

工程设备

5G 电机车无人驾驶技术的应用

Application of 5G electric locomotive driverless technology

李洪文(紫金矿业集团股份有限公司, 福建 上杭 364200)

摘要:针对紫金山金铜矿330m主平硐有轨运输系统存在自动化程度低、工作环境相对较差、人员劳动强度大等问题,对井下传统的架线式电机车无人驾驶关键技术进行开发及应用研究,形成以5G、WiFi、光纤多种通信技术为基础,5G高速无线通信及工业环网为传输平台,实现井下架线式电机车运输自动控制、远程遥控控制和人工驾驶三种模式切换的电机车无人驾驶系统,可适应不同条件下生产系统的连续运行,大幅提高了电机车运输效率,有效提升了井下运输本质安全水平,具有较好的推广运用价值。

关键词:5G通信技术;电机车;无人驾驶;智慧矿山

Abstract: Aiming at the problems of low degree of automation, relatively poor working environment and high labor intensity in the rail transportation system of 330m main adit in Zijinshan gold copper mine, this paper studies the development and application of the key technology of unmanned driving of the traditional underground electric locomotive, based on 5G, WiFi and optical fiber communication technologies, 5G high-speed wireless communication and industrial ring network are formed, the unmanned driving system of electric locomotive can realize the switching of three modes: automatic control, remote control and manual driving, it can adapt to continuous operation of production system under different conditions, it greatly improves the efficiency of electric locomotive transportation, effectively improves the level of underground transportation intrinsic safety, and has good application value.

Key words: 5G communication technology; electric locomotive; unmanned driving; smart mine

1 前言

矿业行业是我国国民经济的基础行业,是社会经济发展的命脉。紫金山金铜矿是我国大型金铜矿山,铜矿石开采、运输采用露天开采—高位天井溜矿—平硐电机车运输方式进行,330m平硐采用有轨电机车运输方式从井下运输来自露采溜下的矿石,井下运输轨道总长度6.8km,同时运行电机车11~16台,日矿石运输量3.0~4.5万t。井下运输作业采用手动操作架线式电机车,人工参与程度高、操作要求高,存在自动化程度低、工作环境相对较差、人员劳动强度大等问题。为提升自动化水平、提高生产组织效率、实现人员工作地点由井下转到地面集中控制,2018—2020年,组织开展了井下5G电机车无人驾驶关键技术开发及应用研究。

2 基于5G技术的无人电机车驾驶技术方案

互联网信息技术处于快速发展阶段,带动了移动网络技术的不断改革与进步。5G即第五代移动通信技术,它具有三大技术优势——高速率、低时延、大连接^[1-2]。在设备数量和数据量日益剧增的物联网行业,5G能够更

文章编号:

1672-609X(2021)01-0047-05

中图分类号: TD679

文献标志码: A

作者简介: 李洪文(1981-),男,福建上杭人,高级工程师,从事矿山开采方向研究。

好地满足需求。与5G技术相结合的物联网应用场景丰富,5G将给智慧车联、智慧物流、智慧校园等领域带来很大的影响^[3]。5G高速率、低时延的特点可以为自动驾驶提供更强大、更可靠和更灵活的通信链路,让车辆间的通信减少延迟,通讯延迟由100ms降低至10ms以内,提高了电机车信号及时性、稳定性,提高电机车运行效率,为电机车无人驾驶关键技术提供更高的网络保障。

矿用电机车5G无人驾驶改造方案,以高速

5G无线通信及工业环网为传输平台,以矿用轨道运输监控系统为安全依托,采用井下机车精确定位技术、图像识别处理技术和机车安全运调技术,并结合电机车智能化控制的矿井安全生产运输综合监控系统,可以实现电机车与井下自动放矿物料装载、运卸全过程的无人化驾驶作业^[4-6],降低井下放矿作业、运输作业安全风险,提升了井下日常管理的安全可靠性。电机车无人驾驶系统架构如图1所示。

