

露天矿山无人驾驶矿车控制系统探究

王兰娜

包钢(集团)公司白云鄂博铁矿 内蒙古 包头 014080

摘要: 探究露天矿山无人驾驶矿车控制系统,对车辆行驶安全性管控具有重要现实意义。本文简要分析了露天矿山无人驾驶矿车控制系统研究现状,重点针对系统设计及其测试展开讨论。其中,设计内容包括线控制动系统设计、持续制动系统设计,结合某露天矿山矿区无人驾驶矿车,在现场进行各类系统装置的性能测试,根据测试明确各类装置设置参数数据,保证露天矿山无人驾驶矿车控制系统的可应用性。

关键词: 露天矿山;无人驾驶矿车控制系统;设计;测试

前言:露天矿山生产过程中,对于车辆运行的安全性相对较高,基于数据化时代下,无人作业模式成为新主流趋势。该种作业模式既可提升生产效率,也可降低人力资源成本支出。无人驾驶矿车在矿区生产中占据重要地位,实际应用期间需要配合可靠的控制系统以明确车辆行驶安全性。为了解决外界因素产生的探测影响,必须针对生产需求科学设计无人驾驶矿车控制系统,结合系统功能加快生产进度。完成系统设计后,相关人员应在后期持续改良与优化系统装置,确保无人驾驶矿车基于安全控制下运行,减少物料运输安全事故,提升矿区生产效益。

1 露天矿山无人驾驶矿车控制系统研究现状

1.1 安全距离模型

基于常规信号条件,根据信号灯显示情况完成现场物料运输。如露天矿区无讯号、交叉路口无信号时,则应按照相关行驶规范制定与矿区生产运营相符的交通规则,以确保无人驾驶矿车运输的安全性。结合模糊逻辑的优化算法,严格控制煤矿作业全过程,并充分勘察现场道路路径可能存在的交通事故,针对事故发生最大限速因子建立科学的安全距离模型。采取必要行车间距形式,减少机动车路口交通事故数量。降低最高车速时,应用模型设置与车速相等的安全距离。分析可能发生的车流碰撞概率,利用行车安全间距计算方法留出充足的行车间隔。将煤矿道路行驶的环境变化情况作为主要切入点,引入最大停车限速因子后,构建完善的安全距离模型,以增强道路行驶安全性。

1.2 辅助决策算法

无人驾驶矿车行驶过程中,针对周边环境进行检测大多依赖于传感器。不同区域的露天煤矿环境差异大,因其天气、温度等原因,矿区所形成的粉尘量也均有不同。无人煤矿中的煤矿作业线路相对较为复杂,其测

量精度具有一定局限性,容易出现测量误差。因此需要借助辅助决策算法,进一步提升安全距离模型的应用价值,实现无人煤矿状态分级目的。基于无人车辆下的煤矿活动,制约车辆运行行为,保证矿区生产安全稳定^[1]。经训练获取的模式收敛,可作为训练行动准则。在某种行路条件下,矿车运行中的最优加速与周边交通工具关联。利用网络信息自适应方法,通过训练建立智能交通系统模型,确保无人驾驶矿车在矿区中的安全运行。针对道路安全情况下的行车距离,结合行车距离预测方法合理规划行车路线,限制各个车辆间距。

1.3 协同式无人作业平台

通过安装无人驾驶机械装置,构建遥控无人驾驶系统,利用协同式无人作业平台,对野外采矿作业进行实时监测。该平台可实现远程交互作业,在无人驾驶交通控制下结合无人驾驶仪、智慧控制网络、调度平台,设置矿车定位与行驶路径。采用自动道路通信与外置传感方法,集成管理车辆与道路,完成各类规划:a.煤矿;b.设备;c.矿车运行。

2 露天矿山无人驾驶矿车控制系统设计

2.1 线控制动系统设计

2.1.1 气压制动系统

将系统安装在无人驾驶矿车车轮,促使车辆在实际行驶中实现制动器摩擦。摩擦后将动能转化为热能,有效降低矿车行驶速度。系统组件如下:a.制动轮缸;b.单通道;c.制动轮缸;d.制动信号;e.整车控制器;f.整车控制器;g.制动信号;h.EBS控制器;i.比例继动阀;j.双向单向阀;k.应急制动继动阀。

2.1.2 EBS气压制动装置

装置主要系统包括控制系统和气路系统,无人驾驶矿车需要减速时,控制器会直接接收制动信号,或者踏板传递制动信号,将信号发送至控制器。接收信号后,

将原有信号转化为PWM信号,严格控制继动阀开度情况,促使制动控制气路完成通路。基于气压作用下,压力越小控制力越高^[2]。气压输出情况:从比例继动阀出气口输出后,再从双通单向阀进气口进入,接着该阀门输出气压至前桥单通道阀控制气口。通过对单通道阀开度进行有效控制,联通制动主缸与各个车轮制动气室,实现前桥制动气路通路设计。设计EBS气压制动装置气压数值:最大为0.6MPa;最小为0.15MPa;目标减速度为0.5-5m/s²。

