

无人化智能装备在大尹格庄金矿的应用

陆宇超, 张君鹏, 于 涛

(招金矿业股份有限公司, 山东 招远 265400)

[摘 要] 随着矿产资源的不断开采, 采矿条件愈来愈恶劣, 地下采矿的诸多不安全因素是人们关注的焦点问题。信息技术的发展引起采矿自动化技术的不断变革, 设备的自动化、智能化发展有望解决这一问题。本文结合矿山实际情况介绍了无人化智能装备在大尹格庄金矿中的应用, 包括矿山无人电机车运输和超视距遥控铲运机的功能和应用效果。无人设备可提高生产效率减少人力成本及安全隐患, 提高生产效率, 具有广泛的市场前景。

[关键词] 无人化智能装备; 无人电机车运输系统; 超视距遥控铲运机

[中图分类号] TD67 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2021)04-0015-06

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.04.004

0 引言

采矿业构成了国民经济的重要组成部分。目前国内矿山开采相对落后, 主要表现在工作环境恶劣, 技术装备落后、操作人员较多、生产效率低下等。地下采矿由于其诸多不安全因素, 多年来一直是关注的焦点, 随着对矿产资源需求的扩大, 特别是地层深度增加, 采矿条件愈来愈恶劣, 对人员的健康与安全威胁也愈来愈大。一些特殊矿山处于高海拔、超深度, 工作危险性大, 工作环境恶劣, 生产现场存在高温高湿、涌水、塌方等危害。另一方面, 随着社会的发展和人们生活水平的提高, 人工成本在采矿成本中占的比例也不断增大, 且人们对工作环境的要求也不断提高, 对矿石生产能力、效率和安全性也提出了更高的要求^[1]。

随着信息技术的发展, 以计算机、自动化、人工智能为代表的信息技术渗透到采矿行业, 引起采矿自动化技术的不断变革。通过对相关设备的自动化、智能化的研究、升级, 提高采矿工作效率, 减少井下生产、运输一线的用人数量, 逐步实现无人化开采、运输成为矿山领域发展的新方向。

未来借助国内以人工智能及大数据技术为代表的信息化技术发展浪潮, 我国无人驾驶地下铲运机及其他无人设备存在弯道超车的可能性, 在自动化的基础上, 进一步实现地下矿山智能采矿。招金矿业股份有限公司加快科技创新工作, 围绕行业共性技术难题、企业发展科技攻关重点以及未来公司发展的前瞻性课题研究, 确定了十一项重点攻关课题, 致力于建设本质化安全矿山, 开展采矿、运输自动化技术研究与应用, 实现采矿、运输智能控制, 旨在减少井下作业人员, 提高生产效率^[1]。

1 无人电机车运输系统

1.1 车载控制系统

(1) 车载控制系统能准确接收光电传感器反馈信号并实现对机车行车状态的判断以及数据处理, 依据信号反馈准确对机车进行点位停车与终端保护; 通过 RFID 读卡器读取巷道信标, 对信标编号进行逻辑处理, 能够实现机车区间定位与自动驾驶区间定速。

(2) 通过车载无线网络服务端与巷道 AP 基站进行无线通讯, 巷道基站经交换机与控制中心联通, 进而完成机车与控制中心监控计算机的数据交互, 可在上位机实时监测机车行车状态, 通过获取的行车数据依据计算公式完成对机车位置的实时跟踪, 实现了机车定位功能。

(3) 通过工业以太网通讯完成了主控制器与车载控制器的数据交互, 获取了机车的行车状态与参

[收稿日期] 2020-12-02

[作者简介] 陆宇超(1996-), 男, 山东潍坊人, 工程师, 大学本科, 主要从事采矿工程与技术等工作。

[引用格式] 陆宇超, 张君鹏, 于涛. 无人化智能装备在大尹格庄金矿的应用[J]. 有色设备, 2021, 35(4): 15-20.