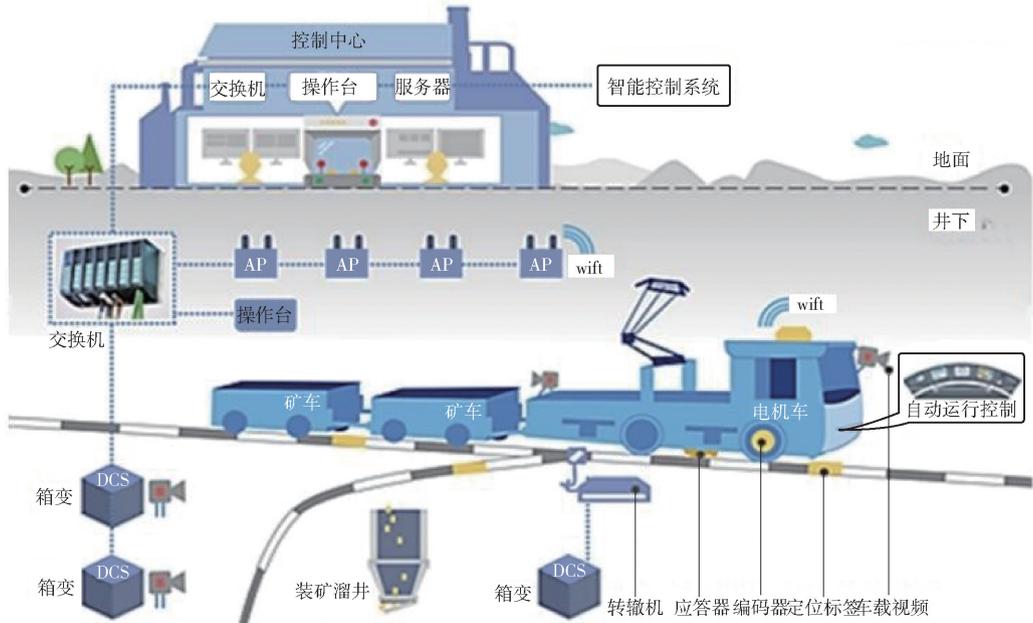


图1 电机车无人驾驶系统整体架构

3 项目技术改造方案

1) 5G无线网络设计和建设方案

采用统一标准的工业以太网网络架构^[7]以及当前国际流行的有线和无线相结合的技术方案,有线基础网络架构基于1000Mb/s光纤以太网而构建,无线网状架构则基于5G+标准WiFi技术,为井下设备的数据传输提供了一个透明的公用平台。基于5G、WiFi、光纤多种通信技术,以5G高速无线通信及工业环网为传输平台,在330m机车运输水平实现无线网络全覆盖。

2) 电机车自动控制改造

为实现电机车自动运行,需要对机车的电气回路、机械回路、自动化系统与电气回路的连接进行改造测试,并安装车载控制系统(无线通讯设备、协议转换设备、测速装置、障碍物检测装置、精确定位设备、机车视频等),并进行牵引系统与机车本体控制融合调试,方可实现电机车的远程自动控制。

3) 通讯方案

在井下设立若干无线AP(基站),通过5G无线网络覆盖井下巷道。保留现有对讲机系统,利用客户端实现电机车与控制中心通讯的功能,并将电机车的视频信号传输给地面主控室,以便操作员能及时了解电机车运行过程中机车周围环境的情况,从而实现井上与井下的无线、有线调度通讯一体化,设备信息监测一体化,综合数据传输一体化。它实现电机车与主控制器的数据交互,实现一人控制多台电机车。通讯网络如图2所示。

