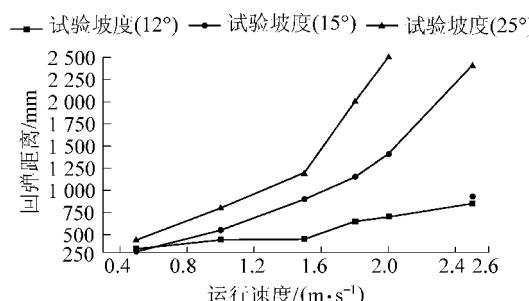


图 8 紧急制动回弹距离随运行速度的变化关系

Fig.8 Variation of emergency brake rebound distance with velocity

3 实践应用及结果分析

我国煤矿赋存条件复杂, 井型及开拓方式差异性较大, 煤矿生产规模、机械化程度、管理水平、人员技术素质、传统习惯等不尽相同, 轨道系统复杂。另外, 无极绳连续牵引车实际运输载荷变化较大, 工况较为复杂。许多煤矿地压较大, 轨道系统受底鼓影响大, 高质量铺设的轨道难于长时间保持, 乘人车厢相对地面缆车简陋, 减震结构简单。

无极绳连续牵引车在井下运行时, 实际工况较试验工况复杂、恶劣, 为了防止梭车在上坡、下坡、岔

道、弯道等关键路段运行时发生掉道和翻车等事故, 根据无极绳连续牵引车的载荷大小、运行工况及运行方向, 确定实际运行速度。当重载车辆运行在平缓地段时, 行驶速度不大于 1.30 m/s; 当重载车辆运行在爬坡地段时, 行驶速度不大于 0.90 m/s; 当轻载车辆运行在平缓地段时, 行驶速度不大于 2.00 m/s; 当轻载车辆运行在爬坡地段时, 行驶速度不大于 1.60 m/s; 重载车辆水平转弯时, 行驶速度不大于 1.0 m/s, 垂直转弯时, 行驶速度不大于 0.90 m/s; 轻载车辆垂直转弯时, 行驶速度不大于 1.5 m/s, 垂直转弯时, 行驶速度不大于 1.40 m/s; 空车运行速度不大于 2.50 m/s。汇总实际运行速度相关数据见表 2, 通过选择性速度调节, 可以加快空车回车, 提高设备整体运输效率。

表 2 建议运行速度范围

Table 2 Recommended velocity range

不同载重	不同运行工况	最大速度/(m·s⁻¹)
重载	平缓地段	1.30
重载	爬坡地段	0.90
轻载	平缓地段	2.00
轻载	爬坡地段	1.60
重载	水平转弯	1.00
重载	垂直转弯	0.90
轻载	水平转弯	1.50
轻载	垂直转弯	1.40
空车	全地段	2.50

4 结 论

1) 无极绳连续牵引车在水平直线、水平转弯、垂直转弯以及 12°、15°、25° 不同坡度等工况下, 车厢内最大噪声、纵向振幅、横向振幅、制动距离、张紧装置偏移量、紧急制动回弹距离等关键参量随运行速度变化表现出一定的规律, 通过分析, 获得了不同工况条件下车辆的安全运行速度。

2) 考虑煤矿井下的实际轨道情况、人员乘坐的舒适性和安全性, 建议最大运人速度不宜超过 2.0 m/s, 工况条件特别好的煤矿, 最大运人速度不超过 2.5 m/s, 运行坡度均以不大于 18° 为宜; 在实际运人过程中, 若存在噪声大、振幅大、制动距离大、回弹距离大等情况, 乘车人员须佩戴个人防护用品及安全带。

3) 在转弯、变坡、下坡、通过压绳轮时, 无论何种工况型式, 运行速度均应降低, 尤其在梭车或者制动车通过压绳轮的时候, 更应注意减速, 因为导

绳器通过冲撞力撞开压绳轮,若速度过快,压绳轮反应滞后,容易出现压绳轮损坏或者卡住钢丝绳情况;为提高整体运输效率,在无转弯、较小坡度及空载时,无极绳连续牵引车以 2.5 m/s 的速度运行,当存在转弯和较大坡度时,应根据具体工况分档降速运行。