数后,经机车的实时反馈信号,结合主控制器的控制逻辑与公式计算,实现控制中心远程下发控制命令至机车车载控制器,车载控制器接收信号后同样判断当前行车状态将信号下发至车体执行机构,进而实现了对机车的前进、后退、加速、减速和刹车等自动控制。

(4)采用增量式编码器捕捉脉冲信号,通过控制器高速计数通道采集脉冲信号,依据公式算法测算电机转速与行车速度,并上传至控制中心人机交互界面。

(5)通过霍尔元件测量电机的电流、直流母线电压、功率等参数,并上传至控制中心人机交互界面,如图1所示。



图1 电机车运行参数显示

1.2 通信系统

网络通讯系统以 TCP/IP 网络协议和 IEEE 802.11b/g/n 无线通讯协议为基础,网络结构将工业以太环网做为骨干,以无线网络为延伸。网络通讯系统硬件由千兆环网交换机、无线 AP 基站、Client 无线通信终端、单模铠装光纤和超五类网线组成^[3]。

在巷道内布置 AP 基站,实现无线信号覆盖整个巷道区域,同时在电机车上面安装 Client 无线通信终端,与巷道内 AP 基站建立无线连接。根据工业以太环网搭建方式在巷道内布置千兆环网交换机,敷设单模铠装光纤将巷道内的千兆交换机环在一起,形成有线网络。巷道 AP 基站通过有线网络在控制室和电机车控制器之间建立稳定可靠的数据通讯链路。

巷道内采用定向天线的方式实现无线信号覆盖,定向天线根据巷道现场无线信号强度对各个无线连接节点的位置进行调整,使相邻无线 AP 基站的信号覆盖区域适度重叠。电机车采用定向天线和全向天线相结合的方式实现与巷道内所覆盖

的无线信号相连接。电机车车头安装全向天线,车尾安装定向天线,分别向前后方向收发无线信号。

无线基站的参数配置通过网络管理软件进行参数配置,以满足网络通讯系统的正常通讯与实时状态监测。

1.3 主控制系统

(1) 系统结构

本系统选用了西门子 S7-1515 PLC,配备了标准以太网口,实现与车载控制器、控制计算机的数据交互,同时配备多个控制分站,可实现对机车控制的远程调度与操控。

(2) 硬件部分

控制硐室设置研华工控机 3 台、操作台 3 面、控制柜 2 面、网络机柜 1 面、UPS 电源 1 台,已全部安装到位,运行正常、稳定可靠;

在井上集控室设置 2 个操作机位,研华工控机 2 台、操作台 1 面、控制柜 1 面、UPS 电源 1 台,已全部安装到位,运行正常、稳定可靠。

(3) 软件部分

对人员的操作进行处理,形成有效的操作命令,并在屏幕上给出相应的表示,以便值班人员确认自己的操作;或及时发现错误操作,采取纠正措施。

上位机画面中给出了系统远程手动操作步骤,操作人员可通过观察操作步骤进行顺序操作,当操作不当时,可观察到目前操作步骤停留在哪一环节,并给出下一步正确操作提示。

上位机画面中添加了机车状态指示与参数显示,同时采集了巷道控制设备(红绿灯、护栏、转辙机、液压挡板与振打电机)的当前状态,操作人员可以直观的看到现场各个设备的运行状态与参数显示,如图2所示。



图2 上位机界面图

(4) 连锁功能

当系统设备或其他控制链路出现故障时,上位机界面将出现特殊窗口弹窗,提示操作人员及时处理应急故障,并给出对应问题的解决方法与措施。

已完成了对巷道控制设备的连锁控制,包括自动连锁、远程手动操控与就地操控;当机车即将驶入十字路口或道岔控制范围时,主控制器将根据反馈信号控制转辙机、护栏、声光报警器及虚拟影像投影动作,完成道岔切换与警示设备的动作连锁。

(5) 执行控制功能

通过控制中心主控制器与巷道内分布的控制分站,依据工业以太网通讯协议,可在控制中心远程发送控制命令至控制分站,分站接受命令后驱动现场转辙机、红绿灯等设备进行相应动作与状态转换^[4]。

(6) 检测与诊断功能

通过控制分站采集现场设备工作状态,并将信号通过以太网通讯协议传输至控制中心人机交互界面,操作人员可以实时查看现场各个设备的工作状态。同时也为控制系统的设备连锁提供逻辑判断支持。

系统可进行故障报警与故障诊断,当现场设备或机车出现故障时,人机交互界面将会提示报警弹窗,并提示报警信息,便于操作人员及时处理故障问题。

(7) 其他功能

①转辙机与机车自动运行的控制连锁,当机车即将驶入岔路时,系统将发送控制命令至转辙机执行机构,切换道岔。

②可以通过控制中心操作平台远程切换机车调度模式,可选择手动和自动,同时完成了机车远程手动放矿,操作台除控制机车运行外,也可以控制溜矿井液压挡板与振打电机的启停动作。机车自主运行更是体现了全自动无人驾驶,巷道内所有设备自动连锁控制,包括机车自动装矿、运行、采样和卸矿等。

