

# 无人驾驶电机车自动卸矿技术研究与应用

黄金武, 王雪峰, 张正飞, 俞进发

(江西铜业股份有限公司 德兴铜矿, 江西 德兴 334200)

**[摘要]** 5G、云计算、AI等ICT技术飞速发展,为传统矿山提供了全新的发展机遇。矿山面临资源不足、开采难度递增、单位矿石生产成本低、未来劳动力风险大等关键的结构性问题,迫切需要数字化、智能化手段加以解决。原矿石窄轨运输是矿山开采的重要工艺,无人驾驶电机车的部署对智能矿山建设意义重大,电机车无人驾驶作业过程中自动卸矿是无人驾驶的重要环节,也是无人驾驶需要突破的技术难点。本次研究应用激光传感器、激光雷达料位计、AI视觉、射频信标、高精编码等新技术的融合,完成电无人驾驶电机车自动卸矿复杂工艺,能达到电机车无人驾驶目标及生产效率要求。

**[关键词]** 自动对位; 360°旋转式翻笼; 自动卸矿; 自动摘挂钩; 电机车无人驾驶

**[中图分类号]** TD64 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)01-0075-05

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.01.012

## 0 前言

当前我国金属非金属矿山等重点行业的安全生产形势严峻,推进两化融合,应用大数据、物联网、移动互联等技术,实现矿山安全生产管理水平提档升级,是改变传统行业生产管理的新途径。

铁路运输智能化控制系统是实现生产一线少人无人化的一个有效途径,使得运输有效时间大幅提升。本次研究应用针对铁路运输环节工作环境恶劣、工作效率低、人工作业强度大、系统分散和智能化水平低等难题。以无人驾驶电机车系统为基础,研究电机车无人驾驶系统中自动卸矿技术,该技术可以彻底取消电机车运输卸矿工艺环节的现场工作人员,从本质上解决了生产运输环节的效率及安全问题<sup>[1-3]</sup>。

## 1 实施背景及意义

德兴铜矿铁路运输系统是一条单程长7 km,轨距为750 mm的水平窄轨铁路,共有3条放矿轨、

**[收稿日期]** 2023-11-29

**[第一作者]** 黄金武(1989—),男,湖南邵阳人,工程师,大学本科,主要从事矿山设备管理、自动化、数字化、智能化改造相关工作,现任江西铜业股份有限公司德兴铜矿数字化部副部长。

**[引用格式]** 黄金武,王雪峰,张正飞,等.无人驾驶电机车自动卸矿技术研究与应用[J].有色设备,2024,38(1):75-79.

48个振动放矿斗、7个隧道、51组电动道岔、3个卸矿站场、5座360度旋转翻笼。承担每日约4万t原矿拉运卸任务,行车密度为每6 min一趟,一天140余趟,每趟18节车斗、每节车斗长约7 m。矿石经破碎站破碎后,电机车司机按调度指令将列车开至指定的装矿轨道,通过振动给矿机装满矿,由电机车输送至选矿厂各卸矿点卸矿。

为提高运矿铁路安全性,改善操作环境、提高生产效率,实现减员增效,通过对电机车进行智能化升级,对装运卸工艺进行自动化改造,建设通信网络、集控中心、安全保障系统、智能调度系统、生产设备信息系统视频监控及牵引变电所改造,在现有微机联锁信号系统基础上,实现适合现场的铁路运输智能化升级,达到整个铁路运输作业全流程无人驾驶。自动卸矿技术目前国内电机车无人驾驶系统中,目前还没有项目达到在360°旋转翻笼卸矿过程中无人干预自动卸矿水平,主要原因是车斗的定位停靠精度难以达到、翻笼的水平位自动调整控制难、车头与车斗自动摘挂钩技术应用不完善,本文结合德兴铜矿电机车无人驾驶系统,开展研究无人驾驶电机车自动卸矿技术应用<sup>[4-5]</sup>。

