

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.02.016

散货码头智能牵引系统关键技术与开发

牟茂源, 云善起

(青岛杰瑞工控技术有限公司, 山东 青岛 266520)

摘 要: 目前港口散货码头铁牛牵引装车作业存在故障率高、安全性不强、运输效率低等问题, 设计一种集成式无人智能牵引装车系统。该系统采用高性能自动化牵引车结构, 结合滑触供电、车号识别、解挂钩控制、连续精准装车控制与跨接控制等关键技术开发, 搭建高质量通信网络体系架构, 解决传统装车工艺缺陷。此研究可有效提升港区散货发运能力, 降低装车区域安全隐患, 从而达到实现整体作业过程节能降耗、降本增效的预期效果。

关键词: 散货码头; 牵引系统; 连续装车; 无人化

中图分类号: TP27 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2026)02-0081-05

Key Technology Design and Development of Intelligent Traction System for Port Bulk Cargo Terminal

MOU Maoyuan, YUN Shanqi

(Qingdao JARI Industrial Control Technology Co., Ltd., Qingdao 266520, China)

Abstract: To address the problems of high failure rate, low safety and poor transportation efficiency in the iron cattle traction loading operation of port bulk cargo terminal, this paper designs an integrated unmanned intelligent traction loading system. The system, by adopting high-performance automatic tractor structure design and combining with sliding contact power supply, vehicle number identification, decoupling control, continuous and accurate loading control, bridging control and other key technology development, builds a high-quality communication network architecture, and solves the defects of traditional loading process. This study can effectively improve the bulk cargo shipping capacity of the port, reduce the potential safety hazards in the loading area, and achieve energy saving, cost reduction and efficiency in the overall operation process as expected.

Keywords: bulk terminal; traction system; continuous loading; unmanned

0 引言

近年来越来越多的老港区通过升级改造的手段来提升铁路运输能力。目前国内港口散货装车牵引方式主要有两种^[1-6]: 内燃机车牵引装车和牵引绞车牵引装车。采用内燃机牵引装车方法需要铁路内燃机车, 但内燃机动力潜能得不到充分发挥, 工作粗暴, 噪音大, 可靠性差, 造成燃油浪费。牵引绞车(俗称“铁牛”)是目前比较普遍的一种牵引方法^[7-8]。由于铁牛牵引系统采用钢丝绳导向挂钩牵引车辆装车, 末端重锤张紧, 使得钢丝绳在牵引过程中磨损严重且容易从导向滑轮脱扣, 其维修成本高, 这严重损坏了车辆的整体性能, 影响安全运输。

为适应铁路现代化管理要求, 满足港口散货码头安全生产需要, 创新设计一种适用于散货码

头的智能牵引系统。该系统可替代原有铁牛牵引装车, 有效弥补原有装车不足, 提升作业生产率, 使系统的可靠性和安全性得到进一步加强。基于系统动作的快速响应可大幅度提高装车楼装车能力和跨接处通过能力, 切实有效地保障了散货码头装车线路的平稳运行。

1 总体技术参数

1.1 运行环境条件

运行环境条件为最大海拔高度: 2 000 m; 环境温度: -20 ℃ ~ 45 ℃; 平均相对湿度: 95%; 轨距: 1 435 mm; 铁路通过最小曲线半径: 60 m。

1.2 主要技术参数

智能牵引系统主要技术参数如表 1 所示。

第一作者简介: 牟茂源(1989—), 男, 山东烟台人, 工程师, 硕士, 研究方向为轨道交通领域智能装备、智能运维系统研发等, mmyuan0119@163.com。

表 1 智能牵引系统技术参数表

参数	数值
牵引总质量/t	5 000
驱动方式	电动
最高车速/(m/min)	21
装车车速/(m/min)	9.3
供电电压/V	380
交流电供电功率/kW	260
驱动电机功率/kW	6×35
整车质量/t	200
整车尺寸/m	10.0×3.0×4.2

2 系统组成及布局

智能牵引系统由牵引车、供电系统、控制系统、通信系统等组成,在系统功能上基本实现了自动化无人化装车,过程可满足高效高精度的作业需求。该牵引系统码头总体布局如图 1 所示。