③在十字路口等特殊路段,完成了机车与安全警示设备的自动连锁控制,机车即将驶入十字路口时,主控制器接受机车反馈信号同时下发控制命令至警示设备执行机构,完成设备联动,声光报警器播报语音并显示文字,转辙机自动切换,红绿灯切换状态警示过往行人与车辆。

④调度中心可以采集到机车的行车状态与巷道

设备状态,并将反馈信息显示至操作台指示灯,提示操作人员当前行车状态与设备的工作状态。

⑤将巷道连锁设备的各个状态信号显示至人机交互界面并形成动画,更直观的显示设备运行状态。井下与地表分别配备的操作台,可通过控制位置授权实现地表超视距远程操控机车运行,如图3所示。



图3 调度中心操作台与人机交互界面

1.4 定位系统

通过多重组合定位方式实现了对机车位置的实时检测与精确定位,依据编码器测算机车行车距离,实时掌握机车动向,并将机车的运行位置以比例的方式绘图在人机交互界面形象显示,方便操作人员实时监视;通过RFID读卡器读取信标位置,掌握机车区间位置,进而实现后续的区间定速功能;特殊点位的位置停车与极限位置定位保护,保证系统的可靠运行。

1.5 视频监控系统

通过有线、WIFI网络直接与光纤环网连接。视频信息发送至监控室的视频监控计算机进行显示。视频系统前端由15台200万高清网络枪机、半球组成,中心设备为32路NVR,品牌为Honeywell。目前9只巷道内枪机、4只车载枪机、2只半球已全部安装到位,管理软件中清晰显示巷道内各个区域以及机车前后的视频监控图像。

1.6 避障急停

车载雷达能扫描机车前方区域,定义监视角度与预警区域划分。当机车前方出现障碍物时,雷达自动发出预警信息,机车执行减速、刹车指令。当障碍物移除后,雷达预警信息消除,机车继续自动行驶。

在机车正常装矿运行过程中,测试人员站在十字路口或其他直巷道位置,机车能够自动减速停车,停车位置距离人员3m以上。经多次测试,雷达避障急停功能均稳定可靠,可保障巷道运输安全,防止事故发生,如图4所示。

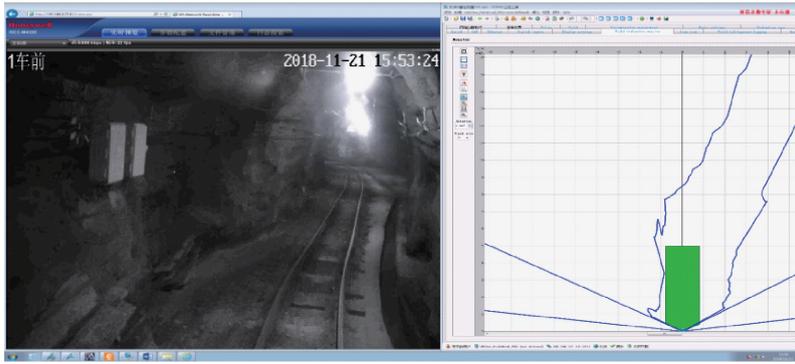


图4 雷达扫描区域

1.7 视频图像分析

视频图像分析通过高清摄像机对矿车料位图像实时反馈至控制系统,运用计算机视觉分析技术,经

过图像分析矿料大块并及时报警,防止出现事故;经过数据处理,计算出矿车料位、矿料流量,实现自动放矿控制,如图5所示。



图5 视频图像分析界面超额完成内容

1.8 报表系统

将机车的行车过程中需要监视的数据进行了数据归档,并开发了行车记录功能,可查询和导出机车运行过程中的各类数据,包括实时运行记录(如图6所示)、故障记录、运载过程记录(如图7所示)、各阶段耗时记录与报表查询(如图8所示)。

1.9 自主运行

机车调度模式中新增自主调度模式,通过远程操作面板结合上位机系统,实现机车全自主运行模式,只需要给定作业任务,井下电机车无人驾驶系统即可自主判断机车状态、根据路线区域行车速度自适应,自主装载、运行、卸载,以及遭遇障碍时的自主



