

5G+无人驾驶智能配矿行车在有色金属冶炼企业的应用研究

王润年¹,王永辉²

(1. 河南中原黄金冶炼厂有限责任公司; 2. 河南科技大学应用工程学院)

摘要:以某金铜混合冶炼企业精矿仓车间传统桥式起重机为基础,进行5G+无人驾驶智能配矿行车改造,通过应用5G技术,采用SA独立组网方式,以及对自动控制和库管系统的研究建设,实现了行车的高效智能作业和无人驾驶。改造后,行车的作业效率提升20%以上,作业时长降低70%,安全事故发生率降低70%以上,实现了降本增效,改善了作业环境,降低了安全事故发生率。在重工业领域行车安全高效作业进行了积极有效的探索和尝试,为行车在有色金属冶炼企业的应用发展提供了方向,对提高有色金属冶炼企业的安全文明生产具有重要意义。

关键词:5G网络;无人驾驶;行车;有色冶炼;降本增效;智能配矿;技术改造

中图分类号:TD679

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)06-0033-04

doi:10.11792/hj20250607

引言

中国发布的《有色金属行业智能冶炼工厂建设指南(试行)》明确指出,要推进互联网、大数据、人工智能、5G、边缘计算、虚拟现实等前沿技术在有色金属行业的应用。在此背景下,某金铜混合冶炼企业积极响应国家号召,进行智能化改造,增强企业竞争力,以精矿仓车间传统桥式起重机为基础进行5G+无人驾驶智能配矿行车改造。

改造前,该冶炼企业在生产经营中面临3个痛点问题:①安全隐患大,职工职业健康难以保证;②作业效率低,难以实现精准配矿;③人工成本支出高,岗位可替代性差。为解决上述问题,将5G网络与行车无人驾驶、智能库区管理相融合,打造大型有色金属冶炼企业5G+无人驾驶智能配矿行车项目^[1-8]。

1 总体思路

5G+无人驾驶智能配矿行车项目以5G网络、智能行车技术为基础,实现生产信息与物流信息实时交互,贯通进料、上料、生产、下线、储存、发货等多环节信息流,建立冶炼行业智能行车及冶炼智能物流信息化标准,全面优化物流工艺流程,大幅提升智能行车运行的安全系数和工作效率,为企业安全生产和效益提升提供强劲动力。该项目基于5G网络、自动控制、视频/图像识别等技术,构建了一套行车远程控制及无人化运行服务平台,实现智能自动控制、远程手动操控、就地手动操控3种操作模式,同时配套视频、安全防护等设备及配套专用软件,使工作人员在操作间

即可对行车作业进行管理,实现桥式起重机由人工驾驶转为智能驾驶及无人化的倒料、混料、卸料、散料、上料的高效智能作业。同时还具有远程运维等功能,实现生产过程的全生命周期管理和实时监控。

5G+无人驾驶智能配矿行车项目主要包括智能库房管理(WMS)系统、精矿堆三维形象识别系统、行车驾驶舱操作画面、移动物体(人员与运输车辆)识别、视频监控(作业状况、上料等)、车辆门禁及人员出入管理系统、无人行车控制系统、防摇摆控制等。WMS系统可监控无人行车的全部状态信息,并通过动画建模形式实时显示,WMS系统会根据从MES(Manufacturing Execution System, MES)系统中获取的上料信息,自动下发工作任务至机上PLC,由PLC控制无人行车自动完成工作。无人行车控制系统通过3D扫描系统扫描现场料位数据,实现自动判断料仓物料数据。通过MES系统读取上料圆盘内流量数据,结合现场生产工艺流程,完成自动上料和物料自动倒料^[9-11]。

2 技术方案

2.1 5G网络建设方案

为确保网络安全可靠,采用SA独立组网方式进行5G专网覆盖,1个BBU+4个AAU;部署SPN传输设备,采用物理双路由方式实现传输网络双上行保护机制,保证业务的正常稳定;部署本地核心网元UPF设备,实现数据在本地网络的分流,满足业务低时延、高可靠的传输效果。通过应用5G网络,实现了行车运行控制数据与视频数据的同步性、完整性和实时性,解决

