

无人驾驶电机车多车斗同步自动对位装矿技术研究与应用

黄金武

(江西铜业股份有限公司 德兴铜矿, 江西 德兴 334224)

[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,电机车无人驾驶中多车斗同步自动对位装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、AI 视觉、射频信标、高精编码”等新技术的融合,完成多车斗同步自动对位装矿复杂工艺,能达到电机车无人驾驶目标及生产效率要求。

[关键词] 多车斗自动对位; 自动装矿; 自动补装; 电机车无人驾驶

[中图分类号] TD64 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)06-0061-05

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.06.012

0 前言

当前,金属、非金属矿山等重点行业的安全生产形势严峻,矿山现场工作人员对环境的要求不断提高。“两化”融合、大数据、物联网和移动互联等技术在矿山行业的应用,提升了矿山安全管理、提高了矿山生产效率,是改变传统行业生产管理的新途径,是实现可持续发展的主要内容。

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多车斗自动对位装运技术。该技术可以取消电机车运输装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安全问题。

[收稿日期] 2023-10-15

[作者简介] 黄金武(1989—),男,湖南邵阳人,中级工程师,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. 无人驾驶电机车多车斗同步自动对位装矿技术研究与应用[J]. 有色设备,2023,37(6):61-65.

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、48 个振动放矿斗、7 个隧道、51 组电动道岔、5 座 360 度旋转翻笼、3 个站场。承担每日约 4 万 t 原矿拉运任务,行车密度为每 6 分钟一趟,一天 140 余趟,每趟 18 节车斗,每节车斗长约 7 m、每次 18 个放矿机配合 6 节车斗同步装矿。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,发往选矿厂卸矿点卸矿。

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,对振动放矿站及翻笼进行自动化改造,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。自动放矿技术目前在国内电机车无人驾驶系统中,目前还没有项目达到无人驾驶状态下多车斗同步自动对位装矿水平,主要原因是多车斗的定位停靠精度难以达到、多振动放矿斗放矿质量不统一、放矿堆高难把握、自动补矿工艺难实现,本文结合德兴铜矿电机车无人驾驶系统,开展研究多车斗同步自动对位装矿应用。

2 多车斗自动对位装矿技术

2.1 装载站系统概述

装载站系统最终实现电机车自动装矿、电机车远程遥控装矿和就地装矿等功能,该部分对控制系统有着较高要求。

可靠性要求:不论自动装矿或远程遥控控制系统必须可靠,远程控制系统任何短时失控都会引发装矿作业失控,特别是在出现大块矿石的情况。短时失控就可以导致矿车装矿过多,造成矿车装矿过高而刮坏滑触线事故,或者矿石撒落到轨道旁,给运输安全造成隐患。稍微严重的失控就非常容易引发矿石把矿车埋没的情况,此类事故对生产的连续性影响很大。

快速性要求:在远程遥控控制系统绝对可靠的条件下,远程遥控系统的快速性也直接关系到装载站是否可以正常工作。由于大块矿石的存在,一些大块矿石必须使用空矿车装入,然后再装入碎矿石。所以,装矿过程对立即停止装矿的要求非常高,否则就可能引发超装事故。如果远程遥控系统的快速性不能满足要求,照样可以引发装载事故。

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、振动放矿机控制数据、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。

2.3 总体技术路线及框架

系统部署:根据无人驾驶电机车运输实际情况,增加装矿站控制单元来实现自动装矿等功能,控制所有装矿振动给矿机。装载站控制单元与中控系统直接通讯,在中控室调度台上完成自动装矿、远程遥控装矿等功能。中控室操作单元设置高亮度触摸屏,触摸屏在显示被控编组所有运输数据的同时,还可以对被控编组进行各种运行数据的设定操作。触摸屏配置构成设备冗余配置,提高系统可靠性。同时可以一台触摸屏进行数据观测、另外一台触摸屏进行参数设定。中控室操作单元液晶显示大屏系统,可为操作员提供的视频图像,同时也显示整个运输水平的运行情况所有信息和电机车位置已经各振动放矿机的工作