本系统以光纤有线网络为骨干,多系统共用主体网络,可以和矿井信息化建设(如远程控制、集中调度、安全检测、人员定位)共用千兆环网交换机和光缆,减少了工程量,节约资金。网络系统由三层网络结构组成,即传输子系统(单模光纤接入网)、无线子系统(巷道无线接入网)及车载子系统。机车通过无线客户端接入AP,AP通过1000M Ethernet

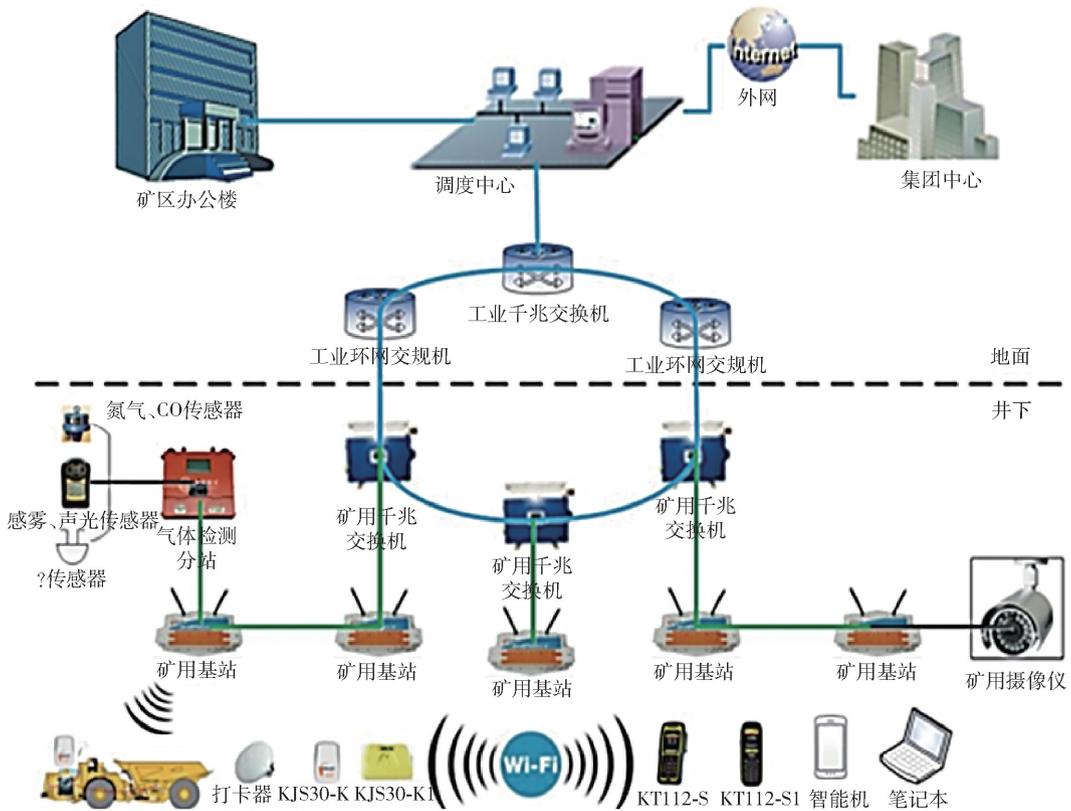


图 2 系统通讯网络示意图

光纤环网接入井下分站交换机,井下分站交换机通过 1000M Ethernet 接入控制中心核心交换机。

4) 信集闭系统改造

将原信集闭系统进行升级改造,充分利用现场原有设备,最大程度减小项目投资,并在原系统基础上现场增加 8 套西门子控制分站,机房增加 1 套西门子控制主站,实现对现场 21 台转辙机和信号灯的远程控制。系统具有全程跟踪、自动开放信号、转动道岔、检测道路,实现自动调度,指挥列车安全运行,信号灯或虚拟信号灯的开放与关闭不得依赖于管理规定,应有严格的技术实现措施,且符合故障导向安全原则。