参考文献(References):

- [1] 王金华,汪有刚,傅俊皓.数字矿山关键技术研究与示范[J].煤炭学报,2016,41(6):1323-1331.
WANG Jinhua, WANG Yougang, FU Junhao. Research and demonstration of key technology in digital mine [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(6): 1323-1331.
- [2] 王安中,魏京胜.起伏大拐弯多巷道无极绳绞车选型计算探讨[J].煤炭工程,2013,45(6):12-14.
WANG Anzhong, WEI Jingsheng. Discussion on selection and calculation of multi lane endless rope winch with large turning and winding [J]. Coal Engineering, 2013, 45(6): 12-14.
- [3] 孔峰,宋照岭,王波,等.矿用无极绳连续牵引车脱轨监控系统设计[J].煤炭科学技术,2016,44(S1):106-108.
KONG Feng, SONG Zhaoling, WANG Bo, et al. Design of derailment monitoring system for mine endless rope continuous tractor [J]. Coal science and technology, 2016, 44(S1): 106-108.
- [4] CHEN Wei, DENG Haishun. Data acquisition and signal processing for endless rope continuous tractor monitoring [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [5] WAN Lirong, LIU Yi, WANG Liang, et al. Application of the Zig-Bee wireless communication technology on the endless rope continuous tractor derailment monitoring system [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [6] 李敏,贾惠侨,李开伟,等.噪声水平对人不安全行为的影响研究[J].中国安全科学学报,2017,27(3):19-24.
LI Min, JIA Huiqiao, LI Kaiwei, et al. Influence of noise level on unsafe behaviors of human beings [J]. Chinese Journal of Safety Science, 2017, 27(3): 19-24.
- [7] 田水承,李磊,邓军,等.基于 BioLAB 的矿工不安全行为与噪声关系试验研究[J].中国安全科学学报,2013,23(3):10-15.
TIAN Shuicheng, LI Lei, DENG Jun, et al. Experimental study on relationship between unsafe behavior and noise of miners based on BioLAB [J]. Chinese Journal of Safety Science, 2013, 23(3): 10-15.
- [8] 宋一凡,陈榕峰.基于路面不平整度的车辆振动响应分析方法[J].交通运输工程学报,2007(4):39-43.
SONG Yifan, CHEN Rongfeng. Vehicle vibration response analysis method based on road roughness [J]. Journal of Transportation and Transportation Engineering, 2007(4): 39-43.
- [9] 褚端峰,李浩然,张存保,等.振动减速带对行车安全的影响及控速效果分析[J].中国安全科学学报,2014,24(6):86-91.
CHU Duanfeng, LI Haoran, ZHANG Cunbao, et al. Influence of vibration deceleration belt on traffic safety and speed control effect analysis [J]. Chinese Journal of Safety Science, 2014, 24(6): 86-91.
- (6):86-91.
- [10] 徐安,乔向明.公路客运安全分析与车辆制动性能建模[J].交通运输工程学报,2009,9(6):87-91.
XU An, QIAO Xiangming. Highway passenger safety analysis and vehicle braking performance modeling [J]. Journal of Transportation and Transportation Engineering, 2009, 9(6): 87-91.
- [11] KOZUKI Toshiaki. Helicopter/ship operation procedure of transfer patient by helicopter winch operation [J]. Navigation, 2015, 192: 69-74.
- [12] DAMIAN Bocheński. Investigations of operational driving loads of bucket chains and manoeuvre hoisting winches on multi-bucket dredgers [J]. Polish Maritime Research, 2008, 15(3): 42-48.
- [13] 王春迎.基于驾驶员特性的车辆制动安全距离的研究[D].淄博:山东理工大学,2015.
- [14] 张思奇,张天侠,周淑文.分离路面上车辆紧急制动时稳定性分析与控制[J].东北大学学报:自然科学版,2011,32(5):728-731.
ZHANG Siqi, ZHANG Tianxia, ZHOU Shuwen. Stability analysis and control of vehicle emergency braking on separated road surface [J]. Journal of Northeastern University: Natural Science Edition, 2011, 32(5): 728-731.
- [15] 顾久林,杜长龙,宋静.无极绳牵引车自动张紧装置的设计与研究[J].煤矿机械,2009,30(2):129-130.
GU Jiulin, DU Changlong, SONG Jing. Design and research of automatic tensioning device for endless rope towing vehicle [J]. Coal Mine Machinery, 2009, 30(2): 129-130.
- [16] 张宝成.空气弹簧悬架在井下运人车上的应用[J].北京矿冶研究总院学报,1994(1):19-24.
ZHANG Baocheng. Application of air spring suspension in downhole transportation vehicle [J]. Journal of Beijing Mining and Metallurgy Research Institute, 1994(1): 19-24.
- [17] 黄莎,梁习锋,杨明智.高速列车车辆连接部位气动噪声数值模拟及降噪研究[J].空气动力学学报,2012,30(2):254-259.
HUANG Sha, LIANG Xifeng, YANG Mingzhi. Numerical simulation and noise reduction research on aerodynamic noise of high speed train connections [J]. Journal of Aerodynamics, 2012, 30(2): 254-259.
- [18] 陈迅,张月军.钢轨波磨对地铁车辆振动噪声的影响[J].铁道车辆,2017,55(11):5-9,50.
CHEN Xun, ZHANG Yuejun. Influence of rail corrugation on vibration and noise of metro vehicles [J]. Railway vehicle, 2017, 55(11): 5-9, 50.
- [19] XAVIER Valero, FRANCESC Alfàs. Hierarchical classification of environmental noise sources considering the acoustic signature of vehicle pass-bys [J]. Archives of Acoustics, 2012, 37(4): 423-434.
- [20] JAMES Tatlow, MARCO Ballatore. Road noise input identification for vehicle interior noise by multi-reference Transfer Path Analysis [J]. Procedia Engineering, 2017, 199: 3296-3301.
- [21] DANIEL Ainalis, VINCENT Rouillard, MICHAEL Sek. Issues with combining road elevation spectral models and vehicle vibration response to estimate vehicle dynamic characteristics [J]. Packaging