情况。集控操作单元在自动装矿过程中是操作员监督电机车自动装矿的窗口,在远程遥控装矿过程中是直接远程遥控编组和装载站的硬件设备终端。

技术路线:通过电机车头高精度的编码器定位与固定道路关键位置射频信标位置互校,让无人驾驶电机车在进入对位区前实现减速爬行,当激光传感器接第一次收到到车斗反射信号时,按照控制程序减速停车,激光传感器继续监测车斗位置,若一次未对准装矿位,控制程序根据车头位置启动电机车前进或倒退微调车位,实现厘米级精准对位。在车斗对位准确后,控制程序联锁振动放矿机实施放矿作业,激光雷达料位计监测放矿料位情况,当达到预定料位后,振动放矿机停止放矿。此时车斗内矿堆为锥形,为最大程度利用运量,通过计算矿堆凹陷位置,联动车辆前移自动补装,达到预设标识线后,停止补装,继续其他车斗对位装矿作业。

系统主要由激光传感器、激光雷达料位计、高精度编码器、边缘计算单元、PLC 控制单元、通讯模块组成,如图 1 所示。

2.4 对位控制原理

自动装矿流程开始时,通过无人驾驶系统定位功能及现场精确校准装置,使得电机车在进入装载区域之前完成位置校准。进入装载区于之后,装载站入口处安装的定位辅助传感器检测到电机车以及矿车经过后,向调度系统发出信号使得电机车开始减速行驶,释放矿车之间的拉力,使得对位更为准确。具体原理为无人驾驶电机车头上安装了 RFID 信号接收器,当电机车头驶入减速区域,接收到地面信标信号后,车载控制主机执行两个动作,一是控制电机车电刹减速运行,二是对高精度编码器的定位进行标定,便于后续精准控制。当路侧激光传感器第一次接收到车斗反馈信号(激光反射装置)后,车载主机控制电机车投入气刹制动,激光传感器通过激光反射装置检测当前车斗位置是否达标,若未达标,车载主机通过高精度编码器位置,控制电机车缓慢前进或倒退微调车位,达标后,车载主机通过通讯模块发送反馈信号至边缘计算单元,执行装矿工序。激光传感器对位原理如图 2 所示。