## 2 旋转翻笼自动卸矿技术

### 2.1 无人驾驶电机车卸矿作业概述

电机车到达卸载站时自动调整到给定速度,避

免引发编组速度过高造成对设备的冲击。在卸载站两端安装摄像头,远程监视卸载站设备运行状态。编组到达指定卸载站之后,由自动摘挂钩装置摘钩并且经绕道绕至编组后方挂钩,此时经过电机车定位校准装置,对编组进行位置校准,校准后电机车位置误差可达厘米级。自动摘挂钩系统带有到位检测开关,到位检测开关对挂钩是否插拔到位进行检测,未到位情况下机车处于等待状态,无法进行下一步动作。调度系统发出指令推动编组进入翻笼,此时速度较快不小于人工驾驶的速度,在编组达到停车位位置前经过第一个对位开关,编组减速缓慢驶入翻笼。编组矿车缓慢行驶,达到第二个对位开关后,翻笼立即启动。翻笼旋转一圈后,翻笼精确位置对位装置发出反馈信号,系统连锁启动进行下一次卸矿。如果翻笼精确对位开关未检测到对准信号,系统自动点动调节翻笼位置,直到翻笼位置对准。编组卸载作业完成时,中控人员通过现场摄像头确认卸矿完成无误后方可给出确认信号,编组进入下一卸载循环。

## 2.2 网络部署

有轨运输无人驾驶系统建设一套覆盖全部运输线路的 5G 专网通讯系统,5G 专网可承载有轨运输无人驾驶系统的网络需求,包含电机车的可视化指挥调度,转辙机控制数据、翻笼卸矿机控制数据、WiFi 语音电话数据、视频监控数据、无人驾驶电机车控制数据,以达到提高生产效率的目的。专网基

站设备防护等级高,减少复杂的配套设施,减少故障点。终端适合矿山高尘、高震、高湿度的环境中稳定运行。电机车控制系统中设有与巷道和控制中心无线通讯系统,形成冗余配置,通过这两套通讯系统可以实时将电机车运行数据发送到集中控制中心,并在电机车上安装有摄像头,图像数据通过无线以太网实时传递到集控中心。

## 2.3 总体技术路线及框架

**智能调度系统:**智能调度系统可在控制室的调度工作站实时显示列车在运输轨道的位置、相应区间的道岔、信号灯状态、危险区段报警灯。操作员根据派车作业指令,统一协调指挥电机车运行路线和可开动时间,系统根据信号联锁规则,自动控制转辙机和信号灯的动作,自动控制电机车运行到指定卸矿翻笼。

**总体技术路线:**电机车进入卸矿翻笼区域前端时,电机车射频接收器读取固定信标位置减速停车,在智能调度系统的指导下,通过边缘计算模块与相对应的翻笼建立通讯,在翻笼处于待机状态下,电机车与车斗自动摘钩,按照设定程序在信集闭系统的配合下,电机车绕至车皮尾部完成自动挂钩,并推动车斗向卸矿翻笼驶入,在定位等设备的配合下,逐节完成自动卸矿。系统主要由激光传感器、激光雷达料位计、高精度编码器、多点光电开关、边缘计算单元、PLC 控制单元、通讯模块组成,控制系统架构简图如图 1 所示。