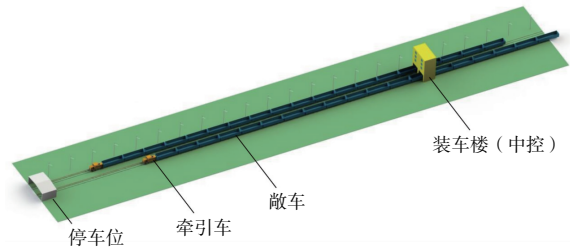


图 1 智能牵引车码头布局图

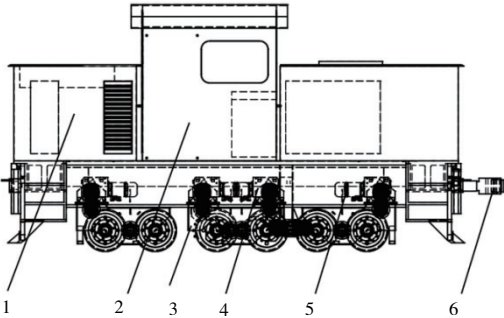
本研究方案开创了一种全套的港口散货实现连续装车工艺技术,可从根本上克服传统的装车工艺缺陷。与传统装车工艺方案的对比如表 2 所示。

表 2 本方案与传统装车工艺使用及经济性能对比

工艺方案	传统机车牵引	“铁牛”牵引	智能牵引系统
效率	中	低	高
精度	中	低	高
布局	较好	差	灵活
操控难度	低	较大	较小
运行成本	高	较低	高
维护难度	大	大	小
能耗	高	较小	中
作业人数	较多	较多	无人
污染	中度	小	小
安全隐患	较小	大	小
投资	大	少	大

3 牵引车的研发设计

牵引车由车体、行走机构、操控系统、动力系统、制动系统、车钩装置等组成。作业机动灵活、操作方便。具体如图 2 所示。



1—车体；2—操控系统；3—行走机构；4—制动系统；5—动力系统；6—车钩装置。

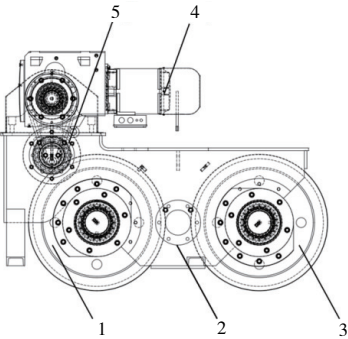
图 2 智能牵引车示意图

3.1 车体

车体是牵引车的关键部件,是其他部件的安装载体。车体为全钢焊接而成,中梁式承载钢结构,在关键受力部位增设加强筋板,是牵引车的主要受力部件。车体由底架、司机室、机罩及配重附属设备组构成。

3.2 行走机构

行走机构是大型起重设备和港口机械的常用部件,承载着牵引车体及其配件的所有质量。整体结构采用模块化设计,具有很好的通用性。传动机构采用集中润滑的方式,正常工作状态下免维护或少维护。牵引车共设计 6 组行走机构,每组设有主动轮和从动轮,由一套三合一电机驱动,具体如图 3 所示。



1—主动轮；2—车轮座；3—从动轮；4—减速电机；5—齿轮箱。

图 3 单组行走机构图

3.3 动力系统

动力由 6 台变频电机带动车轮实现双向驱

动,采用交流变频调速、软启动方案;变频器是对变频技术与微电子技术的综合应用,通过改变电机工作电源频率方式来控制交流电动机的电力控制设备。变频器主要由整流(交流变直流)、滤波、逆变(直流变交流)、制动单元、驱动单元、检测单元微处理单元等组成^[9-13]。

软启动器可以起到软启动、限流启动、软停车等作用,并且还能够达到一些可选可预置项目的要求;同时,软启动器还具有过载保护、欠载保护、欠电压保护、过电压保护、电压失衡保护、电机失速以及堵转检测保护等功能,能够有效地对电机实施保护,满足系统稳定可靠的要求。因此,通过使用变频器与软启动器,能够极大地提高了系统的运行稳定性,提高了设备的自动化程度,节约能源,降低了生产成本。

3.4 制动系统

牵引车制动系统主要由 JZ-7 型空气制动机、液压电动机、空气压缩机、风缸等组成。制动装置采用铁路机车使用的 JZ-7 型空气制动机,由自动制动阀、中继阀、均衡风缸等组成,对牵引车施行空气制动^[14-15]。本车安装有列车充风管,可以对牵引的货车进行列车管充气。在司机室操纵台上安装有紧急排风阀,可以对列车管进行排气控制,实现列车紧急制动功能。

