

基于智能化焊接技术的刮板输送机中部槽生产探讨

于福田, 刘庆礼

(山东矿机华能装备制造有限公司, 山东 青岛 262400)

摘 要: 文章旨在探讨煤机企业制造刮板输送机中部槽应用智能化焊接设备的策略。全方位研究智能化焊接技术在刮板输送机中部槽生产中的应用, 包括焊接结构设计与工艺优化、多传感器融合的实时监测, 多项技术的综合运用可大幅提升中部槽焊接作业效率和焊接质量。期望本研究内容可为煤机制造企业、矿山生产单位提供智能化方案借鉴。

关键词: 煤炭机械; 中部槽; 刮板输送机; 智能算法; 缺陷识别; 数字孪生技术

中图分类号: TD528.3

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2026)02-0070-04

Discussions on Production of Middle Trough for Scraper Conveyor Based on Intelligent Welding Technologies

Yu Futian, Liu Qingli

(Huaneng Equipment Manufacturing Co., Ltd. of Shandong Mining Machinery (Group) Co., Ltd.,
Qingdao 262400, Shandong, China)

Abstract: This paper is aimed to discuss the strategies for coal machine enterprises to manufacture middle trough of scraper conveyor with intelligent welding equipment. The applications of intelligent welding technologies in production of middle trough for scraper conveyor are comprehensively studied, which include the design of welded structure and process optimization as well as real-time monitoring integrated with multiple sensors. The comprehensive applications of multiple technologies could significantly improve the welding operation efficiency and welding quality of middle trough. It is expected that the content of this research could provide intelligent solutions as references for manufacturing enterprises of coal machine and mining production units.

Key words: coal mining mechanic equipment; middle trough; scraper conveyor; intelligence algorithm; defect identification; digital twin technology

在高强度的矿井采煤作业中, 输送机运行的稳定性以及使用寿命对煤矿生产效率和矿山安全生产具有重要影响。刮板输送机设备的中部槽作为煤炭开采运输作业的关键部件, 持续承受重荷载、冲击力以及与物料产生的磨损, 极易发生输送链条卡顿、物料泄漏以及其它设备故障, 出现这种情况往往与中

部槽生产质量有一定联系, 如焊缝出现气孔、裂纹等缺陷导致结构强度不足。中部槽生产一般采用传统人工焊接方式, 焊接质量和焊接效率由于受到人工操作因素的影响而难以保证^[1]。刮板输送机中部槽的制造应用智能化焊接设备, 相较于人工焊接作业在生产效率、焊接质量等方面具有显著优势, 具有

很强的推广价值。

1 中部槽概述

1.1 设备结构

刮板输送机中部槽结构划分主要按链条布置形式和槽帮类型分类。按链条布置形式分单链结构、边双链结构和中双链结构。其中,单链结构采用单根链条设计形式,链条沿槽体中轴线布置,利用力学传导原理引导载荷沿中轴路径实现单向传递,通常应用场景为 100 ~ 200 t/h 的中小输送规模工况。边双链结构是在槽体两侧设置双链条牵引系统,通过对称受力机制将最大牵引张力按 2 倍的单链承载能力左右均衡分布,在 30° 以上大倾角工况下,该结构具有良好的稳定性。图 1 为典型双链结构中槽实拍图。



图 1 典型双链结构中槽实拍图

1.2 设备功能

刮板输送机中部槽的功能体现在几个维度。从物质传输角度分析,中部槽可以构建连续性的散料输送通道,通过刮板—链条系统的协同运动实现固态物料定向、高效迁移,满足矿山开采工况下吨级物料连续性运输作业要求。从结构承载角度分析,槽体除了承受物料自身的重力载荷,同时亦抵御运输过程中的各类冲击载荷。从协同控制角度分析,中部槽作为刮板输送机设备的基础承载部件,负责为传动系统提供运行轨道,通过与传动系统的精密配合保证链条、刮板的高效稳定运行,从而实现动力传递效率的最大化。

中双链结构则是在槽体中央设计平行双链条阵列,利用动力学耦合效应平衡物料输送的惯性力,链速波动系数相比单链结构降低 40% 左右。槽帮是刮板输送机中部槽的关键承载部件。单链式中部槽一般布设 M 型槽帮,采用非对称梯形截面设计形式,基于应力集中优化方法可使接触应力峰值降低 35% 左右。双边链式中部槽 D 型槽帮采用圆弧过渡曲面配合表面硬化处理,以此将槽帮磨损速率控制在 0.03 mm/kH 以内。中双链式中部槽 E 型槽帮是在中部槽结构轻量化基础上,通过增设复合式加强筋结构有效提升结构抗扭刚度。表 1 为不同结构形式的中部槽参数对比情况。

