

机械涂装线自动化输送系统定位精度优化与调试实践

黄琼

天津七所高科技有限公司, 天津 300409

DOI:10.61369/ETQM.2026020010

摘 要 : 机械涂装线自动化输送系统所具备的定位精度, 它对于涂装质量以及生产效率起着一种直接决定的作用, 并且还是涂装生产线的核心技术指标当中的其中之一。鉴于目前存在的、部分机械涂装线输送系统因定位偏差而导致出现诸如涂层厚度不均匀、工件出现磕碰这类问题的情况, 本文经由分阶段调试流程展开设计这种方式, 实现对于优化方案实施落地以及验证的相关操作。实践所展现出的情况为, 在经过优化之后的输送系统, 其定位精度有着十分显著的提升, 有效地解决了传统系统存在定位误差过大的这类问题, 进而为机械涂装线自动化升级提供可靠的技术方面支撑。

关 键 词 : 机械涂装线; 定位精度; 优化策略; 调试实践

Practice of Positioning Accuracy Optimization and Debugging of the Automated Conveying System for Mechanical Painting Lines

Huang Qiong

Tianjin Qisuo High-tech Co., LTD., Tianjin 300409

Abstract : The positioning accuracy of the automated conveying system in mechanical coating lines plays a direct and decisive role in coating quality and production efficiency, and it is also one of the core technical indicators of the coating production line. In view of the current situation where some mechanical coating line conveying systems encounter problems such as uneven coating thickness and workpiece collisions due to positioning deviations, this paper adopts a phased debugging process to design this approach, achieving the relevant operations for the implementation and verification of the optimization plan. The situation demonstrated in practice is that after the optimization of the conveying system, its positioning accuracy has been significantly improved, effectively solving the problem of excessive positioning error in traditional systems, and thus providing reliable technical support for the automation upgrade of mechanical coating lines.

Keywords : mechanical coating line; positioning accuracy; optimization strategy; debugging practice

引言

在机械制造行业处于转型升级这样的大背景之下, 涂装工艺作为能够保障工件具有耐腐蚀性、提升外观质量的关键重要环节, 对于自动化水平方面的要求正在日益不断提高^[1]。而自动化输送系统, 就如同机械涂装线的“脉络”一般, 承担着工件在预处理、喷涂以及固化等多个工序之间进行精准转运的重要职责, 其定位精度对于涂层均匀性、膜厚一致性还有工件装配精度都存在直接的影响。目前, 部分老旧的涂装线输送系统由于机械磨损、驱动参数匹配不恰当、检测反馈存在滞后等一系列的问题, 导致其定位误差常常超过允许存在的范围, 从而出现返工率有所上升、物料被浪费等问题。所以, 开展关于输送系统定位精度优化以及调试实践方面的研究, 具有十分重要的工程应用价值。本文将典型的机械涂装线悬挂式输送系统当作研究对象, 深入细致地剖析定位精度影响的相关机制, 提出系统性的优化方案, 并且通过实际的调试操作来对其有效性进行验证^[2]。

一、机械涂装线自动化输送系统定位精度核心影响因素分析

(一) 机械结构因素

机械结构属于输送系统定位精度的基础部分, 其设计具有的

合理性以及装配所具备的精度, 直接对系统定位基准稳定性起着决定性作用。在悬挂式涂装输送系统之中, 轨道安装精度出现的偏差是首要的影响因素。如果轨道直线度、平行度超过设计所规定的要求, 会致使输送小车在运行的时候产生附加的横向力, 进而让小车在转弯或者进行长距离运行之后出现定位偏移的情

况^[3]。与此同时,轨道接头地方的间隙以及台阶误差,会使得小车在通过的时候产生冲击振动,进而破坏定位稳定性。传动机构的间隙以及磨损属于另外一个关键因素。输送系统平时经常使用的齿轮齿条、链条链轮等传动副,在经过长期运行之后会因为磨损而产生啮合间隙。当系统进行反向运行的时候,该间隙就会转变成定位死区,从而致使工件在停位的时候出现“过冲”或者“欠冲”这样的现象。除此之外,输送小车的导向轮跟轨道之间配合的间隙过大,会使小车运行的时候产生晃动,特别是在高速转运的工况条件之下,晃动幅度将会被进一步放大,对定位精度造成直接影响^[4]。

