

基于 PLC 控制的矿山无人智能运矿机器人的设计

负二伟¹, 郭青², 韩登甲², 张文鹏², 金万鹏², 李小双³

(1. 金川集团股份有限公司 如瓦西矿业公司穆松尼项目部 刚果(金);

2. 金川集团股份有限公司 三矿区, 甘肃 金昌 737100;

3. 金川集团股份有限公司 建设工程分公司, 甘肃 金昌 737100)

[摘要] 随着我国经济发展的稳中向好建设智慧矿山, 大力发展矿山信息化和智能化, 已经成为矿山企业发展的趋势。本文介绍了一种基于 PLC(可编程控制器)控制的矿山智能运矿机器人的设计方案。详细介绍了适用于金川矿山 36 行措施井的智能运矿机器人软件、硬件组合, 电气控制原理及智能运矿机器人工作流程, 给出了基于 PLC 控制的矿山智能运矿机器人的总体设计方案。

[关键词] 数字化矿山; 无人驾驶; 机器人; PLC

[中图分类号] TD40 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)05-0039-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.05.007

0 引言

金川矿山 36 行措施井主要承担着 F17 以西井下 1 400 矿石的提升任务, 矿石提升至地表后需人工推矿车至机械翻笼处, 翻至地表堆场, 矿车拉运至地表破碎, 破碎机破碎后由平硐拉运到选矿厂进行下一步处理; 地表推、翻矿车需要人工操作, 人员劳动强度大, 同时随着矿山智能化水平发展, 智能化设备在矿山中起到十分重要的作用; 现如今的人员操作早已满足不了现代化矿山的建设需求, 为此, 本文设计了一种基于 PLC 控制的矿山智能化运矿机器人的操作系统, 该系统操作简单, 动作可靠, 提高了矿山提升系统运矿效率。

1 设计方案

智能运矿系统主要由操作台、工控机、PLC 控制系统、交换机、无线基站、智能小车、定位点、阻车器、

道岔及各类保护等设备构成。

在翻车机旁绞车房建设控制中心, 配置操作台、工控机、交换机等设备。实时显示智能推拉小车、矿车阻车器、道岔等设备的工作状态。操作台主要用于系统模式选择、工况选择等系统操作。

系统采用基于 WIFI6 组网的 TCP 网络通讯。在 1#翻车机处及罐笼进车侧附近各设立一台全向 AP 组网, 1#翻车机处 AP 直接与集控台网线连接。两台智能推拉小车上各安装一台客户端, 通过无线网络与集控台实时通讯。

新采购两台智能推拉小车, 可遥控或自动控制实现推拉小车的启动、调速、制动、摘挂钩等功能。智能推拉小车前后端均安装有摄像头、超声波传感器和红外传感器, 用于在车辆运行时进行环境监测及安全防护。

对现有翻车道去往井口进车侧方向单开道岔和新增智能推拉小车 2 停车区单开道岔进行改造, 同时在 1#翻车机前设置 2 台矿车阻车器实现复式阻车器功能, 道岔和阻车器采用油缸推拉道岔连杆。

采用工业级超高频 RFID 智能识别系统实现智能推拉小车的精确停车定位。超高频识别器安装于电机车底部, 地下预埋识别卡, 垂直有效检测距离大于 80 mm, 满足快速移动精准识别要求。

在 1#、2#翻车机及罐笼空车进车侧各设置一台分控箱, 分控箱与集控台保持实时通讯。翻车机分

[收稿日期] 2023-06-26

[第一作者] 负二伟(1980—), 男, 河南许昌人, 工程师, 大学本科, 主要从事矿山、装备能源、安全、环保、质量等管理工作, 现任金川集团梅特瑞斯公司(南非)穆松尼项目总经理。

[引用格式] 负二伟, 郭青, 韩登甲, 等. 基于 PLC 控制的矿山无人智能运矿机器人的设计[J]. 有色设备, 2023, 37(5): 39-43.