3.5 操控系统

当装车楼中控切换装车模式为人工控制时,启用操控系统。操控系统位于司机室,司机控制器方向手柄具有前进、0 位、后退功能。司机控制器的调速手柄设有 0~4 挡位,当牵引车处于牵引工况时,调速手柄的挡位与牵引车的不同设定速度相对应,为速度控制模式^[16-18]。

3.6 车钩装置

车钩装置由标准敞车车钩、导向机构、电动升降装置组成。电动升降装置由丝杠、电机、联轴器等组成,通过操作驾驶室内前后车钩升降按钮,控制电动升降装置上升或下降,使车钩高度在一定范围内自动调节。具体如图 4 所示。

4 滑触供电系统的应用

为满足散货码头装车作业环境及牵引车运行要求,供电系统采用滑触线方式供电,具体计算参数如表 3 所示。

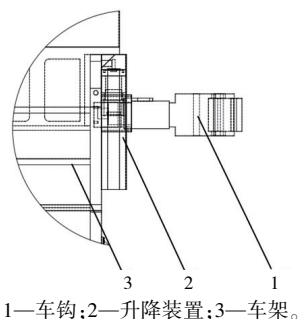


图 4 车钩装置图

表 3 滑触线技术参数表

参数	数值
类型	单极组合式滑触线
导体材质	铝合金
横截面/mm ²	500
尺寸/mm	32×42
耐受电流/A	700
安装方式	L 型支架
安装长度/km	1 000

牵引系统滑触线供电示意图如图 5 所示。

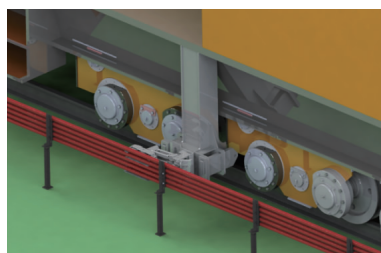


图 5 牵引系统滑触线供电示意图

滑触线-集电器结构如图 6 所示。

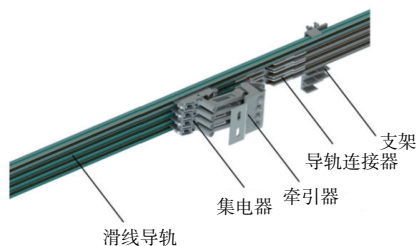


图 6 滑触线-集电器结构图

5 控制系统的开发与实现

控制系统是整个智能牵引系统的核心,其是对牵引车驱动车厢行走位置的控制,以达到与料流流量相适应的动态响应关系,实现了装车楼连

续装载与智能牵引协同控制的功能需求。为实现这个目标,该系统的控制方案采取了3个措施,即车号识别控制、挂钩与解钩控制、连续装车与跨接控制等,其总体控制流程如图7所示。

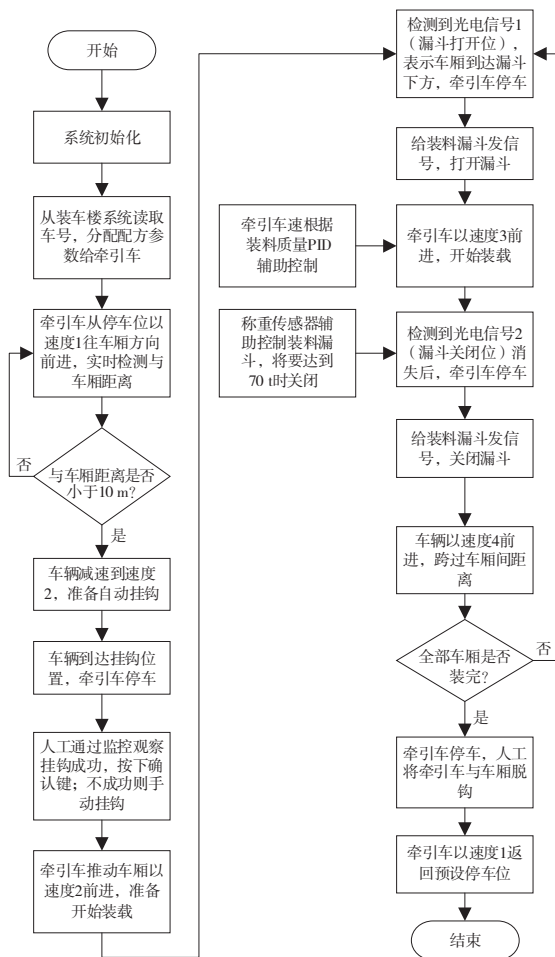


图7 牵引车自动装车作业控制系统流程图

5.1 车号识别

为提高设备自动化程度和生产效率,智能牵引系统配置车号自动识别系统,该系统的终端设备安装在装车楼进车端,车辆通过时自动识别车厢类型等相关参数,并通过工业以太网将数据上传至装车楼数据库,并发送至牵引车司机室。控制程序在接受到数据后自动分析并制定装车计划,中间过程无需人工参与。