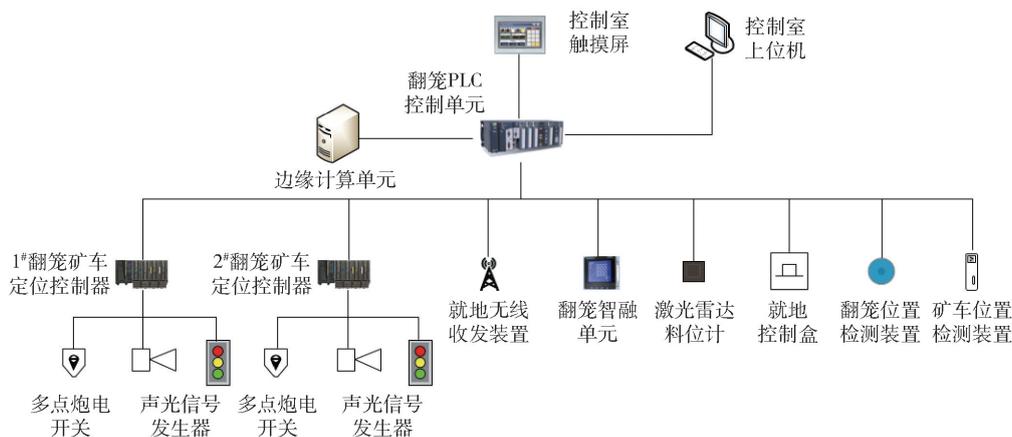


图 1 卸矿站控制系统拓扑图

## 2.4 翻笼及矿车位置检测控制原理

通过在翻笼笼体增加编码器以及激光对位开关,实现翻笼在翻转一周后准确对位,并且实现在因机械特性因素导致出现偏差时可快速自动补偿

功能。系统可实现翻笼控制回路同矿仓料位连锁功能,在料位满矿时不能进行作业,保障翻笼及相关设备的作业安全。系统联动电机车速度控制,通过安装在轨道旁的传感器,在矿车即将到达翻

笼时就地发出减速指令,实现电机车自动减速,并且在矿车对准翻笼时连锁翻笼启动信号,进行翻矿作业,同时在翻笼旋转时切断架线电源,保证安全。

## 2.5 自动摘挂钩控制原理

由于使用360°卸矿翻笼卸矿设备,翻笼区域不能敷设高压架线,电机车头无法通过,需要卸矿时,电机车头需要绕至车斗尾部,将车斗推入翻笼执行卸矿。无人驾驶电机车头上安装了RFID读卡器,当电机车头按照调度指令驶入预卸翻笼前端时,读卡器接收到地面信标信号后,车载控制主机执行两个动作,一是控制电机车减速刹车,二是对高精度编码器的定位进行标定,便于后续精准控制。当电机车刹停后,车载控制器控制无人摘挂钩机构进行脱钩,使电机车头与车斗脱离,电机车头按照信集团与调度融合计算指令,开始变轨绕至车斗后方,当激光雷达检测到车头与车斗接近时,减速运行至车头与车斗连接器完全对位,车载控制器控制无人摘挂钩机构进行挂钩,使电机车头与车斗连接,电机车头往前牵引3秒,根据电机反馈电流,判断挂钩是否成功,若不成功重复挂钩操作,确保挂钩成功。自动摘挂钩装置由电机驱动,可实现无人驾驶状态下电机车的自动摘挂钩操作,能够适应卸矿工艺流程需求。自动摘挂钩装置由DC24V电机驱动,最大工作电流为10A,最大拉力为1t,并且配有挂钩到位检测装置,保证摘挂钩操作的可靠性。装置带有蓄电池供电,在降弓状态下可正常工作,蓄电池在升弓状态下自动充电。无人摘挂钩机构如图2所示。

