干煤棚智能无人化吊车技术的研发*

倪秀英[1],范云鹏[1],陈 明[2],张海涛[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司仓储中心,内蒙古 包头 014010;
2. 湖南千盟工业智能系统股份有限公司,湖南 长沙 410000)

摘 要: 采用边缘控制器、三维定位、防摇及防撞、三维扫描及点云重建等技术,结合干煤棚料堆特点、环境因素,通过对控制系统的硬件组态及软件模型算法的开发,实现了干煤棚智能无人化吊车控制。文章介绍了智能无人化吊车系统功能、智能无人化吊车策略研发,论述了智能无人化吊车的研发过程。

关键词: 激光扫描; 智能三维定位; 智能抓取料策略

中图分类号: TP273$^+$.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)02-0079-06

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.02.021

Research and Development of Intelligent Unmanned Crane Technology for Dry Coal Shed

Ni Xiu-ying[1], *Fan Yun-peng*[1], *Chen Ming*[2], *Zhang Hai-tao*[1]

(1. *Storage Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Hunan Qianmeng Industrial Intelligent System Co., Ltd., Changsha* 410000, *Hunan, China*)

Abstract: The intelligent unmanned crane control for dry coal shed is realized through developing the hardware configuration of control system and software model algorithm with such technologies as edge controller, three-dimensional positioning, anti-swing and anticollision, three dimension scanning as well as reconstruction of point cloud combining with the characteristics of material pile in dry coal shed and environmental factor. In this paper, it is introduced the functions of intelligent unmanned crane system, research and development of intelligent unmanned crane strategy as well as described the research and development process of intelligent unmanned crane.

Key words: laser scanning; intelligent three-dimensional positioning; intelligent grabbing material strategy

封闭式干煤棚粉尘浓度大,尤其是煤粉通过18 m高的平台布料,导致整个干煤棚粉尘浓度最高可达100~200 mg/m^3,严重影响吊车司机的身体健康,且高粉尘环境下司机的视野很差,无法保证作业安全。同时,干煤棚上料吊车系统大车、小车、抓斗提升、开闭均为岗位人员在车上手动操作,出料效率取决于岗位人员的熟练程度及责任心,现场环境恶劣,灰尘伴有煤气,导致岗位人员视线差,长时间工作疲劳驾驶存在设备及人员的安全隐患。

为进一步提高干煤棚出料效率及吊车控制水平,改善岗位人员的工作环境及劳动强度,提高安全生产水平,更好地满足高炉生产需求,彻底解决干煤

* 收稿日期: 2021-03-04

作者简介: 倪秀英(1966-),女,四川省成都市人,高级工程师,主要从事电气、工业自动化控制系统维护、管理及智能制造项目的技术实施等工作。

棚吊车人工操作的不稳定性以及现场环境对岗位人员的职业健康危害的问题，决定了研发干煤棚吊车智能无人化控制的必要性。

1 智能无人化吊车系统功能

通过已有干煤棚吊车控制模式建立其功能模型，根据技术系统进化理论、自动控制复杂系统进化定律[1]，分析现有功能模型，集成创新，研发吊车智能无人化控制系统。该系统采用智能定位系统、智能检测设备、三维成像、智能感知系统及吊车智能无人化控制策略等人工智能技术来替代人工操作，系统设计十大功能如图1所示，通过各功能模块的研发实施，最终实现吊车智能无人化控制最佳的效果。