5) 精准定位设计

将所有巷道路径做出系统规划,确定每一条路的起始区间。电机车在运行过程中,中央控制单元对矿车上安装的从动测速编码器数据进行读取,然后再对其进行积分运算,计算出位移累加值,进而能够实时确定电机车在路段上的具体位置,采用矿车从动测速的方式消除了因机车头打滑产生的位置累计错误。同时运用射频识别 RFID 技术,巷道内放置多处 RFID 标签,每一个标签都具有唯一的 ID 号,电机车上安装标签扫描设备,该设备将扫描到的

标签 ID 号实时传递给电机车无人驾驶控制系统,系统将所有布置在巷道内的标签与标签所在的位置信息进行关联,以便电机车经过标签时进行位置修正,确保累积误差在合理范围内,进一步增强了机车定位的准确性。

机车的精准定位与井下自动放矿系统有机联动,机车通过精准定位系统和红外线识别系统,将无人机车的每节车厢定位至自动放矿口下方,通过车厢物料高度定位监控,实现自动放矿的精准控制,机车无人驾驶精准定位与自动放矿系统的配合,实现井下放矿与机车运输的自动化运转的高度结合。

4 项目技术改造安全要求

1) 人员定位系统

使用人员标识卡及矿用手机,利用无线网络,通过软件实现人员的和设备的实时跟踪,以查看人员、设备、车辆等的实时运动轨迹,以及人员的日、月、季度考勤和报表等。定位系统支持与数字化矿山信息平台的无缝对接,支持 API 函数,Excel 文件输出等各种定位信息共享技术,为矿山的信息二次开发和高效管理提供数据基础。定位系统支持对每一块定位卡的电量进行实时监测,当电池电量低于安全值

时,系统将自动提示更换电池等信息,保证定位卡长期处于有效状态。

2) 远程放矿系统

溜井远程遥控装矿系统包括远程操作台部分、装矿站现场控制部分、溜井视频监控部分。远程操作台安装于地表控制中心,每套遥控操作台设置一套操作装置,实现远程手动遥控装矿。无人机车车厢精准定位后,远程自动放矿系统开启放矿模式,机车车厢矿石物料高度控制每节车厢的放矿数量,无人机车运输系统与远程放矿系统高度兼容统一。

3) 控制中心建设

在运输车间建设搭建了中央控制室进行远程遥控。控制室包括调度操作系统、放矿控制系统、电机车控制系统等。针对轨道自动控制系统、电机车安全运输生产等运输关键生产环节应用传感、遥控、网络、数据库等技术进行设计创新,实现控制中心对整个系统的监控功能。使用成熟、先进的工业控制硬件及软件,实现地面远程遥控生产,将井下放矿工、电机车司机等操作人员的工作位置由井下移动到地面并合二为一,提高本质安全水平、改善井下作业环境,最大限度减少井下作业人员数量。本着安全和生产并重的总体原则对地下采矿运输系统进行模式创新,实现井下数字化采矿运输,以最优行驶路线及成本效益核算方法对电机车进行优化调度运行,显著提高了铁路线路的利用率、容量及安全性。

5 项目建设效果

紫金山金铜矿井下电机车无人驾驶项目,是基于人工智能技术,面向井下低照度、潮湿环境、作业调度频繁等复杂条件下的矿用机车无人驾驶系统。该系统的成功应用对提高矿山“三化”建设水平、提升矿山本质安全、提高生产效率及降低生产成本等方面具有重要现实意义。

1) 实现电机车无人驾驶,有效提升本质安全水平

2019年6月份井下无人驾驶运行至今13个多月来,累计运输矿量超过960万t,系统稳定安全运行,未发生一起井下安全生产事故;同时电机车无人驾驶和远程监控自动放矿技术相结合,实现了人员工作由井下到地面中控室的转换,工作环境明显改善,员工患尘肺病、听力损伤等职业病几率大幅减少,员工工作热情明显提升,井下事故造成人员伤害的风险大幅降低。