表 1 不同结构形式的中部槽参数对比

结构分类	输送量/(t·h ⁻¹)	链条布置形式	工作倾角/(°)	槽帮类型
单链式	100 ~ 200	中轴线单链	≤15	M 型
边双链式	300 ~ 500	双侧双链	≤45	D 型
中双链式	200 ~ 400	中部双链	≤30	E 型

2 智能化焊接技术的应用优势

2.1 提升作业精度

智能化焊接设备能够通过多技术协同实现高精度焊接作业。模块化焊接技术将中部槽整体结构分解为标准化单元,结合视觉传感、缺陷识别系统,对焊缝位置、形状等实现微米级的定位与纠偏。智能化焊接技术能够避免传统人工作业由于经验差异或

其它因素影响导致的作业偏差或质量缺陷。另外,焊接系统依据焊接原料的厚度、材质、环境温度和湿度等一系列因素自动优化焊接电流、电压以及焊接速度,通过参数的动态调控功能确保熔深均匀一致、焊缝成型良好。

2.2 提升作业效率

智能化焊接技术通过流程再造、实时监测等功能显著提升作业效率。模块化焊接单元通过多工位

同步焊接并行作业,大幅压缩生产周期,完全打破了传统串行作业工期长、效率低的约束。智能化焊接参数动态调控技术能够针对材料在焊接过程中的物理、化学及性能变化实现自动响应和智能调控,无需人工频繁干预或调试设备,有效减少停机时间。声发射(用于判断异常响声)、红外热成像监测系统(利用影像、照片识别温度分布异常)打造的全流程质量监控网络,能够实时捕捉设备故障、焊接缺陷等异常情况,利用智能算法预判质量风险,开展前瞻性、预防性维护,全面降低返工率。作为专门面向焊接场景开发的算法,可以自动分析焊接数据、判断与执行调控指令,能够避免因设备故障造成焊接生产中断,提升生产线的整体产能^[2]。

3 智能化焊接技术

3.1 焊接结构设计与工艺优化

3.1.1 模块化焊接设计

刮板输送机中部槽结构焊接生产中,模块化焊接设计通过将复杂结构拆解为若干个标准单元,焊接机器人配合协同作业,实现结构整体有序焊接作业。



图2 模块化焊接设计示意图

如图2所示,模块化焊接系统利用三维建模软件,快速对刮板输送机中部槽开展结构分析,根据应力分布、功能需求,将结构分解为底板、侧板、中板、连接加强筋等独立单元模块,各模块在专用工装夹具上预制焊接。在这个过程中,工装夹具使用定位销+可调式压板的组合结构,利用激光校准系统来保证模块间拼接精度误差 ≤ 0.3 mm。模块焊接作业过程采取机器人协同作业形式,由多台焊接机器人依据预设的程序面向不同模块焊缝分区焊接作业。例如,针对侧板、底板的角焊缝,系统会配置两台机器人对称焊接,通过同步控制器有效控制焊接路径、焊接速度,均衡双向作业进度,有效抵消焊接变形问题。完成各模块预制作业后,在总装工位利

用真空吸附定位技术对模块进行快速组装,再配合激光跟踪焊接系统,对各模块进行连续组装焊接作业,最后完成整体结构的无缝焊接。

3.1.2 动态参数调控

动态参数调控主要通过系统实时感知焊接环境以及材料特性,自动优化焊接过程的作业参数。焊接作业前,智能化焊接设备利用光谱分析仪对焊接用钢板进行成分分析,获取材料的碳当量、合金元素含量等关键数据,全部数据被输入到焊接参数数据库内。焊接作业过程中,焊枪上的多传感器系统会自动采集焊接电流、电压、送丝速度以及熔池温度等数据,同时结合作业环境的温度、湿度等,基于模糊神经网络算法智能化自动处理数据。例如,当系统检测到板材厚度发生变化或材质不均匀等情形,即时触发动态参数调控机制,模糊神经网络算法将自动调高焊接电流、电压,同时降低焊接的速度,确保熔深达到设计要求。与此同时,如果系统检测发现焊接区域温度快速下降,就会同步提高电弧功率、送丝速度,维持熔池的稳定性。