2.5 自动装矿控制原理

放矿机控制单元在接收到边缘计算模块发送的放矿指令后,启动全部振动放矿机开始放矿,激光雷达料位计不断监测放矿料位,当某个料位达到设定

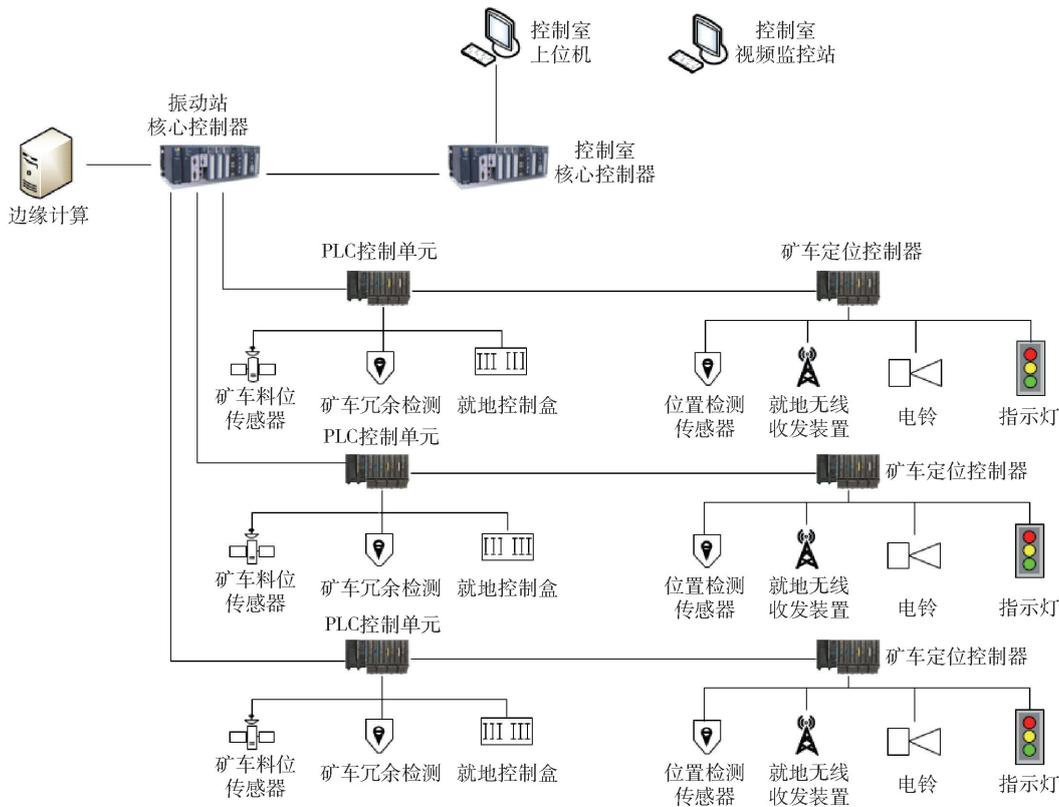


图1 振动放矿站控制系统拓扑图

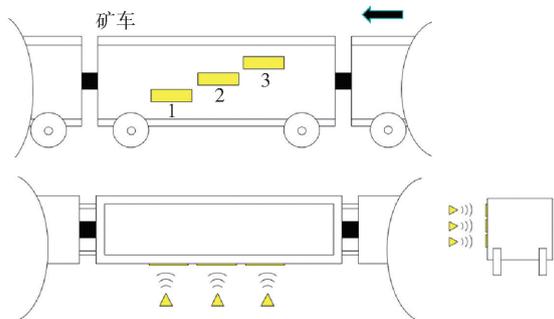


图2 激光传感器对位原理图

雷达对料位的检测原理如图3所示。

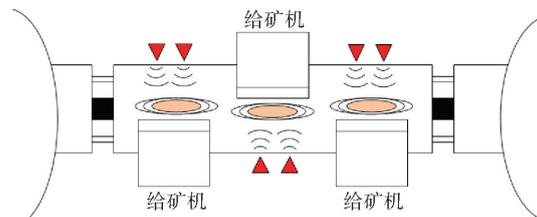


图3 激光雷达料位检测原理图

2.6 自动补装控制原理

当边缘计算模块接收到振动放矿模块反馈的一次装矿完成信号后,边缘计算模块通过现场车斗位置,识别出车斗料位凹陷位置,向电机车控制模块发送移车指令,电机车启动后,边缘计算模块通过雷达料位检测,将凹陷位置实时与放矿机比对,当凹陷与放矿机对位准确后,启动放矿机自动放矿,激光雷达料位计执行料位检测,当料位达标后,振动放矿机控制模块控制停止放矿,并向边缘计算模块反馈信号,执行后续车斗装车工序,全部装车完成后,发送反馈信号至边缘计算模块,联动自动调管系统准备发车。

2.7 安全保障系统

系统使用矿车内料位冗余检测传感器,保证传

值后,放矿控制单元控制对应放矿机停止放矿,直至全部放矿料位达标,放矿控制单元向边缘计算单元反馈信号。在放矿过程中,为降低放矿过程中形成的“矿流墙”产生虚假料位信号,本次研究应用双激光雷达互校监测,只有两个雷达均监测到料位达标后才停止放矿,提高放矿效率。对于可能发生的放矿过程中的结块问题,系统可以在中控室发出报警信息,提示中控人员某放矿机发生结块,中控室人员可根据提示以及视频监控的画面进行确认,并通知相关人员进行处理。该系统抗干扰能力及抗破坏能力强,不受一般灰尘及碎矿的影响,维护方便。激光