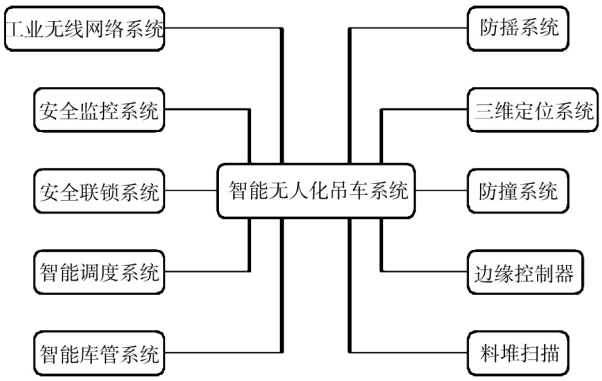


图1 系统功能模块

1.1 系统硬件架构

干煤棚吊车智能无人化系统硬件架构如图2所示。

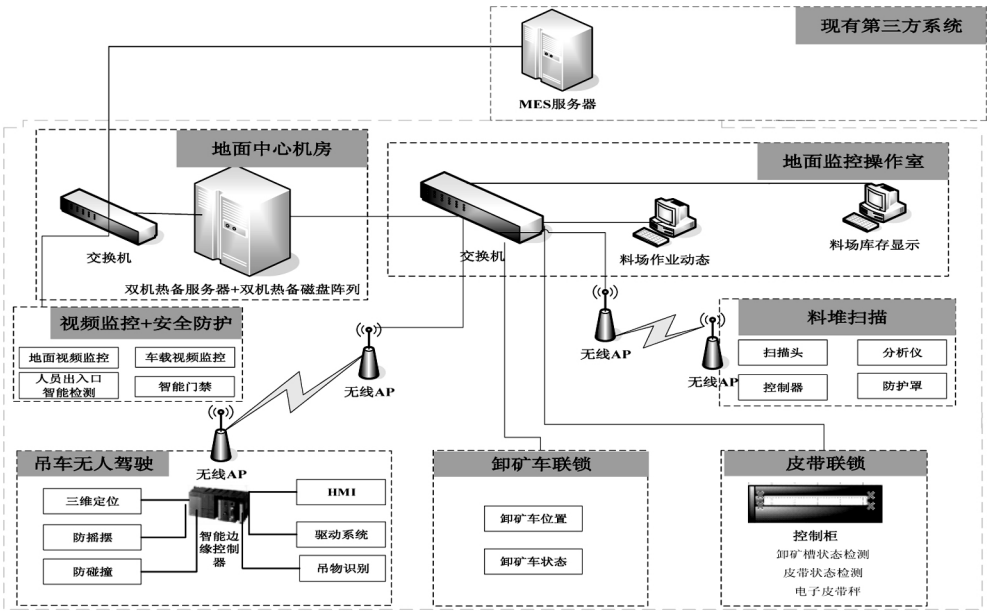


图2 系统硬件架构

1.2 吊车智能无人化系统控制全流程

干煤棚吊车智能无人化系统实现了通过MES系统或操作终端进行计划管理，通过边缘控制器处理三维定位、三维扫描、吊车防摇与规避控制等数据；通过调度系统协调吊车起吊、放吊、吊车作业管理、工单管理、防撞与规避、吊车作业结果管理；通过库管系统进行计划工单、操作反馈及吊车结果应答等全流程控制。

2 智能无人化吊车功能研发

2.1 智能无人化吊车定位系统

基于现场环境需求，本项目大车、小车定位检测均采用抗干扰能力强、抗粉尘效果好的编码电缆。而大、小车同时采用编码定位会带来相互干扰问题，针对干扰问题，利用TRIZ创新理论时间分离原理[1]，采用大、小车编码电缆分时发送频率，利用物体的多用性发明原理[1]，将大、小车信号发生器互调，大车采用天线箱感应编码电缆上的信号检测地

址，而小车采用天线箱给编码电缆发送信号，编码电缆接收信号直接解码地址的方法，有效去除有害因素，解决了干扰问题，实现大、小车同时采用感应无线编码电缆定位技术，系国内首套无人吊车大、小车同时采用编码电缆定位的成功案例。编码电缆数据信号发送如图 3 所示。