了数据丢包问题,达到全过程信息数据追溯管理。

5G网络主要实现运行指令的接收与反馈、设备状态数据的实时反馈、车载视频监控数据实时传输、

现场看板数据的交换、现场操作终端数据交换、地面视频监控数据实时传输、地面安全管控数据实时交换等功能。5G网络建设方案如图1所示。

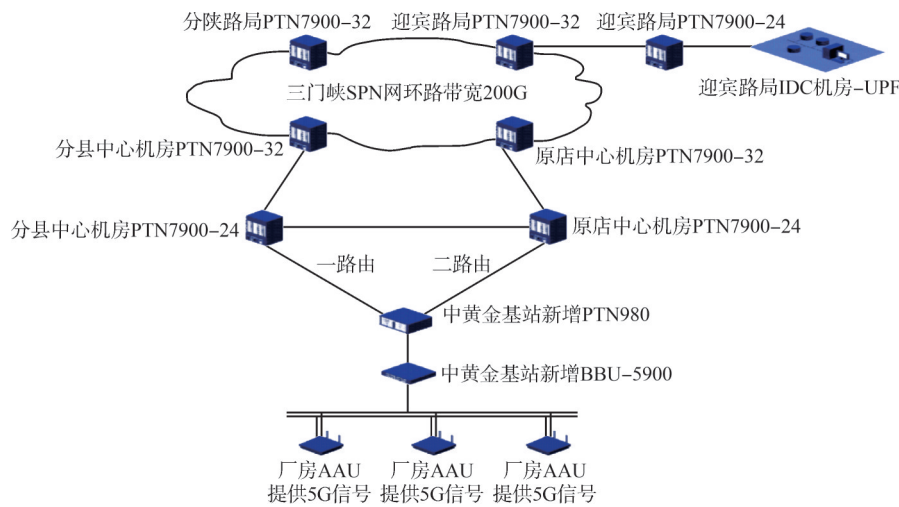


图1 5G网络建设方案

Fig. 1 5G network construction plan

2.2 网络安全建设方案

5G网络SA系统基于5G-AKA和EAP-AKA(五元组鉴权),实现了网络与用户之间的双向认证,通过鉴权的终端可以接入网络,收发数据。5G网络鉴权和加密机制由5G终端/CPE、卡、网络配合完成,使用5G网络数据通道传送数据时,信息传递即可达到5G网络安全级别,保障数据的安全传递和网络的安全运行。

通信网络采用5G、4G互为主备方式,正常情况采用5G专网进行数据传输,5G网络中断时,切换至4G APN方式进行数据传输,确保在紧急情况下,中控室能够通过4G网络发送相关指令。通过4G APN方式可将终端接入专用APN标识的客户内网,并将访问通道与公网隔离,从而确保网络访问的安全性及数据传输的私密性,即数据不出厂区的业务需求。网络安全建设方案如图2所示。

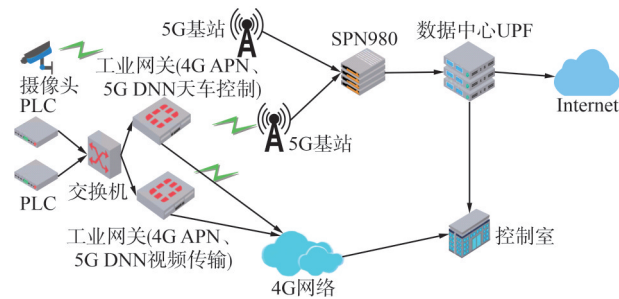


图2 网络安全建设方案

Fig. 2 Network security construction plan

2.3 无人行车建设方案

行车改造部分包括智能库房管理(WMS)系统、无人行车控制系统、车载三维扫描系统、远程控制系

统等。

1)智能库房管理系统。WMS系统是上游系统、无人行车、精矿三维形象识别系统等各种设备配合,使无人行车安全高效完成作业任务的综合性管理系统(如图3所示)。对库区的日常作业进行管理,负责库区的库图管理、接口通讯、人机交互、安全、工单、行车规避、防撞、报表生成、日志查询等任务,以及承担库区运转的所有其他必要功能。