2) 促进运行效率提升,显著降低人工成本

根据330m主平硐电机车无人驾驶运输系统应用运行情况,目前在用电机车16台,每台机车1人驾驶,每班1人实现远程搬道岔、8人溜井放矿,车间人员减少25%,人工费节省23%,人均运输矿量增加18%,吨矿运输人均费用降低2.2%,大幅提高了运行效率,降低了运输人工成本。

3) 提高自动化水平,提升矿山经济效益

电机车无人驾驶运输系统的投入使用,大大提高了自动化水平。根据投资和运营成本测算,运输车间年经营成本(人工成本)减少260万元,年折旧增加110万元,年增净利润450万元;按照含税1010万元投资,折旧期8年测算,无人电机车项目净现值405万元,投资回收期2.5年,内部收益率36%,提高了矿山经济效益。无人驾驶系统控制页面如图3所示。

6 结论

5G电机车无人驾驶,以5G、WIFI、光纤多种通信技术为基础,5G高速无线通信及工业环网为传输平台,在330m机车运输水平实现无线网络全覆盖;对信集闭系统和远程放矿系统进行升级改造;对电机车进行无人驾驶改造安装远程控制系统、视频监控、定位系统、防碰撞系统、防脱节检测系统、掉道检测系统等;地面控制室安装机车远程操作台和监视系统;地面与井下设备间采用光缆及电缆连接,实现井下铁路运输自动控制、远程遥控控制、人工驾驶三种模式切换,即电机车远程遥控或无人驾驶和装矿、卸矿远程控制,以适应不同条件下生产系统的连续运行,实现自动配矿。同时改善了作业环境,降低了人员伤害风险,提升了本质安全水平,保障生产的安全高效。该系统在井下复杂条件环境下,针对不同矿石品位、不同溜井以及卸矿站地点的不同的变化,实现11台无人机车同时有序开展运输,日运输矿量4万t以上,系国内最复杂、电机车数最多、运输矿量最大电机车无人驾驶系统,具有较好的推广运用价值。

[参考文献]

- [1] 张朝阳,李星宏. 5G在无人驾驶汽车中的应用前景分析[J]. 无人系统技术,2019,2(2):65-68.
- [2] 尹训俊,郭晓林. 基于5G通信技术下的汽车无人驾驶技术探讨[J]. 汽车实用技术,2020,315(12):15-17.
- [3] 郑梅. 5G无线通信技术概念及在冶金工程中的应用分析[J]. 冶金管理,2020,399(13):107-108.