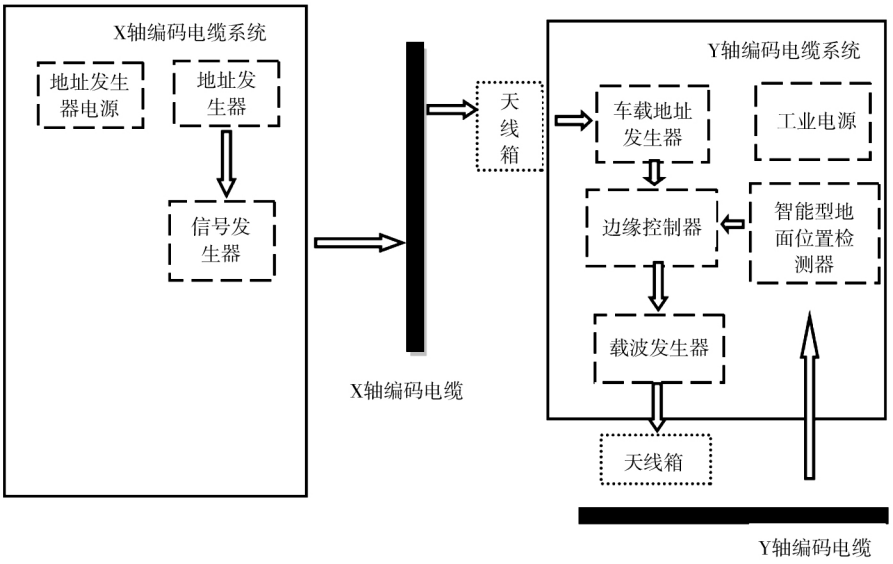


图 3　编码电缆数据信号发送

2.2　智能无人化吊车防摇控制系统

吊车在变速运动中抓斗速度变化会滞后于大车和小车的速度变化，不可避免的会发生抓斗摇晃的情况，给吊车的安全运行带来了极大风险。为了消除这种速度变化不同步产生的有害作用，使吊车在最短的时间内平稳的达到目标位置，在智能吊车无人化系统研发中引入智能防摇摆控制技术，确保吊车运行安全、平稳、不撒料，避免对吊车本身机械设备造成冲击与损伤。

2.3　智能无人化吊车防撞系统

通过合理设计无人吊车防撞系统，实现了多台吊车同时作业的安全性、可靠性。

2.3.1　主动防撞

库管软件采用控制调度策略，在同跨相邻两部车同时作业时采用作业区域不重叠方式从源头避开两车触碰的可能，另外库管软件会根据同跨各吊车大车实时位置设置防撞范围，在两车到达设置防撞范围前主动停止，防止两车相撞。

2.3.2　被动防撞

采用防撞激光仪对大车附近障碍物进行检测，检测值达到防撞点时，该大车会自动停止。

2.4　三维扫描及点云重建

干煤棚为封闭式煤场，作业现场粉尘浓度较大，加之煤粉的反射率很低，这都为料堆点云数据采集带来了困难。本系统采用远距离高精度扫描仪，结合毫米波雷达，在高粉尘环境、黑色物体上(5% 的反射率) 亦可实现 60 m 的扫描范围。定制研发自动开闭高密封性防护罩，在无需扫描时防护罩自动关闭，减少扫描仪暴露在粉尘中的时间。针对粉尘造成的虚假点数据，通过高斯滤波过滤[2]，并采用最小二乘法[3]曲线拟合出真实数据。毫米波雷达具有较强的穿透能力，可以绕开空气中的细小悬浮颗粒，利用毫米波稀疏点数据，采用多传感器数据融合算法有效矫正激光扫描仪数据，最终实现基于有序点云的料堆 3D 轮廓重建[4]，为智能无人化吊车精准抓料提供了有效的参考数据，干煤棚区域三维立体料堆如图 4 所示。