- Technology and Science, 2015, 28(3).
- [22] 孙付伟,涂兴子,康全玉.复杂巷道条件下无极绳连续牵引车系统的设计及应用[J].煤矿开采,2017,22(3):37-40.
SUN Fuwei, TU Xingzi, KANG Quanyu. Design and application of endless rope continuous tractor system under complex roadway conditions [J]. Coal Mining Technology, 2017, 22(3): 37-40.
- [23] 李永强.无极绳连续牵引车压绳装置和转弯装置研究[J].煤矿机械,2017,38(4):35-36.
LI Yongqiang. Research on rope pressing device and turning device of endless rope continuous traction vehicle [J]. Coal Mine Machinery, 2017, 38(4): 35-36.
- [24] 翟新献,康全玉,王福忠,等.无极绳连续牵引车转弯期间安全运行技术研究[J].河南理工大学学报:自然科学版,2016,35(5):606-611.
ZHAI Xinxiang, KANG Quanyu, WANG Fuzhong, et al. Research on safe operation of endless rope continuous tractor during turning [J]. Journal of Henan Science and technology University: Natural Science Edition, 2016, 35(5): 606-611.
- [25] 冯宪琴,黄燕梅,苑卫东.井下无极绳连续牵引车转弯机械装置的研究[J].煤矿机械,2013,34(9):201-203.
FENG Xianqin, HUANG Yanmei, YUAN Weidong. Research on turning mechanism of underground endless rope continuous tractor [J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(9): 201-203.