5.2 挂钩、解钩控制

上位机完成车号识别后,系统通过人机界面通知作业人员进行下一步操作。因车厢数量不同,牵引车每次的挂钩位置也随之改变。启动挂钩程序后,牵引车自动从预设的停车点出发,快速前进,通过车辆前方的测距传感器监测与车厢的距离。当与车厢的距离小于10 m时,车辆开始减

速,速度降低后系统发出警报,提醒作业人员通过监控系统查看挂钩情况。确认挂钩完成后,系统进入装车程序,牵引车自动推动车厢进入装车楼开始装料作业。

当所有车厢完成装车后,牵引车自动停车。车上人员按手动解钩。启动车辆回位程序,车辆自动返回预设的停车点,完成本次装车作业。

5.3 连续装车控制

1) 牵引电机耦合控制

牵引车共12个车轮,其中6个为主动轮,使用大功率电机驱动,6个为从动轮,无动力驱动。主动轮和从动轮均安装编码器,主动轮编码器作为车轮速度反馈,作用于电机同步;从动轮编码器作为车辆位置反馈,反映车辆的实际速度和位置。所有主动轮电机通过电子齿轮耦合,以某一指定车轮电机速度为标定速度,其他电机的速度通过计算与标定速度的差值,来调整自身的设定速度值,防止电机转速不一致发生电机过载、脱轨等问题。

牵引车主动轮存在打滑的可能性,而从动轮没有动力驱动,因此不存在打滑的情况,牵引车实际速度和位置计算以从动轮编码器为基准,防止在主动轮打滑时车辆实际速度和位置计算错误,导致因数值偏差出现危险情况。

2) 牵引车速PID控制

装车楼在控制牵引系统装车时,为保证装载均匀、不洒落物料,需要对牵引车的车速进行控制。在装车楼物料传送带速度一定的情况下,通过牵引车电机实际速度值作为PID反馈信号,通过称重传感器累计装载量计算牵引车的速度值,作为PID设定值输入,使用PID计算输出值(控制量)调整牵引车速,以达到均匀装载的目的^[19-24]。PID控制原理如图8所示。

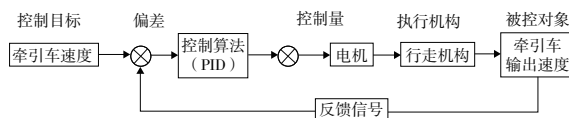


图8 PID控制原理图

5.4 车厢间跨接管理

装车作业过程中,车厢间存在间隙,当间隙运行到装料漏斗下方时,需要关闭装料漏斗,防止物料漏到车厢外,造成浪费,且对车辆行驶造成影响。装料漏斗关闭需要时间,因此需要在车厢到达跨接处前开始关闭装料漏斗。

使用光电传感器和称重传感器配合,当称重传感器累计装载接近设定值时,控制装料漏斗关闭,当装料漏斗关闭时,车厢正好到达跨接处。当光电传感器检测到下一辆车厢到达装载位置时,控制装料漏斗打开,再次开始装料。具体如图9与图10所示。

6 通信系统的搭建

通信系统分为两部分,分别为上位机与装车楼控制系统通信、上位机与牵引车本地PLC系统通信。通过5G技术和无线中继的手段,实现三者间的信息交互传输。同时检测通信状态,若检测到通信中断,立即控制装料漏斗关闭、牵引车停

车,并向现场人员发出警报,保证现场人员、设备安全。

6.1 上位机与装车楼通信

上位机通过有线连接与装车楼实现信号交互,发送装料漏斗开合信号,并接收装料漏斗状态、称重传感器数据等信息,处理后与牵引车本地PLC系统通信交互,控制牵引车启停、速度等参数。