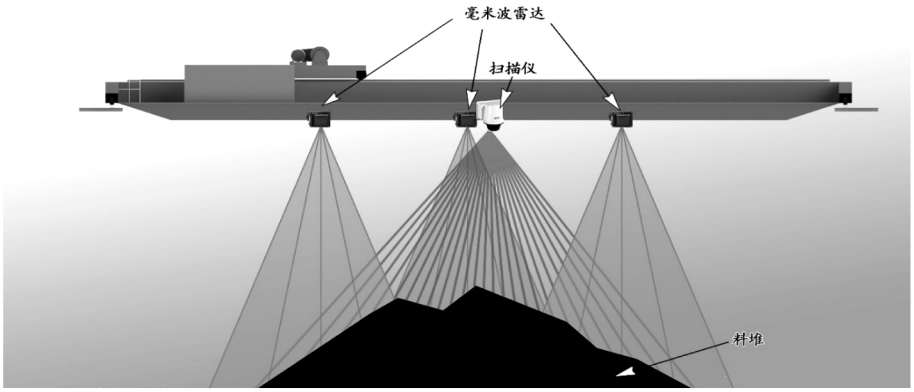


图4 三维立体料堆

3 智能无人化吊车策略研发

3.1 智能无人化吊车系统调度策略

智能调度的目的是在保证安全的前提下提高各设备协同作业的效率，智能调度包括抓取点的智能生成和吊车智能选择。通过全盘分析吊车大车、小车及抓斗的运行轨迹以及卸矿车、皮带的状态数据，结合料场的规划和库存信息，以智能库管的作业任务为驱动，将任务科学合理的分解成具体的作业子任务，实现对吊车、皮带等相关设备的智能调度、协调作业。

能够根据取料任务自动生成最优作业目标区域，调度最合理的吊车进行作业，根据调度策略，生成具体的抓取点、根据料堆变化动态调整抓取中心点，避免抓斗倾斜。

3.2 抓料策略

为实现配料小皮带持续上料不断料，需保证抓斗工作效率最高，使吊车的大、小车及抓斗在操作的每个阶段自动调整，以达到最优的系统性能。根据四绳双颚板抓斗特性建立抓斗抓取模型[5-6]，评估抓取一斗料对料堆形貌改变的影响。以抓斗为最小单元，对料堆进行网格化划分，基于动态规划的思想，按照料堆高度从高到低依次迭代计算生成每一个抓取点，每生成一个抓取点，按照抓取模型更新当前料堆形貌，迭代计算选择下一个抓取点。将抓斗吊车大车、小车、抓斗开闭及抓斗升降四维同步联动，在保证吊车本质安全的前提下最大限度的提高抓料作业效率，根据料堆高低分布情况，智能生成抓斗最佳运动轨迹，实现抓斗在干煤棚立体空间中的运动效率最高，通过分析全区域料堆的激光点云数据，提前生成抓斗的空间行走轨迹，并将轨迹分解成大车、小车、升降及开闭四个维度上的分轨迹，智能控制三个机构的运动速度完美匹配，实现抓斗无静止通过转折点，吊车连续运行稳定率及效率大幅提升，小皮带断料次数由原来的月均350次降为20余次。

3.3 安全联锁策略

3.3.1 智能无人化吊车系统与输出系统皮带联锁

系统收到作业任务后，先向皮带控制系统发送联锁请求，请求皮带运转，并判断相应皮带是否运转正常，如未正常运转，则不向吊车发送作业命令。取料过程中皮带系统异常停止，系统则向吊车发送作业暂停命令。吊车完成本次作业任务后，系统延时向皮带控制系统发送联锁请求，请求皮带停止运转，实现吊车与输出皮带系统安全联锁。