控箱主要用于翻车信号的提示。如当电机车将矿车拉到翻车机内定位点,分控箱显示可翻车信号;当翻车完毕后,人工给集控台发出翻车完毕信号。罐笼进车侧分控箱主要用于推车信号提示,如推拉小车将空矿车推至候车电机车岔路后方时,把钩工根据现场情况通过分控箱给推拉小车可以推车的信号,人工摘钩后又通过分控箱给推拉小车可以返回的信号。

根据现场工矿情况及人员操作流程,配备 3 种操作模式,检修、手动、智能模式,达到操作流程便捷化。为保证避免闲杂人员随意进入地表车场内,影响作业,延误生产,带来安全隐患,在车场入口处增设了门禁系统。为了更加直观的观察各个设备作业中的运行状态,设计 5 台高清网络摄像头对关键岗位和位置进行监控,网络与控制系统 WIFI6 的无线环网共用。

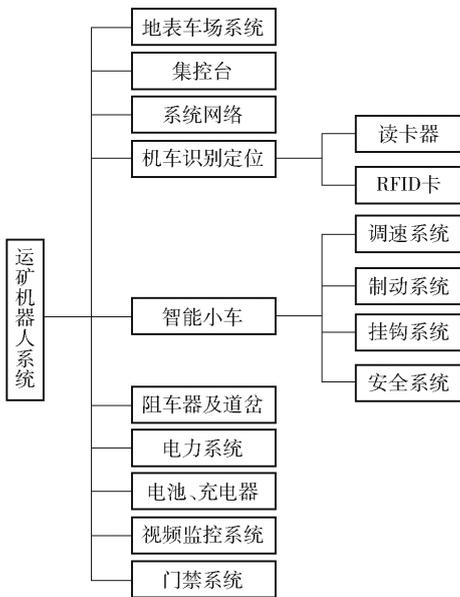


图 1 智能运矿系统设计结构

1.1 地表车场系统

地表车场系统是基于三矿区 36 行措施井地表转运矿石现场环境所设计的智能推车项目,系统通过智能推拉小车、电动道岔等自动化、智能化设备,采用 RFID 智能定位技术、无线通讯技术、自动控制技术,并辅以视频监控系统及门禁系统,实现车场矿车的智能推拉。

1) 推拉小车的遥控及按设定工作流程自动运行。

2) 手动/自动控制执行设备完成道岔位置转换

及状态的检测。

3) 手动/自动控制矿车阻车器的打开与关闭及状态的检测。

4) 推拉小车与矿车的自动摘挂钩及挂钩状态检测。

5) 遥控或自动实现推拉小车的启动、制动、摘挂钩等功能。

6) 单推拉小车、带空车、带重车调试刹车距离,保证停车位置。

7) 液压系统电气线路走线及电磁换向阀的控制。

8) 利用红外传感技术检测阻车器前是否有矿车在位。

9) 推拉小车底部超高频识别器能够快速移动精准识别定位。

10) 推拉小车执行抓车任务时,当推拉小车与矿车距离小于 2 m 时,推拉小车自动减速。

11) 放矿点分控箱与集控台能够实时通讯,当矿车拉到放矿定位点,分控箱能够显示放矿信号,放矿结束后通过按钮反馈,推拉小车能够自动运行将重车送到指定位置。

12) 推拉小车运行时声光报警、前方人员或异物识别自动刹车、停车,检测精度小于 10 mm,检测距离 0 ~ 6 m。

13) 弯道识别并自动减速。

14) 推拉小车过压欠压保护、过流保护、电量显示及电量报警。

15) 视频监控及门禁系统。

16) 翻笼状态监测及信号提醒。

1.2 集控台

集控台集成了控制柜,为该系统的控制核心。柜内控制 PLC 采用西门子 S7-smart ST30,可以实现 8 站点组网,为日后设备升级增设站点做出了冗余配置。操作台主要用于系统模式选择、工况选择等系统操作。

工控机配置正版组态王监控软件,实时设备控制和运行状态监控;工控机选用 STEP 7-Micro/WIN SMART 正版编程软件,方便现场调试,及日后的运行维护。