6.2 上位机与牵引车本地PLC通信

上位机与牵引车本地PLC通过无线连接,使用两种方式:5G技术、无线中继,两种通信方式并行以保证通信的可靠性。通信网络架构图如图11所示。

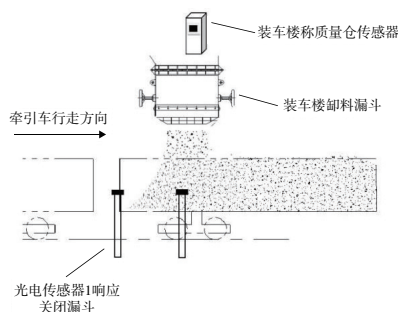


图9 车厢跨接前控制示意图

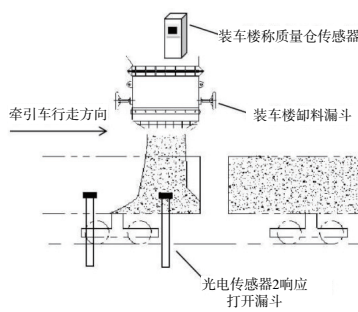


图10 车厢跨接后控制示意图

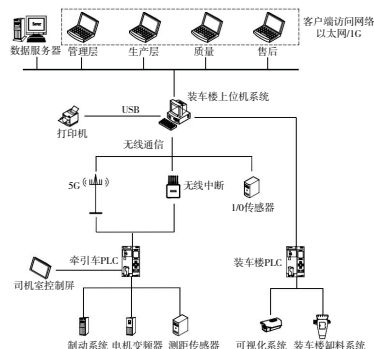


图11 通信网络架构图

7 结语

本系统设计能解决散货码头铁牛牵引存在的安全隐患,较好地保证了车辆的良好运行状态,提升了装车作业的安全性能,提高了装车生产效率,减少了维修成本使用费投入。其系统的先进性和安全可靠性能达到了国内领先水平,其经济效益和社会效益突出,推广及应用价值明显,为企业铁路运输的发展奠定了基础。

参考文献:

- [1] 王自初,沈炳华,吴焕文. 港口散货码头智能牵引机车[J]. 起重运输机械,2025(8):58-63.
- [2] 胡洋,赵一凡,杨华昌,等. 黄骅港站智能调车自动驾驶控制系统应用研究[J]. 铁道通信信号,2024,60(5):9-17.
- [3] 陶学亮. 朔黄铁路基于移动闭塞的机车自动驾驶系统运用展望[J]. 中国新技术新产品,2023(14):27-30.
- [4] 杨宾汇,卢海,米泽辉,等. 基于LKJ运行数据的铁路基础设施检测车通用定位自动校正设备研究[J]. 铁路计算机应用,2024,33(11):62-69.
- [5] 尚敬,刘勇,江帆. 机车自动驾驶技术研究与运用[J].

机车电传动,2023(1):1-12.

- [6] 牟茂源. 轨道装车机动态连续装卸控制精度研究[J]. 模具制造,2024,24(9):151-153.
- [7] 王齐锯. 采煤机牵引速度和滚筒高度智能协调控制方法研究[J]. 矿业装备,2025(4):34-36.
- [8] 胡希鹏,张鹏,王亮山,等. 装车机自动控制系统设计与实现[J]. 今日制造与升级,2024(6):110-112.
- [9] 崔义森. 铁路智能装车系统技术研究与运用[J]. 煤矿机电,2023,44(3):64-67.
- [10] 李旭,孙国顺. 散料集装箱快速定量装车技术研究与运用[J]. 煤炭工程,2024,56(5):95-100.
- [11] 曹小雄,廖伟文,李卓君. 基于深度强化学习模型的纯电动牵引车智能充电调度系统[J]. 港口装卸,2025(1):24-28.
- [12] 李渊. 智能装车系统在选煤厂的应用[J]. 煤炭加工与综合利用,2025(8):21-25.
- [13] 陈忠训,黄松,左泉,等. 矿车装车智能视觉检测与装载优化控制系统开发[J]. 现代制造技术与装备,2024,60(6):122-124.
- [14] 文树吉,曾晓光,郎舒妍. 散货码头装卸智能化发展建议[J]. 港口科技,2019(1):47-49.