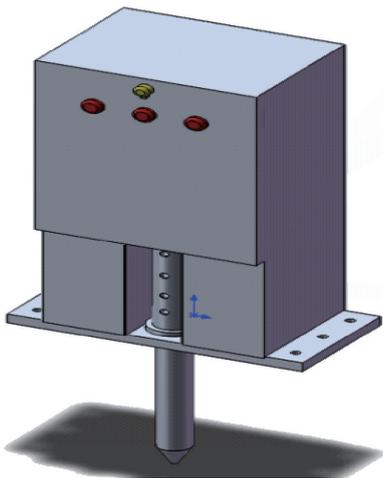


图2 无人摘挂钩机构图

## 2.6 自动卸矿控制原理

电机车在挂钩成功后,通过5G通讯模块发送信号至边缘计算模块,联动卸矿翻笼进入自动卸矿计数模式。卸矿控制单元在接收到边缘计算模块发送的卸矿任务后,进入预翻转状态,同时边缘计算模块开始接收电机车及路侧装置信号,当满足电机车越过信标位置设定距离(编码器计数测距)、电机车速度降至某设定值(编码器测速)、车斗通过多点光电开关触发高低电位交替设定次数三个条件后,翻笼自动翻转,完成1节或2节车斗卸矿,重复执行该流程,直至所有车斗物料卸载,电机车牵引车斗返回装矿点。卸矿流程逻辑如图3所示。

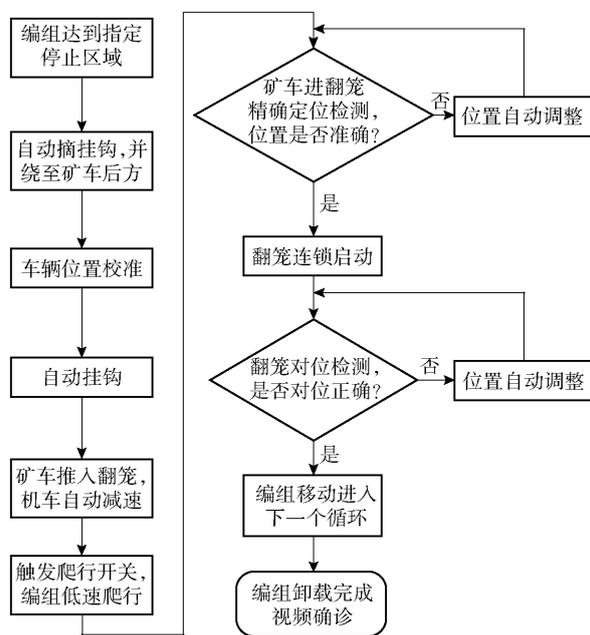


图3 卸矿流程图

## 2.7 卸矿安全保障系统

在翻笼卸矿过程中,部署两大安全保障系统。  
①翻笼水平保障系统,在翻笼中部笼体环上安装滚轮编码器,实时测定翻笼旋转角度,在翻笼前与后端分别安装一组激光传感器,测定旋转翻笼关键位置。当滚轮编码器旋转至设定值后,且触发一组激光,翻笼控制系统切断翻笼电机电源,翻笼依靠惯性继续旋转至停止,另一组激光位置测定传感器未接收到信号时,根据编码器实时值控制翻笼调整位置,直至激光传感器与激光板对位准确后,确保翻笼回至水平位,电机车通行无安全隐患,边缘计算模块发送下一操作指令至电机车。  
②在料仓安装激光雷达料位

计,实时测量料仓料位,当料位达到设定高位时,边缘计算模块发送停止卸矿指令,同时向电机车无人驾驶集控中心发送预警,保障生产安全。为了配合有轨运输无人驾驶系统电机车的优化运行,准确了解卸载站料位的高度,实现运行系统的最优调度功能,在系统实施需要安装溜井料位在线监测系统。料位监测系统按照测量原理通常有雷达、激光和重锤等。雷达料位计具有高性价比,维护方便可靠耐用,激光料位计价格较高,在高粉尘条件下会受到较大干扰,而重锤料位计会出现埋锤或者断绳等问题,考虑到矿山的工况条件,有轨运输无人驾驶系统料位监测多采用 VEGA 高精度雷达料位计,该系统已在多个矿山得到很好的应用。翻笼水平保障系统部署原理如图 4 所示。