2.1.3 应急制动装置

应急制动装置包括控制系统与气路系统,控制器检测到EBS气压制动装置时,且采集到多个周期未响应制动信号时,可持续向应急制动比例阀发送信号,该信号为PWM。之后针对应急制动继动阀开度进行控制,实现气路通路,与制动控制气压产生。应急装置工作时,无人驾驶矿车上层下发指令目标,对整车控制器进行控制后,转换目标减速度信号为PWM信号,应急制动控制继动阀。

2.2 持续制动系统设计

通过减轻车辆在下坡行驶时的气压制动系统制动压力缓速装置,借助排气制动装置持续转换矿车动力,同时选用液力缓速器转换为热能,降低无人驾驶矿车车速。

2.2.1 排气制动

在无人驾驶矿车发动机排气歧管处安装蝶形阀,装置运行工作期间,阀门可将排气歧管关闭,并密闭发动机气缸,促使设备内部压力持续升高。基于高压状态的曲轴运动阻力随之提升,发动机动力明显降低,减缓车辆行驶车速实现安全运行。装置组件:a.电源;b.排气制动开关;c.排气制动工作指示灯;d.离合器联动开关;e.加速踏板联动开关;f.排气制动蝶形阀;g.排气制动气缸;h.电磁阀;i.储气装置^[3]。装置制动动作时,加速踏板行程基本为零。喷油泵停止发动泵油后,打开控制电磁阀实现排气制动气缸充气,促使推动蝶形阀(如推杆、摇臂等)关闭排气歧管,进一步增强发动机能量内耗,减缓车辆运行速度。装置制动减速公式如下:

$$a_{cb} = \frac{9550P_p i_g i_0 \eta}{mnr}$$

式中, a_{cb} 代表装置理论减速度数值; P_p 代表排气制动功率数值; i_g 代表变速器速比数值; i_0 代表后桥速比数值; η 代表传动总效率数值; n 代表发动机转速数值; r 代表轮胎滚动半径数值。

2.2.2 液力缓速器制动装置

该装置主要用来转换无人驾驶矿车的动能,将其转换为热能后通过散热装置将液体冷却,持续产生车辆制动

作用。装置工作期间,控制器下发不同档位的控制信号至缓速器控制阀,在不同阀芯处设计合适的充液量以控制阀体开度。使用润滑油在圆腔室内循环,流入定子后产生冲击反应,促使物质温度明显升高。温度升高后的润滑油流入无人驾驶矿车发动机冷却系统中,随后逐渐降低温度。转子、润滑油、定子三者互相作用下,润滑油针对转子构件实现负功,减缓其动能后产生制动力矩。液力缓速器不参与车辆制动工作时,液力缓速器循环圆腔室转子呈现自由旋转状态,且无润滑油、无缓速效果。结合液力缓速器设备自身的构造计算车辆减速度,公式如下:

$$a_{lr} = \frac{\lambda \rho g D^5 n^2 i_g i_0 \eta}{mr}$$

式中, a_{lr} 代表液力缓速器设备理论减速度数值; η 代表设备制动力矩系数数值; D 代表转子有效循环直径数值; ρ 代表润滑油密度数值。

3 露天矿山无人驾驶矿车控制系统测试

3.1 某矿区路况

3.1.1 矿区路况

矿区属于露天煤矿,运营车辆运营道路组成情况:1km坡道;数公里平路。根据矿区矿车运营情况,将矿车在坡道行驶分为2类:一类为满载上坡;另外一类为空载下坡^[4]。在前一种坡道上,控制无人驾驶矿车车速为5-10km/h;后一种坡道上,则控制车辆速度为30km/h。

3.1.2 无人驾驶矿车规格

本次测试在某矿区进行,选用无人驾驶矿车规格如下:

- (1) 整车外形为8730mm×3170mm×3745mm;
- (2) 驱动型式:6×4;
- (3) 整备质量:23000kg;
- (4) 满载质量:63000kg;
- (5) 前桥允许负载质量:13000kg;
- (6) 中/后桥允许负载质量:25000kg;
- (7) 轴距:3600mm+1500mm;
- (8) 前悬:1953mm;后悬:1676mm;
- (9) 前轮距:2533mm;后轮距:2251mm;
- (10) 最高车速:40km/h;
- (11) 最大爬坡度:35%。

3.2 测试步骤

本次测试步骤如下:

- (1) 设计2种试验,一种为脱挡滑行试验;另一种为制动装置制动减速度测试试验;
- (2) 使用科学的测试工具记录数据信息,如坡度、时间、车速以及减速度。工具包括报发收发工具、惯性

导航模块、线控底盘QT测试系统；

(3) 同一测试多次重复测试，经过最终的数据处理，将突变数据剔除后，采用正常数据的平均值作为测试结果；

(4) 测试无人驾驶矿车制动装置性能测试时，结合不同的制动装置，设定相应的起始车速。

3.3 测试结果分析

3.3.1 道路滚动阻力

脱挡滑行试验中，设定4个矿车起始车速：a.15km/h；b.20km/h；c.30km/h；d.40km/h。测试目的：明确车辆从松开加速踏板至停止滑行时间以及各个时间点的矿车车速。利用滚动阻力系数计算公式，确定最终数值。公式如下：

$$f = \frac{v_a}{gt}$$

式中，t代表无人驾驶矿车起始车速至矿车的停止行驶时间。

不同组别的道路滚动阻力测试数据如下：

- (1) 15km/h: 0.038; 0.036; 0.04;
- (2) 20km/h: 0.037; 0.04; 0.039;
- (3) 30km/h: 0.036; 0.037;
- (4) 40km/h: 0.038; 0.037。

本次测试取值为0.038。

3.3.2 EBS气压制动装置

测试中的矿车EBS气压制动装置目标减速设置为0.5-5m/s²；间隔时间为0.5m/s²。目标速度较大时，车辆低速测试效果不明显，最终测试误差相对较大。因此设定车辆目标减速为4.5m/s²，车辆实际减速幅度随之降低，代表装置提供的减速速度达到最大值^[5]。

3.3.3 应急制动装置

测试期间，由于占空比数值较大时，低车速制动时间相对较短，整体测试误差大。因此在测试期间，当占空比达到2100和2300时，测试人员取消了10km/h组别的测试；占空比达到2600时，则取消10km/h和20km/h两个组别的测试。

目标占空比大于2100时，矿车车速变化率一致，代表装置所提供的制动减速相同，此时表示装置提供的实际减速速度达到最大值。为了保证测试控制合理，本次测试将其占空比控制量设定在1000-2100之间，占空比低

于1000时代表无信号，车辆减速度为0m/s²；占空比大于2100时，车辆减速度为4.0m/s²。

3.3.4 排气制动装置

测试发现，车速大于10km/h时，发动机转动速度明显下降，装置制动力处于稳定状态；车速在5-10km/h时，变化相对较为缓慢，因发动机转速低，造成装置制动力不参与工作。结合测试结果，可知车辆行驶速度在10km/h左右即可保证车辆运行安全性。

3.3.5 夜里缓速器制动装置

车速小于10km/h时，其发动机转速相对较小，装置提供的制动减速度偏小，相对误差更大，无法达到无人驾驶矿车系统应用需求，因此设定装置制动减速度为0m/s²。性能测试期间，配合坡道制动测试对装置制动响应时间进行识别，在坡道硬实路面完成测试，确定无人驾驶矿车开启速度为20km/h，结束速度为30km/h。

3.4 测试结论

通过测试明确无人驾驶矿车控制系统各类装置的设置参数，提升系统应用质量。该系统应用效果良好，可有效降低车辆速度，避免事故发生。

结语：露天矿山中无人驾驶矿车控制系统应用有利于提升生产安全性，实现车辆正常运输的生产目的。相关单位需要结合矿区生产需求、道路路径情况等内容，科学设计无人驾驶矿车控制系统内容，并结合现场测试对各类系统装置性能进行参数确定，保证装置设计的可靠性与可行性。完成系统设计后，应在后期持续改良与优化系统装置，确保无人驾驶矿车基于安全控制下运行，减少物料运输安全事故。

参考文献

- [1]白洪亮,张伟,帅根来,等.露天煤矿中无人驾驶矿车控制系统的研究[J].内蒙古煤炭经济,2024,(04):31-33.
- [2]杨小江,刘文胜,江登学.和尚桥露天采场矿用汽车无人驾驶技术的设计与应用[J].现代矿业,2023,39(06):52-55.
- [3]宋占成,王治国,王鑫,等.我国露天矿山无人驾驶现状及关键技术分析研究[J].采矿技术,2022,22(06):14-17+25.
- [4]武讲,蔡杨.无人机技术在露天矿无人驾驶中的应用研究[J].智能矿山,2022,3(01):70-75.
- [5]毕善春.宝武马钢南山矿和尚桥露天采场5G+MEC无人驾驶矿车项目[J].自动化博览,2021,38(02):80-82.