2)无人行车控制系统。该系统是根据WMS系统的工单使行车自动运行,发送精矿工单和工单处理结果信息。主要实现功能包括通信管理、运行模式管理、作业管理、位置控制、速度控制、防摇摆控制、自我诊断控制等^[12-15]。无人行车控制系统如图4所示。

3)车载三维扫描系统。采用激光扫描系统和激光测距仪实现车载的三维扫描,通过激光扫描仪对物料横截面进行轮廓扫描,在扫描仪获取堆积而未获取轮廓的同时,通过编码器获取轮廓位置信息。物料位置信息被传输到工控机处理,最后通过软件算法得出物料三维立体图像。为保证料场全部覆盖且无盲区扫描,在每个区域的其中一台行车上安装一套全自动激光测量系统。

4)远程控制系统。行车远程控制台类似于办公室,得到了“在线视觉”技术系统、实时仓库HMI及L2系统的支持。操作者直接将行车指令与行车PLC连接,使远程控制的安全通讯达到了最高水平。“在线视觉”技术系统为行车提供了较好的视角及连续远程安全监控。此外,“在线视觉”技术系统提供了最佳视野,可检查周边的活动,仓储环境及原料情况。仓库HMI为

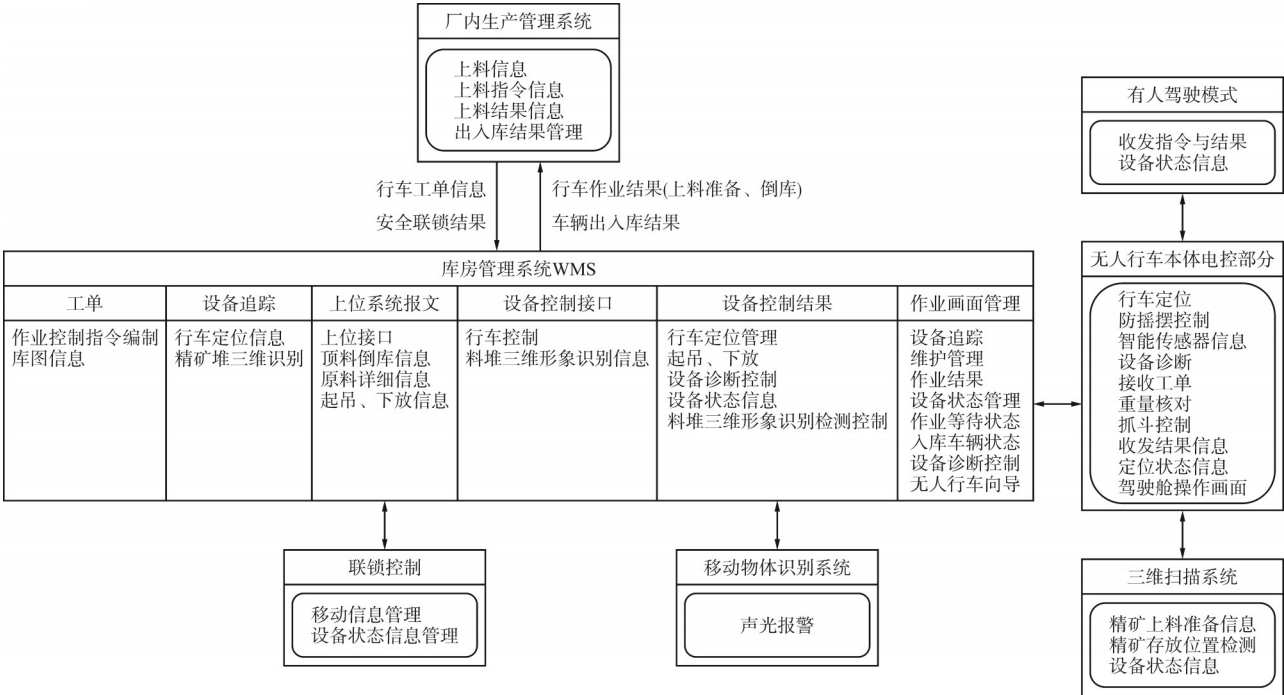


图 3 智能库房管理系统示意图

Fig. 3 Schematic of the smart warehouse management system

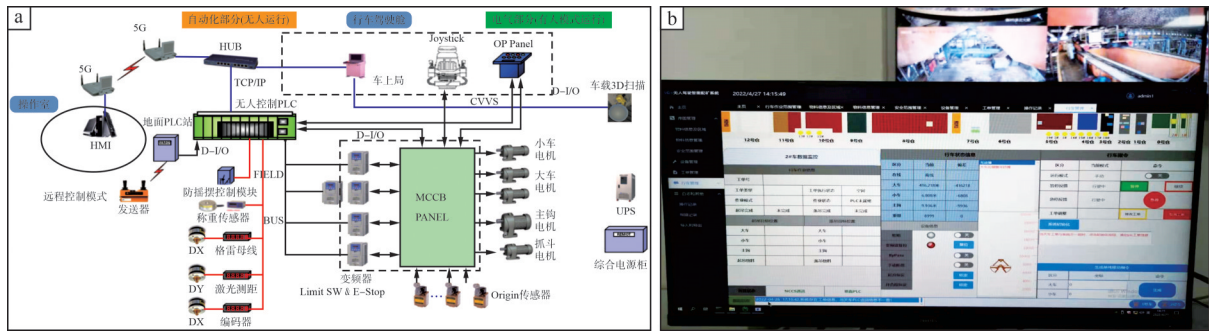


图 4 无人行车控制系统示意图

Fig. 4 Schematic of the unmanned crane control system

行车操作者提供了最舒适的界面,可以很简易地确认行车位置、执行任务、报警状态、任务计划和各接口及设备的状态^[16]。

智能库房与无人行车的应用加上 5G 网络低至 20 ms 的延时,为无人行车控制系统的指令下发和执行提供“零”延迟体验,同时高达 1.2 Gbps 的下载速率,为操作人员提供第一视角的超高清视频,保障了远程操作的精准性。