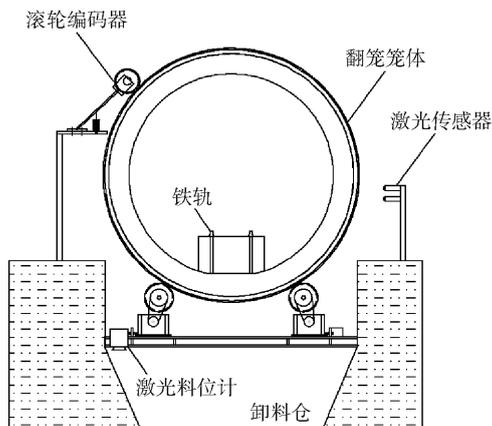


图 4 翻笼水平保障系统部署图

### 3 现场应用案例解析

德兴铜矿 7 km 窄轨铁路运输系统共有 3 个卸矿站,共 5 座翻笼卸矿机常态化运行,其中 1 座为单翻笼,4 座为双翻笼。每列车含 18 节车斗,均成功应用自动对位卸矿技术,平均每趟自动卸矿时间少于 8 min,卸矿成功率 100%,生产效率及卸矿安全均超过人工作业标准。

当电机车进入预定的卸矿翻笼前端时,电机车头的射频接收装置接收到地面固定信标信号,电机车减速至停止,且同步校准高精编码器位置,电机车与车斗通过自动摘挂钩装置分离,并绕至车斗后方,执行自动挂钩任务,挂钩成功后,电机车推动车斗往翻笼方向推进,当再次读取到信标时,减速至 0.1 m/s 继续推进,直至车斗完成与多点光电开关的计数,翻笼开始翻转卸矿,单次卸矿

完成后,翻笼通过编码器、激光传感器等定位装置找平,继续执行后续卸矿任务,直至完成本趟卸矿任务,电机车牵引车斗至装载区。自动卸矿流程图如图 5 所示。

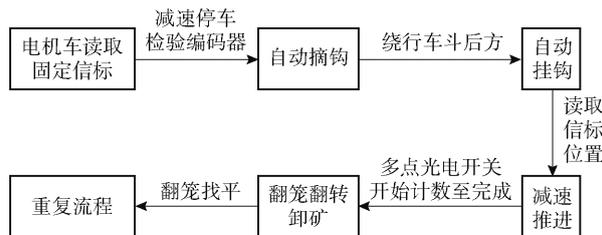


图 5 自动卸矿流程

### 4 效果效益

系统成功应用取得显著的效益,原卸矿系统按照 4 班 3 运转模式作业,每人操作 1 个卸矿翻笼,5 座翻笼作业道每班需要 5 名卸矿工,共计卸矿工 20 人。系统成功应用后,每班只需要后台监视人员 1 人,共计 4 人,实现减少操作人员 16 人;卸矿过程规避了人员因素带来的系统低效或停滞,卸矿效率提高 5%;按照同年度人工成本和运输费用核算,年增加经济效益约 500 万元。另由于操作人员只需在集控中心监视作业,现场装矿人员全部撤离,作业智能化率同步提升,不仅降低了职工作业强度,优化作业环境,同时也为铁路矿石运输本质安全做出积极贡献。

### 5 结语

1)项目实施后,无人驾驶电机车运输矿石过程中的卸矿对位、料位检测、卸矿、翻笼找平等过程全部实现自动化,为无人驾驶电机车运输矿石全过程无人操作补齐关键一环,操作人员进一步减压,作业风险进一步减小,系统运行的稳定性和生产效率均得到提升,高效促进矿山有轨运输系统本质化安全。

2)无人驾驶电机车自动卸矿系统的成功应用,对矿山有轨运输系统装运卸全流程无人驾驶具有突破性意义,进一步验证了基于边缘计算的多检测技术融合分析应用在复杂的矿山工艺具有可行性,对推动安全、绿色、高效的智能矿山建设具有较强示范性和样本效应。