(下转第100页)

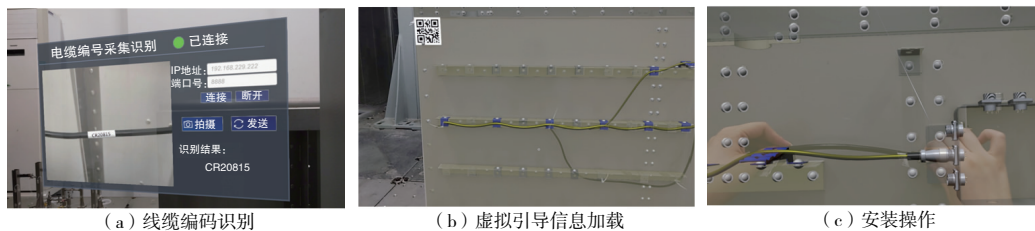


图9 线缆可视化效果图

4 结语

本文提出了一种针对待装配线缆的编码识别和增强现实可视化引导方法。通过倾斜校正和CTPN+CRNN网络对线缆编码进行提取与识别,利用增强现实技术将可视化虚拟信息叠加到线缆现场中进行直观引导,实现了线缆识别自动化和沉浸式铺设引导一体化。经过系统搭建验证,本系统能够有效实现飞机线缆的自动化识别与可视化显示。

参考文献:

- [1] 刘检华. 军工数字化装配技术[J]. 国防制造技术, 2011(4):5-7,11.
- [2] ZHOU F, DUHHB, BILLINGHURST M. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: a review of ten years of ISMAR[C]//2008thIEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Cambridge: IEEE, 2008:193-202.
- [3] REINHART G, PATRON C. Integrating augmented reality in the assembly domain - fundamentals, benefits and applications[J]. CIRP Annals, 2003, 52(1):5-8.
- [4] CAUDELL T P, MIZELL D W. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes[C]//Proceedings of the Twenty-

Fifth Hawaii International Conference on System Sciences. Kauai, HI, USA: IEEE, 1992:659-669.

- [5] 王月. 面向产品装配引导的增强现实虚实融合技术研究[D]. 西安:西北工业大学, 2018.
- [6] 唐健钧,叶波,耿俊浩. 飞机装配作业 AR 智能引导技术探索与实践[J]. 航空制造技术, 2019, 62(8):22-27.
- [7] 张杰,王淑侠,何卫平等. 航空发动机叶片装配执行过程智能检测及 AR 引导[J]. 计算机集成制造系统, 2023: 1-18. (EI)
- [8] 刘欣,李佩娟,盛云龙. 基于 Tensorflow 框架的生产线零件编号分类算法研究[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2019, 17(4):31-37.
- [9] TIAN Z, HUANG W L, HE T, et al. Detecting text in natural image with connectionist text proposal network[M]// Computer Vision - ECCV2016. Cham: Springer International Publishing, 2016:56-72.
- [10] SHI B G, BAI X, YAO C. An end-to-end trainable neural network for image-based sequence recognition and its application to scene text recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(11):2298-2304.

收稿日期:2023-11-20

(上接第85页)

- [15] 林星铭,孟羽,林浩,等. 自动化散货码头装卸作业存在的问题与对策[J]. 水运工程, 2018(6):204-207.
- [16] 许月琳,刘荣林. 煤矿铁路装车牵引系统的设计与实现[J]. 煤矿机械, 2014, 35(8):19-21.
- [17] 殷庆华,杨雪峰. 无极绳连续牵引车系统的稳定分析[J]. 煤矿机械, 2011, 32(6):98-100.
- [18] 刘迎春,白茜,詹海峰,等. 粗碎下长给矿皮带运输机传动机构研究及应用[J]. 中国钨业, 2019, 43(6):30-32.
- [19] 屈小兵. 煤矿铁路快速装车系统新式变轨铁牛的研究与应用[J]. 煤矿机械, 2012, 33(6):181-182.

- [20] 牛春红,张军民. 四轮驱动公路铁路两用牵引车研制[J]. 机械工程与自动化, 2020(2):113-115.
- [21] 刘晓,马春晓. 铁牛调车系统在铁运货物卸车中的应用[J]. 纯碱工业, 2016(3):21-22.
- [22] 朱晓冬. 一种集成式多功能自动装车系统成套技术及其应用[J]. 港口科技, 2014(8):3-6.
- [23] 李菁川,周亚运,任烜,等. 全自动移动式平料装车机控制系统设计[J]. 港口装卸, 2018(6):19-23.
- [24] 张华. 连续式装车机全自动电气控制系统设计[J]. 起重运输机械, 2014(5):13-16.

收稿日期:2024-03-07