1.3 系统网络

系统采用基于 WIFI6 组网的 TCP 网络通讯。WIFI6 是最新的一种 WIFI 标准,支持 2.4 G 和 5 G

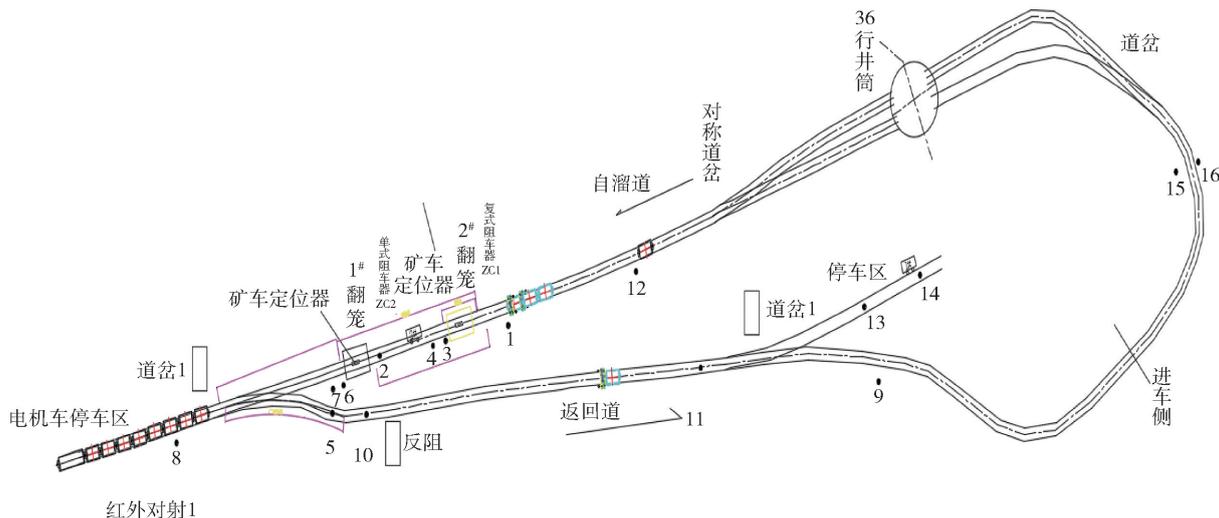


图2 地表车场布置图

频段,拥有更快的传输速率,可靠实时的视频和数据传输。在电机车上安装了工业级客户端,支持集控台对电机车的远程访问通讯,在巷道墙壁或支架上安装工业级 AP WIFI6,以提供最大的覆盖范围,最大程度提升射频性能,减少矿井内坚硬石墙带来的信号干扰;可在振动、潮湿、极端的温度下正常运行。

电机车车载客户端通过无线访问网络,将其数据和视频实时传输到集控台,保证电机车移动时保持无缝连接。

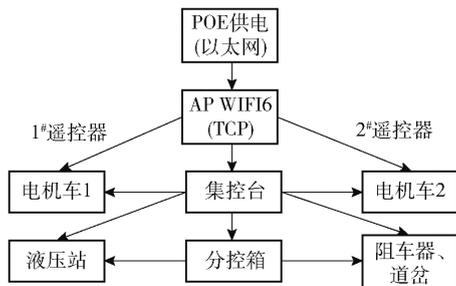


图3 无线网络通讯图

1.4 定位点

定位系统采用工业级超高频 RFID 智能识别系统。超高频识别器安装于电机车底部,地下预埋识别卡(固定在橡皮墩内部),垂直有效检测距离大于 80 mm,满足快速移动精准识别要求。该系统具有识别速度快、准确率高、组网方便等特点。包括读卡器和 RFID 卡,读卡器设置合适的检测距离,防护等级 IP67。

1.5 智能小车

1.5.1 组成

智能小车主要包括 4 大控制系统,调速系统、制

动系统、摘挂钩系统、安全防护系统;

1) 调速系统主要是变频调速,人工操作时,操作调速手柄进行无级调速,遥控或自动驾驶时,由 PLC 控制变频器调速。

2) 制动系统正常运行时,电机车采用变频制动辅助机械制动(碟刹)。系统设置减速点、停车点,根据单电机车、带空车、带重车调试刹车距离,保证停车位置。当电机车行驶遇紧急情况时,由 PLC 控制箱发出制动指令,在变频制动的同时,执行机构推动刹车机构制动,使闸瓦抱死制动轮。

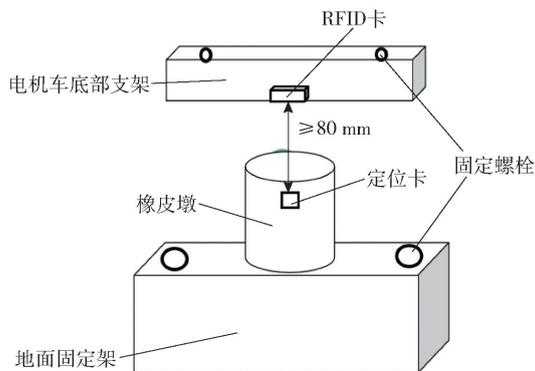


图4 电机车识别定位示意图

3) 摘挂钩系统采用电动推杆驱动抓车爪机构,完成挂钩与摘钩操作。

1.5.2 工作原理

1) 抓车(挂钩):在抓爪前部重力及电动推杆的作用下,抓车爪正常一直准确停留在抓车状态位置,当电机车与矿车发生轻微碰撞时(在抓车前,电机车已在 PLC 控制下提前减速),抓车爪前部的楔形