3.3.2 智能无人化吊车系统与漏矿槽状态联锁

在配料矿槽处增设料位检测装置，根据配料矿槽料位情况控制吊车放料速度，料位检测为满时禁止放料，检测为空后自动放料，实现连续供料不断料、不溢料。

3.3.3 智能无人化吊车系统与移动卸矿车联锁

系统与第三方系统对接，采集3台移动卸矿车及输入皮带的实时信息，获取卸矿车的位置和输入皮带运行状态，实现吊车主动避让，避免吊车与卸矿车在同一个区域作业。

4 智能库管系统的研发

无人吊车库管系统主要有计划管理、跨区、设备

状态、报警、日志、统计报表、系统设置七个功能模块，每个功能模块都以动态画面的形式展现给操作人员，每一个功能模块的基本结构和主要的功能点都能满足现场需求。

4.1　计划管理

计划管理模块分为添加计划、执行计划列表和列表计划详情、计划取消功能。主要显示干煤棚的区域信息、吊车的分布情况、走行位置动态、漏矿槽状态、卸矿车运行状态、区域的编号、吊车的编号、煤种的信息、操作模式、当前正在执行的计划、计划详情等动态信息计划操作模块，可根据生产需要添加各种类型的计划。

计划管理包括配料计划、单车计划、回停机位、单纯移动等模式。

4.2　跨区

4.2.1　三维立体图

跨区画面主要显示的是干煤棚的立体三维图，其中料堆是根据扫描仪实时扫描的数据生成的三维立体成像，吊车的轨迹为实时动态显示，图 5 为跨区实时三维立体图。

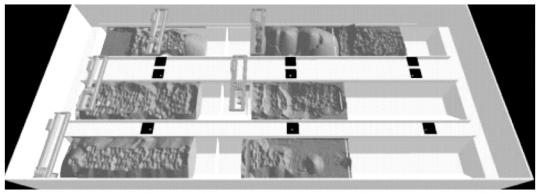


图 5　跨区实时三维立体图

4.2.2　操作模式切换

吊车处于全自动模式时，首先进行初始化过程，待初始化完成后接收并执行工单，开始全自动抓放料，全程无须人工干预；切换到远程模式，需选中操作吊车，点击大、小车及抓斗的方向及速度按钮，设备会进行相应的走行及速度调节。

4.3　状态

4.3.1　网络拓扑状态

网路拓扑状态画面主要显示干煤棚内与吊车相关的设备网络状态，红色为网络故障状态，蓝色为正常状态，点击设备名称，在右侧可显示设备的相关信息，设备名称、IP 及端口号等，此画面是现场实际的网络拓扑架构，方便维护人员能够快速找到故障设备的位置，快速解决问题。

4.3.2　设备状态

设备状态画面主要显示的是 3 个跨区配料矿槽料位、配料小皮带运行及瞬时流量、卸矿车位置及皮带运行等信号。配料皮带的运行及瞬时流量信号用于吊车作业判断能否放料的依据；卸矿车位置检测及运行状态等信号用于在添加计划时系统判断抓料范围是否与布料区域重叠的依据。

4.4　报警记录

报警记录可以查询到所有吊车的报警记录，主要记录的是对系统运行存在威胁、影响系统运行的日志，可根据跨区、时间进行查询，也可点击导出 excel将查询出来的数据导出到文件。