3.1.3 预加热与后热集成

智能化焊接系统的预加热与后热集成技术,是通过温度的精准控制来提升焊接质量,技术逻辑如图3所示。

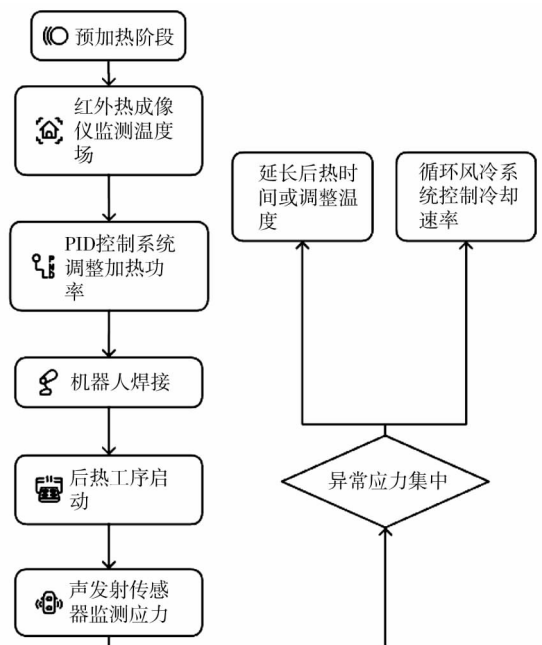


图3 预加热与后热集成技术逻辑

预加热阶段,系统使用电磁感应加热装置余热对焊接区域进行预热。根据中部槽的结构特点,感应线圈采取“分段式缠绕”设计,保证加热区域可以均匀覆盖焊缝两侧大于200 mm宽度。加热期间,利用红外热成像仪对温度场分布进行实时监测,并利用PID控制系统调控加热功率,确保预热温度稳定在150~200℃范围内,避免局部过热或温度不足现象。

机器人完成焊接后,智能化焊接系统立即启动后热工序,采用陶瓷加热片+保温棉的组合方式,将加热片紧密贴合于焊缝区域,外部包裹保温棉,这个过程的后热温度设定为250~300℃,加热时间根据钢板厚度和焊接工艺确定,通常保持30~60 min。加热过程中,后热工序利用声发射传感器对焊接接头内部应力的释放水平进行实时监测,一旦检测到异常应力集中信号则自动延长后热时间或对加热温度进行调整,以消除焊接残余应力。另外,系统利用循环风冷系统控制焊件“后热处理”阶段的冷却速率,确保冷却速度控制在5~10℃/min,防止因冷却过快导致焊缝出现淬硬组织^[3]。

3.2 多传感器融合的实时监测

3.2.1 视觉传感与缺陷识别

中部槽焊接生产线上,智能化焊接设备配置的视觉传感系统采用双目立体视觉+激光结构光的组合方式对焊缝实时监测。在焊接机器人焊枪旁安装2台高分辨率工业相机,配合激光发射器联合形成三维视觉采集模块,其中激光发射器波长设置650 nm。焊接作业时2台工业相机会以200 fps的帧率采集焊缝区域的清晰图像,激光条纹投射于焊缝表面会形成特征光带,系统利用图像处理算法在特征光带内提取焊缝的质量参数,包括坡口形状、余高、熔宽(数据测量精度 ≤ 0.1 mm)等。

针对焊接缺陷的识别,智能化焊接设备利用CNN(卷积神经网络)提供的分类模型,预先抓捕气孔、夹渣、咬边等典型的中部槽焊接缺陷图像样本,系统利用数据增强技术将图像组成的数据集扩充到10万张,采取迁移学习策略进行模型训练,在ResNet-50网络基础上进行参数微调,确保缺陷识别准确率 $>98\%$,同时结合边缘计算单元对图像进行实时处理。一旦系统检测到超标缺陷时,立刻触发报警,焊接机器人立即暂停作业,并向监控人员传输缺陷的具体信息。

3.2.2 声发射与红外热成像监测

对于焊接过程的监控,智能化焊接设备主要通

过声发射监测、红外热成像等信息化技术实现作业过程监控。

一方面,声发射监测功能采取阵列式传感器布局形式,在中部槽焊接作业的工装台四周均匀布置8个宽频声带的发射传感器,传感器频率响应设置在0.02~1 MHz范围。传感器布置阶段,通过磁吸底座固定同时配合有机硅型耦合剂来增强信号的传输效率,设定10 MHz采样频率。在此基础上,智能化焊接设备采用时差定位算法,通过对各传感器接收到的声发射信号的时间差分析定位三维缺陷源(定位误差 <10 mm)。一旦检测到由于裂纹扩展、熔池飞溅等因素生成的异常声发射信号,系统立即发出预警信息。

另一方面,红外热成像监测使用非制冷型焦平面探测器,参数按空间分辨率 640×480 、测温范围 $-20 \sim 1\,200$ ℃与30 Hz帧频设置。红外热成像设备安装在焊接工位正上方,利用电动云台能在 360° 范围内旋转视角。中部槽焊接监测过程中,系统对焊接区域温度场数据进行实时建模,使用伪彩色图谱对温度分布直观显示,一旦检测到熔池温度异常波动,如超出设定阈值范围(± 50 ℃),或局部显示高温区域,系统自动结合声发射信号进行交叉验证,判断焊接作业是否存在未熔合、烧穿等问题。若缺陷被确认,系统自动快速调整焊接参数,或者直接触发焊接机器人停机。