行车操作人员通过库管系统,对库区的日常作业进行管理,可以很容易地确认行车位置、执行任务、报警状态、任务计划和各接口及设备的状态。操作人员通过库管系统下工单的方式,实现行车倒料、混料、卸料、散料、上料的高效智能作业,代替了人工作业,实现了精准配矿,大幅提升无人行车运行的安全系数和工作效率,对有色金属冶炼行业后续工艺的能耗控制有很大帮助^[17]。

3 应用效果

项目运行成功后,每年为该冶炼企业节省了大量的人力和维护成本。通过智能库房的高效分析和运行功能,使行车的作业效率提升 20 % 以上,作业时长降低 70 %,安全事故发生率降低 70 % 以上。

1) 人员成本方面。车间内共 8 台行车,目前改造 2 台行车,改造前每台行车 4 名驾驶员实行 24 h“三班倒”工作模式,若按全额配置 8 台行车需 32 名驾驶员,人工成本约 512 万元/a。全部实现自动化后,8 台行车仅需 16 名驾驶员,每年可节省人员成本 256 万元。

2) 维护成本方面。实现全自动化操作后,行车按库管系统有序行驶作业,可减少行车因人为不规范操作造成的各类损耗,每年可节省约 30 万元行车维护费用。

3) 社会效益方面。为重工业领域行车安全高效

作业做出了积极有效的探索和尝试,5G网络、无人驾驶与库管系统的融合是所有使用行车企业安全、降本增效发展的必然趋势,能有效推动整个产业转型升级。

4 结 语

研究通过应用5G网络,采用SA独立组网方式进行5G专网覆盖,物理双路由方式实现传输网络双上行保护机制,解决了在有色金属冶炼行业配矿料仓内无人行车运行控制数据与视频数据的同步性、完整性和实时性问题,能实现全过程信息数据追溯管理。基于5G网络、3D扫描、机器视觉、自控测距、算法优化、库存管理等技术,实现了有色金属冶炼企业原料工序配矿行车的远程无人驾驶全自动操作模式,改善了天车工的作业环境,提高了该工序的安全系数和作业效率。WMS系统与MES系统的协同应用,使得生产信息实时交互,贯通仓库进料、无人上料、皮带运输等多环节信息流,实现了有色金属冶炼企业多金属复杂配矿作业的精细配矿和智能操控,为后续工序的节能降耗、产品质量的提高作铺垫。