机构可使抓爪向上旋转,旋转至超过矿车上的固定盒后,在重力的作用下,抓车自动下落卡住固定盒。

2) 解脱(摘钩):在需要摘钩时,PLC 控制箱发出控制指令,电动推杆推动抓车爪向上旋转,使其脱离固定盒。

3) 挂钩状态监测:为防止误动作,确保挂钩处于抓车或脱钩状态,本方案配置挂钩状态监测装置。在电机车前后端分别设立高精度激光测距传感器,监测电机车与矿车的距离。在抓车后,电机车与矿车的距离应在一定范围内,如电机车在拉车时,传感器监测到电机车与矿车之间的距离大于设定值,便判断出矿车与电机车分离,未能有效抓车。在此状态下,电机车可再次前移抓车。

4) 安全防护:智能电机车装有声光警示灯,在运行时发出声光警示。为防止电机车在自动运行时,前方突然发现障碍物或人员闯入行驶区域,电机车上前后两个方向均设超声波传感器、红外传感器及可识别人形的摄像机。前方人员或异物识别自动刹车、停车,检测距离 0~6 m。超声波传感器用于监测机车前方出现障碍物的位置,红外传感器用于监测人员,摄像机用于人形识别及轨道异物视频监控。

1.6 阻车器及道岔

设计两个道岔、两个阻车器;阻车器为阻轮式,有一对阻爪和弹簧缓冲装置,当车轮撞击阻爪时,阻爪使套在固定轴后面的弹簧压缩,撞击的能量便被弹簧吸收;阻爪的尾部通过连杆和操纵机构连接,液压缸驱动使两个阻爪同时打开或关闭,关闭时阻车,打开后通车;道岔通过液压油缸驱动进行变换方位;并分别设置各自对应分控箱,用于人工手动操作。

1.7 电池、充电器

智能机车电池选用矿用磷酸锂离子蓄电池(考虑取下充电方便),电池采用有线充电,电池采用一用一备。电池容量 412 AH,额定电压 52.1 V,充电时间 4~8 h,最大充电电压 58.4 V,最大充电电流 100 AH,满足每班 240 车满负荷生产。

1.8 视频监控

在集控台配备现场各方位视频监控,同时汇集无人驾驶电机车自带摄像头,更加清晰监测设备运行状态,网络与控制系统 WIFI6 的无线环网共用,包括摄像头和硬盘记录仪。

2 控制模式

系统设置手持遥控器,可通过遥控器或者集控台实现系统设备的控制和模式的选择。智能运矿系统分为检修、手动及智能三种控制模式。

2.1 检修模式

检修模式下,为安全考虑设备不能工作。检修模式主要是为职工对设备进行检查检修所设计的一种方式,检修模式下对设备无法进行操作,相当于处于停机断电状态。

2.2 手动模式

此模式下,智能推拉小车前进、后退、道岔、阻车器等为人为点动操作,可通过遥控器及各设备控制分控箱,进行操作,手动之前必须将状态模式打至手动。但前部超声波传感器、定位停车点及相应闭锁、联动等投入使用,可以实现规避行人、抓车自动减速、抓住后自动加速;操车设备(阻车器及道岔)均为点动状态,即按下控制开关动作,松开停止。

2.3 智能模式

智能模式下,根据设置好的工况,智能推拉小车自动运行。针对地表车场的工况,系统设置两种工况模式:1#翻车机工作模式、2#翻车机工作模式。在自动模式下需要设定工况模式,在系统运行过程中也可以更改工况模式。工况模式可以通过集控台或者手持遥控器设置和更改。

2#翻车机工作模式作业流程:重矿车自溜到 2#翻车机前通过阻车器阻停,工作人员通过长按遥控器“启动”按钮启动系统,地面操车依次自动复位,复阻,道岔 1 右,单阻,2#小车抓手抓车,智能推拉小车检测到重车后,从两个翻笼间停车点自动运行,慢速前进,激光传感器检测到抓住重矿车或者小车行进至 1 号定位点后,复阻打开,小车拉重车低速后退,过翻笼至 3 号停车点停下,此时重车刚好位于 2#翻笼轨道凹槽中,脱钩,后退至 4 号停车点,抓手复位 2#翻笼测控制箱指示灯亮起,提示操作人员翻车,操作工翻车后,点击控制箱“翻笼完成”按钮,“允许翻笼”指示灯灭,小车慢速前进抓车经 3 号点,抓车后退,