4.5　生产报表

4.5.1　历史库存

可查看每天每个区域的煤种库存及库存率，其中库容字段的值为可配置项，库存率的计算方式为库存/库容，库存的更新方式为定时更新，更新频率根据生产需求设置。

4.5.2　作业统计

通过作业统计画面可查看某时间段内每台吊车自动作业和手动作业的总作业次数、总时间、总重量，以及平均每次的作业时间。

4.5.3　作业记录日志

通过作业记录日志可查看吊车在某一时间段内的计划流水记录，点击详情可查看计划执行详细信息，详细信息中包含每个工单的执行时间、抓取重量、抓取点、卸料点等信息。

4.6　设置

设置包括基本设置、系统日志及操作日志，基本设置包含跨区设置、卸矿槽设置、吊车设置、煤种设置、跨设置。

系统日志为程序内部运行的日志记录，当系统出现故障的时候可用来排查系统出现问题的原因。

操作日志为用户在系统里面的行为日志，如对吊车做了上电、断电、急停等操作都会在日志中记录下来，为系统排查故障提供了有力的数据支撑。

4.7　日志

通过作业日志可查看吊车在某一时间段内的计划流水记录，点击详情可查看计划执行详细信息，详细信息中包含每个工单的执行时间、抓取重量、抓取点、卸料点等信息。

5　结束语

仓储中心干煤棚吊车智能无人化系统的研发，

实现了远程一键抓放料的全流程智慧吊运工艺，协同效应明显，生产效率稳步提升。本项目在抓斗吊车上采用先通过激光扫描仪获取料堆轮廓点云数据，再基于点云数据计算利用智能边缘控制器计算最佳抓取点，人工智能化的取料策略来解决无人抓斗吊车易空抓、易斜抓的难题，有效提高干煤棚吊车作业效率及连续运行稳定率，大大降低岗位人员的劳动强度，同时，吊车司机远离高粉尘防爆区域，从本质上保证了职工的职业健康，避免了设备、人员的安全隐患，项目不仅解决了多年制约高炉生产的效率问题，还解决了防爆区域职工职业健康及安全生产问题，避免了环境伤害及危险因素，效果明显，意义重大，属国内首例实现高粉尘浓度下多台套大型散料生产用抓斗吊车协同调度作业的智能无人化控制系统，具有很大的实用价值及大范围推广价值。

参 考 文 献

[1] 檀润华. TRIZ 及应用：技术创新过程与方法[M]. 北京：高等教育出版社，2014.

[2] 许景波. 高斯滤波器逼近理论与应用研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2007.

[3] 莫晓琴. 基于最小二乘法的线性与非线性拟合[J]. 无线互联科技，2019，(4)：128－129.

[4] 张珍铭. 基于 Delaunuay 三角化的三维散乱点云曲面重塑算法研究[D]. 南京：南京航空航天大学，2016.

[5] 倪俊. 长撑杆双颚板散货抓斗挖掘过程计算机模拟[J]. 上海海运学院学报，1994，(15)：7－13.

[6] 吴天昌. 四绳抓斗抓取过程仿真[J]. 起重运输机械，1996，(9)：9－11.

(上接第51页)

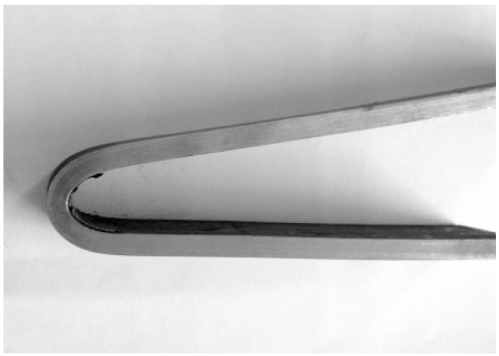


图2 冷弯照片

3 结束语

采用低碳、铌钒钛微合金化成分设计，合理的控轧控冷工艺，在实验室成功研制出高强度汽车大梁钢800L，该试验钢强韧性匹配良好，力学性能和弯曲性能均满足国家标准 GB/T 3273—2015[6] 要求，为800L工业化试制生产提供技术支持。

参 考 文 献

[1] 赵培林，路峰，王建景. 700 MPa 级超高强度汽车大梁用钢研究与开发[J]. 轧钢，2011，28(2)：12－16.

[2] 卢军辉，王晓春，张慧，等. Nb－Ti 微合金化 610 MPa 级汽车大梁钢板工艺研究[J]. 炼钢，2011，27(4)：61－64.

[3] 韩斌，时晓光，董毅. 超高强汽车大梁钢 700L 的开发研制[J]. 鞍钢技术，2012，(5)：10－13.

[4] GB/T 6394—2017，金属平均晶粒度测定方法[S].

[5] GB/T 10561—2005，钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检测法[S].

[6] GB/T 3273—2015，汽车大梁用热轧钢板和钢带[S].