#### [参考文献]

[1] 宗剑. 矿山牵引电机车控制系统的研究[D]. 上海:上海

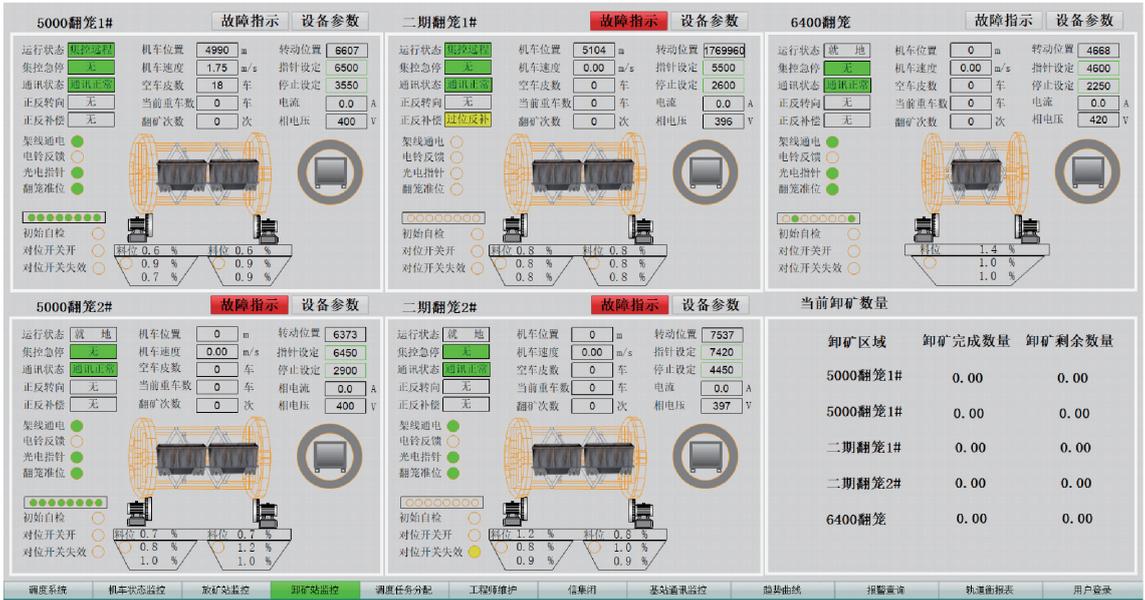


图6 自动卸矿后台监测示意

大学,2014.

- [2] 郎立国. 电机车自动定位运行控制系统设计[D]. 大连: 大连海事大学,2006.
- [3] 赵鹏. 复杂地貌矿山立体远程数据通信系统研究与应用[D]. 兰州:兰州大学,2016.

- [4] 邹龙,张君,曾体强,等. 自动驾驶技术在井下矿用卡车中的应用[J]. 中国矿山工程,2022,51(6):77-82.
- [5] 刘东元,王占成,王志扬. TCKY-250/550型一体化IGBT直流电机车脉冲调速器的推广应用[J]. 煤矿开采,2004(3):85-68.

## Research and application of automatic ore unloading technology of unmanned electric locomotive

HUANG Jinwu, WANG Xuefeng, ZHANG Zhengfei, YU Jinfa

**Abstract:** The rapid development of 5G, cloud computing, AI and other ICT technologies has provided new development opportunities for traditional mines. Mines are faced with key structural problems such as insufficient resources, increasing mining difficulty, high production cost per unit of ore, and high risk of future labor force, which urgently need to be solved by digital and intelligent means. Narrow rail transportation of raw ore is an important process of mining, the deployment of unmanned electric locomotive is of great significance to the construction of intelligent mine, automatic unloading of electric locomotive in the process of unmanned operation is an important link of unmanned driving, and it is also a technical difficulty that unmanned driving needs to break through. This research applies the integration of new technologies such as “laser sensor, liDAR level meter, AI vision, radio frequency beacon, and high precision coding” to complete the complex process of automatic mine unloading of electric unmanned locomotive, which can meet the goal of electric locomotive unmanned driving and production efficiency requirements.

**Key words:** multi-bucket automatic alignment; 360° rotary cage; automatic unloading; automatic unhook; electric locomotive driverless