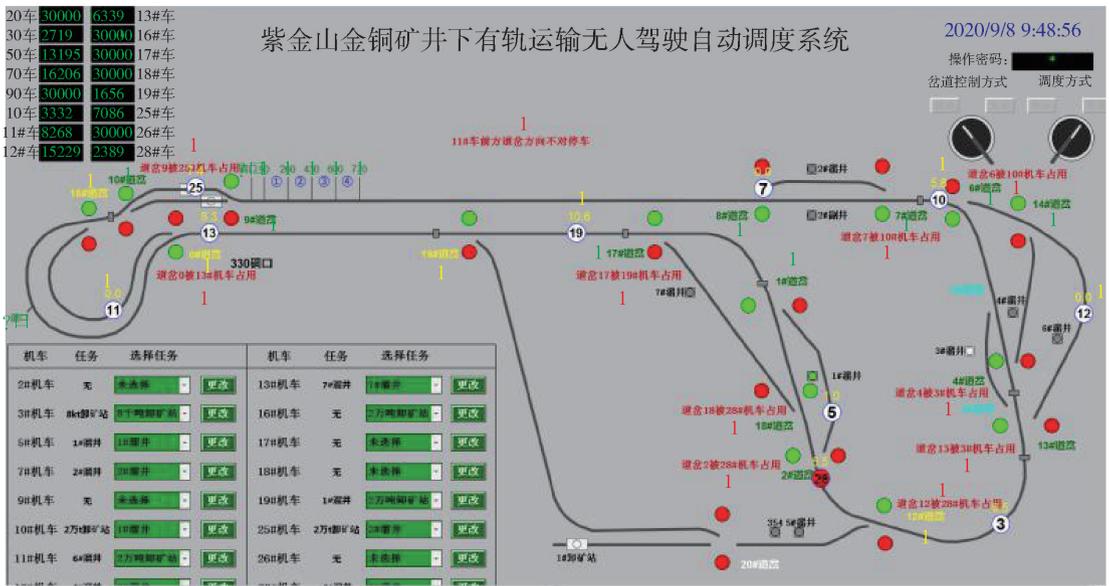


图3 电机车无人驾驶系统控制页面

- [4] 康陈,郝大雨,王晓燕,等. 露天矿山智能网联自动驾驶场景与技术研究[J]. 信息通信技术与政策, 2020, 314(8):52-58.
- [5] 刘海,葛启发,张维国,等. 高海拔矿井长距离无人驾驶电机车运输方案研究[J]. 有色设备, 2019, 190(5): 9-12, 29.
- [6] 张毅力,汪令辉,黄寿元. 地下矿无人驾驶电机车运输关键技术方案研究[J]. 金属矿山, 2013, 443(5): 117-120.
- [7] 李竹年. 矿井无人驾驶电机车系统升级改造[J]. 煤矿机电, 2017, 223(6): 33-35.

(上接第43页)

楔,确保邻近的两排撞楔间有 1.0m 重叠距离,相邻的两排撞楔成交叉布置,以此类推布置撞楔直至采面推进过 X₃陷落柱,具体工作面内注浆钻孔、撞楔布置如图 1 所示。

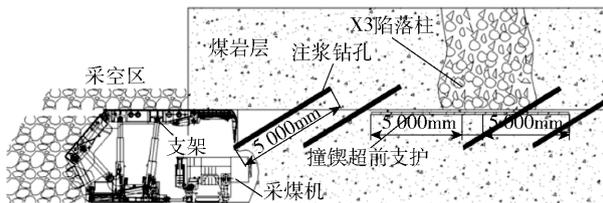


图1 工作面内注浆钻孔、撞楔布置示意图

5 结论

- (1) 在 1606 工作面过 X₃陷落柱期间工作面推进速度保持在 4.5m/d 以上,较平时推进提高 1.3m/d,通过提高工作面推进速度有效降低顶板破碎岩层对工作面生产影响。
- (2) 矿井 1606 综采工作面在过陷落柱期间采

取以注浆加固、布置撞楔、带压移架等为核心的顶板管理措施后,在推进过陷落柱期间未出现顶板冒落、煤壁片帮等安全问题,实现了工作面安全回采。

(3) 工作面采用提出的过陷落柱技术措施较传统的跳采方式可多回采煤炭约 5 万 t,有效提升了采面煤炭采收率及矿井经济效益,取得显著应用成果。

[参考文献]

- [1] 丁立东. 综采工作面过陷落柱的安全技术措施[J]. 石化技术, 2020, 27(3): 300.
- [2] 石志勇. 综采工作面过陷落柱开采方法及安全措施分析[J]. 能源与节能, 2020(3): 44-45.
- [3] 任鹏. 采煤工作面过陷落柱支护技术研究[J]. 自动化应用, 2019(8): 107-108.
- [4] 智启中. 综采工作面过陷落柱安全技术措施分析[J]. 江西煤炭科技, 2019(1): 66-68.
- [5] 高成波,余杰,邹海军,等. 采煤工作面过陷落柱支护体系研究[J]. 煤炭科技, 2017(2): 82-84.
- [6] 王二晋. 综采工作面过陷落柱施工方法研究[J]. 机械管理开发, 2016, 31(6): 87-89.