图6 实时行车记录与故障查询记录

图7 运载过程记录与报表查询

图8 阶段用时查询与数据导出

刹车停车,实现井下电机车矿石轨道运输的全自主模式。

监测电机车在轨运行姿态,通过仰角与水平方向角度做出数据分析,当电机车出现脱轨或其他异常情况时,数据将会急剧波动,人机界面将会弹出报警提示,通过报警控制系统可以紧急应急措施,机车急停,受电弓降弓,鸣笛并在控制室进行报警,工作人员进行排除故障。同时通过算法保证测量精度,同时运用非线性补偿与漂移补偿等补偿手段,消除因异常干扰产生的数据误差,实现动态倾角检测。

2 超视距遥控铲运机

2.1 操作平台

保留之前手动驾驶的所有功能,不改变原车的操作习惯和功能;同时具有遥控功能,可以使用遥控器进行远距离的控制,具体可操控的。

2.2 车载控制系统

整车通过并联电磁阀控制通过智能控制器,嵌入式程序实现手柄信息的智能化处理通过算法代码将手柄动作转化为控制逻辑从而驱动电磁阀进行车辆动作改动。

2.3 导向系统

导向系统由激光扫描仪、车载激光扫描仪数据

采集分析处理器、角度传感器、速度传感器、巷道实时导航显示软件、车载自主导向算法及处理软件等模块组成。

在铲运机的铰接处前、后方向各安装一个激光扫描仪,安装时保证扫描仪处于车辆横向中心的位置,在铲运机行走时的视线(270度视角)不能被车身阻挡。激光扫描仪扫描到的巷道数据,经车载激光扫描仪数据采集分析处理器处理后,传输给嵌入式车载核心控制器,结合采集的角度和速度值,通过导向算法软件输出运算结果控制车辆自主导向行走,同时做碰撞检测和预警判断;通过网络传送到智能遥控操作平台的嵌入式核心处理器,通过巷道实时导航显示软件处理后在显示屏上动态呈现。

在自主导向模式下,前方有路口需要转向的,在距离路口不小于6m之前,拨动转向手柄,给出转向指令,铲运机即可通过自主导向算法实现自动转向。

2.4 实时视频系统

为了实现设备的智能遥控,车载视频系统包括矿用高清红外摄像机、激光扫描仪、高性能无线网桥以及视频处理显示软件等。

一般在铲运机的铰接处前、后方向各安装一个高清红外摄像机(高清红外摄像机数量可根据购买方要求进行增减)和一个激光扫描仪,安装时一定

要保证在铲运机工作时摄像机的视线不能被车身阻挡及激光扫描仪在中心上且不能偏移,且能清晰的拍摄到铲运机前后工作区域。摄像机和激光仪将视频数据及扫描到的巷道数据传到智能遥控操作平台的视频监视器,通过视频处理显示软件处理后上传到显示屏上进行显示。

该摄像机和激光扫描仪通过中控箱输出 12 V 电源进行供电。摄像头正常启动时,红色指示灯亮。激光扫描仪正常启动时,电源指示灯亮。

2.5 通讯系统

通信系统提供了遥控操作平台与车载设备之间通信的环境,包括操作平台对设备的控制通信、设备状态信息上传到操作平台状态监视器的通信、视频系统、激光扫描系统上传到操作平台视频监视器的通信。

系统基于 2.4 G 的 WIFI 网络,通讯系统经由控制室的 AC 将信号传输到巷道中矿用交换机,矿用交换机和 AP(基站)通信之后将信号转换为无线信号,进而和车载无线网桥进行通信。

天线的布置原则为车辆运行轨迹所出的巷道内的无线信号全覆盖,设备根据掘进巷道的长度,增加基站的数量来达到无线网络的覆盖。

3 应用效果

3.1 无人电机车运输系统

井下电机车无人驾驶系统在大尹格庄金矿-290 巷道运行一年多以来,取得了良好的效果,主要体现在提高运输效率与运输能力、减少井下操作人员数量等方面。无人电机车的放矿、运行、卸矿在计算机控制系统的指令下自动完成,使整个工作过程更为流畅,减少因人为因素导致的机车低效运行。在生产效率方面,一列一趟机车自动运行运输时间由原来的 41 min 减少为 32 min,运输效率提升 21.95%。一列机车每班运输矿量由原来的 421 t 提升至 515 t,每班可多运输矿量 94 t,每年多运输矿量 9 400 t,运输能力增加 22.3%。在人员数量方面,一列机车运输岗位操作人员由之前每班次 4 人减少为 1 人,实现选矿生产劳动效