3.2.3 基于数字孪生技术的模型反馈

中部槽智能化焊接设备内部的焊接数字孪生模型,利用CAD软件建立实体三维模型,然后导入ANSYS软件划分有限元,网格单元尺寸设置为 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 。利用布置在工作台的传感器实时采集焊接工艺参数,如电流、电压、温度等,以数据驱动数字孪生模型动态仿真计算,系统每100毫秒更新一次模型状态。模型内置“材料本构关系库”,专门针对不同焊接工艺参数下的材料相变过程、应力应变分布加以模拟。

焊接作业过程中,数字孪生模型、物理生产线保持双向的数据交互。如果模型预测到焊接变形量超出设计标准,马上对焊接顺序、参数进行优化,并将优化结果反馈至生产线控制系统,实现工艺参数的闭环优化。此外,模型基于机器学习算法进行历史数据分析,建立中部槽焊接质量的预测模型,预测模型能够提前72 h预测设备故障、质量波动风险。不

(下转第81页)

由图6可知,车辆在颠簸路面上行驶时,车箱在受到矿石冲击下的应力分布和变形情况与满载静止工况下基本相同。通过对比发现,车箱整体应力分布规律差不多,但车箱底板与车架接触面的应力值相较满载静止下明显提高,而且分布区域明显扩大,排除应力奇异点后的最大应力达到510 MPa;车箱变形量几乎是满载静止下的2倍。虽然应力和变形大幅提高了,但是车箱结构的安全系数依然远大于1,能够满足安全服役条件。

3 结束语

矿用自卸车是保证矿山安全生产的重要运输设备,车箱作为承载部件,其结构安全性尤为关键。采用有限元分析软件对车箱在满载静止和在颠簸路面上行驶等两种工况下的结构受力和变形等进行了模拟计算。结果表明,不管是满载静止还是在颠簸路面上行驶,车箱整体结构安全可靠,完全满足矿石运输安全服役条件。矿车在颠簸路面上行驶,车箱受到矿石冲击的应力分布和变形规律相比满载静止工况基本一致,但是应力值和变形量明显增大,几乎呈2倍关系。车箱主体结构使用包钢NM450耐磨钢

安全可靠。采用有限元模拟分析为车箱结构的安全设计和优化提供了重要支撑。

参 考 文 献

- [1] 曲芳,徐文娟. 矿车车厢轻型化设计[J]. 科技风,2011(5):19,38.
- [2] 王锋,刘大维,符朝兴,等. 自卸汽车高强度钢板车厢结构强度分析[J]. 青岛大学学报(工程技术版),2010,25(4):61-65.
- [3] 蒲广益. ANSYS WORKBENCH 基础教程与实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [4] 庞金才. PRO/E 参数化设计在垃圾收集车厢结构建模中的应用[J]. 中国高新区,2017(11):15-16.
- [5] 张明,王磊,赵志强. 重型自卸车车体结构有限元分析中的边界条件处理[J]. 机械设计与制造,2019,45(3):112-115.
- [6] 刘鸿文. 材料力学:第6版[M]. 北京:高等教育出版社,2017.

(上接第73页)

仅如此,系统操作人员可通过VR(虚拟现实)设备进入数字孪生虚拟车间,对焊接过程仿真画面进行直观分析,并针对各类复杂工况进行预演、调试,提升焊接生产决策的准确性^[4]。

4 结束语

本文总结了刮板输送机中部槽生产过程中智能化焊接技术的应用。首先阐述了中部槽的结构、功能及智能化焊接技术在提升作业精度和作业效率方面的优势;其次探讨智能化焊接设备的焊接结构与工艺优化、多传感器融合实时监测等智能化手段的应用。智能化焊接技术有效解决了传统人工焊接存在的多种问题,为刮板输送机中部槽生产提供可资借鉴的智能化方案,助力煤机行业实现高质量

发展。

参 考 文 献

- [1] 杨冰阳. 刮板输送机中部槽的设计及优化研究[J]. 科学技术创新,2024(8):225-228.
- [2] 冯春,沈节. 煤矿井下用刮板输送机中部槽再制造工艺研究[J]. 煤矿机械,2025,46(4):119-121.
- [3] 高佳俊,程永军,王波,等. 基于多方位的刮板输送机中部槽寿命优化方法研究[J]. 中国煤炭,2024,50(11):102-107.
- [4] 赵峰. 刮板输送机中部槽动态承载特性及耐磨性能研究[J]. 西部探矿工程,2024,36(3):50-52.