经 4 号点加速,2 号点减速过翻笼,然后过 7 号点加速拉车后退,过倒岔 1 后经 8 号点,停车抓手松开,变换 1 号道岔,小车推空车前进至 5 号点减速,10 号点停下加速后退,经 8 号点变换道岔,快速前

进,过7号点慢速过翻笼,然后2号点加速,至4号点停下,等待重车来车。拉车过程中若脱钩,小车会自动检测,并补抓,完成后继续相应流程。按以上流程循环至第八辆矿车,变换道岔1左,智能推拉小车由拉车转推车时,道岔2自动打到左侧,单阻打开,智能推拉小车将重车快速推过道岔2,经9号停车点延时10s,或者经12号停车点后,2#小车后退,回至两翻笼等待区,进入下一次八车推拉流程。2号小车后退过2号道岔11号点后道岔2变换位置,1号小车从停车区慢速后退,经11号点后变换2号道岔,小车前进将8辆矿车推至井口,经15或者16号点返回至停车区,等待下一循环。(过程点位参考图2地表车场布置图)

3 结语

数字化矿山建设针对安全高效的现代化矿井建设的需求,建设智能化矿山的需要,研究了金川矿山36行无人驾驶智能运矿机器人系统设计,包括安全生产、自动化减人、标准化工区建设等设计需求;此次系统设计取得良好效果,对于数字化矿山建设打好关键基础;设备自投入使用后得到很大方面改进,系统性能稳定可靠,达到减人增效的目的和效果,实现标准化建设,更安全、经济、可靠运行。智能化无人驾驶系统解决了人员劳动强度,降低安全生产风险,提高生产效率。

[参考文献]

[1] 高德旭. 露天矿山无人驾驶网络通信技术探究[J]. 露天

采矿技术,2023,38(02):98-102.

- [2] 付恩三,刘光伟,邸帅,等. 露天矿山无人驾驶技术及系统架构研究[J]. 煤炭工程,2022,54(01):34-39.
- [3] 温瑞恒,陈功,张维国,等. 矿山有轨运输无人驾驶信息化系统的方案研究[J]. 有色设备,2022,36(06):13-17.
- [4] 潘海涛. 地采矿山翻车机卸矿模式有轨电机车无人驾驶系统技术研究[J]. 世界有色金属,2023(03):10-12.
- [5] 郭帅,谷龙飞,李硕. 基于 Anylogic 仿真的矿山有轨运输无人驾驶系统运力研究[J]. 有色设备,2022,36(03):5-11.
- [6] 赵鹏,骆军军,冯金庆. 龙首矿电机车无人驾驶系统5G网络构建与优化[J]. 矿山机械,2021,49(09):17-23.
- [7] 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(04):15-20+38.
- [8] 童春. 井下电机车无人驾驶系统的设计[J]. 科技风,2022(20):1-3.
- [9] 杨臣. 金属矿山中无人驾驶矿车控制系统的研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2012.
- [10] 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(05):9-12+29.
- [11] 冯迭腾. 一种矿山有轨电机车无人自动驾驶系统[J]. 采矿技术,2019,19(02):114-117.
- [12] 黄元叶. 定位系统在有轨电机车无人驾驶中的应用[J]. 设备管理与维修,2022(12):96-97.
- [13] 赵奕,张维国,何煦春,等. 智能矿山多维度一体化建设架构与实施路径研究[J]. 有色设备,2022,36(06):1-12.

Design of Intelligent Mine Robot Based on PLC Control

YUN Erwei, GUO Qing, HAN Dengjia, ZHANG Wenpeng, JIN Wanpeng, LI Xiaoshuang

Abstract: With the steady development of China's economy, it has become the development trend of mining enterprises to build smart mines and vigorously develop mine informatization and intelligence. This paper introduces the design scheme of a mine intelligent ore transport robot controlled by PLC (programmable controller). The software, hardware combination, electrical control principle and workflow of the intelligent ore transport robot suitable for the 36-row measurement shaft of Jin Chuan Mine are introduced in detail, and the overall design scheme of the mine intelligent ore transport robot based on PLC control is given.

Key words: digital mine; driverless; robot; PLC