率提高 75.0%。

3.2 超视距遥控铲运机

本项目通过对铲运机设备的自动化、智能化研究和升级,提高了矿石铲运工作效率,减少井下生产一线的用人数量,改善操作人员工作环境,降低了职业病发生率。在安全与健康生产方面,最大程度上减少用人数量,解决矿井巷道运输的安全问题;降低人员暴露在井下恶劣环境中的时间,改善工作环境。在人员体系方面,本项目的实施促进技术人才的培养,实现技术积累,提高企业职工技术队伍的知识水平,提高工人的技术素质,改善队伍结构。在节能减排方面,本项目能够降低生产能耗,深度挖掘现有矿山的难开采资源,实现增产增效^[5]。

4 结论

无人化智能装备的应用一方面改善了作业环境,提高了操作人员工作的安全性,保障了企业的生产安全,提升了企业的竞争力;另一方面无人化智能装备具有更高的生产效率,降低单位产出的平均能耗,节能减排、降低生产能耗。该项目符合国家科技发展规划和政策导向,是矿山安全生产的必然要求,是科技发展的必然之路,将该技术在大尹格庄金矿推广运用,对推进整个金矿产业可持续健康发展,具有重要意义。

[参考文献]

- [1] 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(5):9-12,29.
- [2] 武学宏.矿井机车无人驾驶系统的研究[J].山东煤炭科技,2019(8):213-214,217.
- [3] 王迷军,姜世娇.矿井无人电机车无线通信系统设计[J].中国新通信,2018,20(24):2-3.
- [4] 赵家泽.地下遥控铲运机的行驶智能控制策略[J].建材与装饰,2019(23):237-238.
- [5] 王亚东,田立勇,李胜,等.一种井下铲运机无线遥控系统[J].金属矿山,2018(3):142-145.

(下转第 38 页)

酸度为 0.5 mol/L, 初始 Cu^{2+} 浓度 5 g/L 左右;

(3) 浸出液中铁主要以 Fe^{2+} 存在, 浸出液继续通氯气氧化电位升至 630 mv 时, Fe^{3+} 含量可达 96% 以上, 此时溶液电位迅速上升。

[参考文献]

[1] 何焕华, 蔡乔方. 中国镍钴冶金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.

[2] 彭荣秋. 镍冶金[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005.

[3] 沈明伟, 冀成庆, 朱昌洛, 等. 低冰镍氧压水浸试验研究[J]. 云南冶金, 2012, 41(3): 32-34.

[4] 尹飞, 王振文, 王成彦, 等. 低冰镍加压酸浸工艺研究[J]. 矿冶, 2009, 18(4): 35-37.

[5] 刘时杰. 铂族金属矿冶学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001.

Experimental Study on Chlorination Leaching of Low-nickel Matte

GUO Jin-quan, CHEN Cai-xia, ZHANG Han, LI Quan, XI Hai-long, MA Tian-fei, SU Jun-min

Abstract: An experimental study is carried out for the chlorination leaching of low-nickel matte. The effect of initial acidity, potential and initial copper ion concentration on the leaching rate of Ni, Cu, Co and precious metal elements in the low-nickel matte is studied. The results show that under such leaching conditions as initial H^+ concentration 0.5 mol/L, initial Cu^{2+} concentration 5 g/L, leaching potential 450 ~ 460 mV and leaching duration 2 h, the leaching rate of Ni, Cu, Fe and Co can reach above 98%, Ag leaching rate is more than 95% and Au leaching rate is appr. 5%; no Pt and Pd are leached out.

Key words: low-nickel matte; chlorine; leaching



(上接第 20 页)

Application of Unmanned Intelligent Equipment in Dayin'gezhuang Gold Deposit

LU Yu-chao, ZHANG Jun-peng, YU Tao

Abstract: The constant exploitation of mineral resources has aggravated mining conditions and brought various unsafe factors in underground mining to the focus of attention. With the development of information technology, mining automation technology is changing constantly. The automation and intelligent development of equipment is expected to tackle this problem. In this paper, the application of unmanned intelligent equipment in Dayin'gezhuang gold deposit is introduced based on the actual condition of the deposit, including the functions and application effects of unmanned electric locomotive haulage system and beyond visual range remote control load-haul-dump. Unmanned equipment can improve production efficiency and reduce labor costs and safety hazards, thus boasting a broad market prospect.

Key words: unmanned intelligent equipment; unmanned electric locomotive haulage system; beyond visual range remote control load-haul-dump