[参 考 文 献]

[1] 邓君.智能无人抓斗吊天车在有色金属行业的应用[J].今日自动化,2022(7):64-66.
[2] 李涛,孙琰,侯建硕,等.人工智能在矿山设备预测性维护中的应用研究[J].黄金,2025,46(1):1-5,19.
[3] 江鹤,程德强,乙夫迪,等.新一代信息技术在智能矿山中的研究

与应用综述[J].工矿自动化,2024,50(11):1-16.
[4] 刘通,但德东,陈大明.5G+智慧矿山应用中的高可靠性保障[J].邮电设计技术,2025(2):83-87.
[5] 袁礼敏.基于5G技术的矿山安全生产信息化平台建设[J].通讯世界,2025,32(1):157-159.
[6] 刘晓兵.智能矿山背景下的煤矿机电设备管理创新[J].能源与节能,2025(3):25-27,31.
[7] 李梅,张鹏鹏,李元琛.AI赋能智能矿山:应用场景及未来展望[J].煤炭经济研究,2025,45(2):161-169.
[8] 谭清述.底侧卸式矿车外动力卸载设施的研究与应用[J].黄金,2024,45(5):25-27,39.
[9] 汪玥芬.矿山无人驾驶技术及发展前景分析[J].黄金,2020,41(3):48-50.
[10] 齐双英,刘东阳.智能抓斗行车关键技术研究与应用[J].矿山机械,2025,53(1):60-63.
[11] 诸华清.尾矿行车无人智能化改造[J].铜业工程,2019(1):63-69.
[12] 高云霞,石逸松.WMS与SAP、MES、SRM的协同设计与实现[J].物流技术与应用,2024,29(7):134-137.
[13] 刘松平,彭媛.无人化智能行车在精矿库的应用和关键技术探究[J].铜业工程,2022(4):94-98.
[14] 李平,郭向华,张亚林,等.我国岩金矿山露天开采的现状[J].黄金,1997,18(7):28-31.
[15] 李晋玲,王戎萌,刘红亮.基于无线通讯的手持HMI在自动化立体库中的应用[J].起重运输机械,2022(3):47-49.
[16] 贾思柔,邓烜堃,谢云.铜矿库无人天车系统的研究与应用[J].制造业自动化,2022,44(8):114-117.
[17] 王响雷.5G时代的智慧物流发展与物流技术变革[J].物流技术与应用,2021,26(6):90-94.

Application of 5G+ unmanned intelligent ore-blending crane in non-ferrous smelting enterprises

Wang Runnian¹, Wang Yonghui²

(1. Henan Zhongyuan Gold Smelter LLC.;

2. School of Applied Engineering, Henan University of Science and Technology)

Abstract: This study focuses on the transformation of a traditional bridge crane in the concentrate warehouse of a gold-copper smelting enterprise into a 5G+ unmanned intelligent ore-blending crane. By integrating 5G technology with a standalone (SA) network architecture and developing automated control and warehouse management systems, the upgraded crane achieves intelligent operation and unmanned capabilities. Post-upgrade results show a 20 % increase in operational efficiency, a 70 % reduction in operational duration, and over 70 % decrease in safety incidents, significantly reducing costs, improving the working environment, and enhancing safety. This initiative provides a pioneering exploration of safe and efficient crane operations in heavy industries, offering a direction for the application of unmanned cranes in non-ferrous smelting enterprises and contributing to safer and more sustainable production practices.

Keywords: 5G network; unmanned driving; crane; non-ferrous smelting; cost-effective; intelligent ore blending; technical upgrade