传感器可靠性以及准确性。采用时间保护,根据统计数据,在超时放矿并且为检测到装满信号时时进行连锁保护。结合配电室智融单元采集的给矿机配电数据,在电机故障及放矿结块等异常情况发生时会产生报警。在装载站现场全面监视振动放矿机配电回路电力参数,并通过控制系统远程遥控配电回路开关自动分合闸。将电力监控和工艺控制深度融合,在接触器发生粘连问题时,通过控制指令和电力参数迅速自动诊断出接触器粘连故障,并自动切除配电回路自动开关,防止发生“跑矿”危险。同时,还能够实现自动采集低压配电系统的全部运行数据,自动捕捉关键数据提供给数据采集中心,通过网络传输到矿中央控制中心实现实时数据自动记录,通过控制数据和电力数据的深度结合,能够实现诸多保护和预维护功能,大大降低振动放矿机系统的维护成本。

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 个装矿站,共 48 个振动放矿机,常态化运行的无人驾驶电车有 10 列,每列车含 18 节车斗,单节每次 6 节车斗同步对位 18 个振动放矿机装矿,均成功应用多车斗自动对位装矿技术。现平均每趟对位装矿时间少于 7 分钟,装车质量不小于 14 t/节,生产效率及装车质量均达到人工作业标准。

3.1 自动对位系统应用

当电机车进入选定的装矿轨前端时,电机车头的射频接收装置接受到地面固定信标信号,电机车由 5 m/s 减速至 2 m/s,且同步校准高精编码器位置,编码器开始计数行驶距离,行驶 200 m 后,减速至 1 m/s。当电机车上激光传感器第一次读取到立柱上固定反光板信号时,电机车减速至 0.2 m/s,电机车上激光传感器第二次读取到立柱上固定反光板信号时,固定在路侧的多点光电开关以高低电频的形式对车斗位置进行计数,完成固定计数次数,发出停车信号,完成 6 节车斗精准对位。

3.2 自动装矿补矿系统应用

待对位完成后,激光雷达料位计通过探测车斗底部,确认放矿斗已对位成功后,振动放矿机启动,开始放矿,料位计检测料位达到设定目标后,放矿机停止并发送反馈信号至电机车,电机车通过高精编码器计数往前移动 1.2 m,将车斗中两处物料凹陷处对准放矿

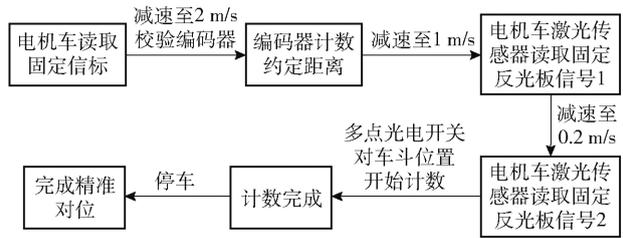


图4 精准对位流程图

机,开始放矿,雷达料位计检测料位高度,待料位达标后,开始利用多点光电开关开始下一轮车斗对位,重复三次后,18 节车皮装矿完毕,预备发车。图 5 为装矿补装示意图,图 6 为对位装矿后台监测示意图。

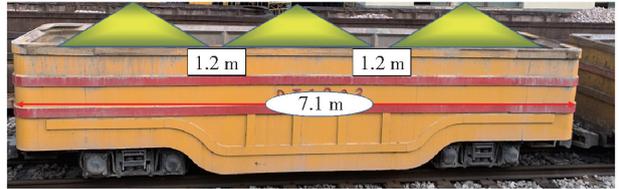


图5 装矿补装示意图

4 效果效益

系统成功应用取得显著的效益,原放矿系统按照 4 班 3 运转模式作业,每人同时操作 6 个放矿机为 2 节车斗装矿,3 条放矿轨道每班需要 9 名放矿工,共计放矿工 36 人。系统成功应用后,每班只需要后台监视人员 3 人,共计 12 人,实现减少操作人员 24 人;装矿过程规避了人员因素带来的系统低效或停滞,拉运效率提高 9%;按照同年度人工成本和运输费用核算,年增加经济效益约 680 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装矿对位、料位检测、装矿、补装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) 无人驾驶电机车多车斗同步自动对位装矿系统的成功应用,对矿山有轨运输系统装运卸全流