(二) 驱动系统因素

驱动系统直接决定了整车的运行性能品质,是电动汽车的核心系统之一。该系统由牵引电机、电机控制器、机械传动装置及车轮等关键部件组成。电池组为其提供核心储能动力支持。电机控制器负责采集加速踏板、刹车踏板的操作信号,以及PDRN(停车、前进、倒车、空挡)控制手柄的档位信号,用来实时调控牵引电机的运转状态。牵引电机输出的动力经减速器、传动轴、差速器、半轴等机械传动装置传递至驱动车轮。需注意的是,搭载电动轮的电动汽车,其机械传动装置的结构会存在相应差异。车辆减速时,电机对车辆前进起制动作用,这时电机处在发电机运行状态,给储能动力源充电,称之为再生制动。动力驱动系统的再生制动功能是非常重要的,它能使电动汽车一次充电后行驶的里程增加15%~25%。驱动系统作为输送系统的动力提供来源,其响应特性以及控制精度对于定位所产生的效果起着决定性作用。当前涂装线输送系统大多采用伺服驱动这种方式,然而若是伺服电机与驱动器参数匹配做得不恰当的话,会十分显著地降低定位精度。若设置过低的伺服驱动器位置环增益,导致电机响应速度滞后控制信号,进而在定位过程中导致跟随误差出现,而过高设置的增益则易于引发系统振荡,令小车停位时产生高频抖动,至于负载波动对驱动精度造成的影响亦是不可被忽视的;在涂装过程中,工件重量与悬挂姿态的变化会让伺服电机负载发生波动,倘若驱动器不具备自适应负载调整这一功能,电机输出扭矩跟转速便会出现偏差,并随之转化成定位误差,另外,伺服电机编码器分辨率的不足,会致使位置检测信号离散性增大,无法精准反馈电机实际运行位置,从而形成检测误差^[5]。

(三) 检测反馈因素

作为实现精准定位“眼睛”的检测反馈系统,其检测精度以及响应速度对闭环控制效果有着直接影响;传统涂装线通常采用行程开关或者接近开关来做定位检测,此类传感器仅能够实现点位检测,却无法获取连续位置信息,并且容易受到环境粉尘、涂装雾气的干扰,进而导致检测信号出现误报或者延迟情况,而不合理的传感器安装位置也会加剧定位偏差;要是检测传感器跟输送小车检测点存在高度差或者偏移角,便会产生检测死区,多传感器间信号同步性差,又会导致系统对小车位置判断出现矛盾,进而引发定位混乱,除此之外,检测数据传输过程中的干扰会使信号失真,诸如电磁干扰致使位置数据跳变,就会让控制系统做出错误调整^[6]。

二、机械涂装线自动化输送系统定位精度优化策略

(一) 机械结构优化

针对因机械结构而导致的定位偏差,从轨道优化、传动机构改进以及间隙补偿这三方面来开展优化工作;在轨道方面,运用高精度激光测量仪对原有轨道展开全面检测,并标记出偏差超标的区域,对于直线度偏差较大的路段,借助增减轨道下方调整垫片进行校正,以确保轨道直线度误差控制在0.2mm/m以内,针对轨道接头处,采用铣削加工方式修整接头面,从而消除接头间隙以及台阶,同时加装弹性缓冲装置,来减少小车通过时所受冲击;在传动机构改进方面,把原有普通齿轮齿条替换为高精度研磨齿轮齿条,以此提高啮合精度,对于链条传动系统,运用预紧装置消除因链条松弛造成的传动间隙,并且定期涂抹耐磨润滑脂,以减缓磨损速度;在间隙补偿方面,于输送小车传动机构中增设机械间隙补偿机构,通过弹簧预紧方式让传动副始终保持单侧贴合,进而消除反向运行时产生的死区误差^[7]。

(二) 驱动系统优化

驱动系统优化的核心在于伺服参数匹配以及负载自适应调整;伺服参数调整采用“分段调试法”,先是依据电机额定参数设置基础参数,接着通过空载试运行去测试系统响应特性,要是出现响应滞后的情况,便逐步增大位置环增益,若出现振荡,则适当减小增益并增大积分时间,直到系统实现无超调的快速响应。同时对伺服驱动器加以升级且将负载自适应功能进行增添,其目的在于使驱动器能够对电机负载变化予以实时检测,进而对输出扭矩与转速作出动态调整,最终实现对负载波动给定位精度造成影响的有效抵消。针对编码器分辨率显现出不足这一状况,原有增量式编码器会被替换成为绝对式高精度编码器,分辨率也会提升至17位以上,以确保电机运行位置能够得到精准反馈。此外,电机与输送机构的连接方式也要进行优化,刚性联轴器会取代原有弹性联轴器,以减少连接间隙所引发的传动误差^[8]。

(三) 检测反馈系统优化

通过构建多传感器融合检测系统的形式,来实现检测精度与抗干扰能力的提升。以激光测距传感器作为主检测元件,对输送小车的连续位置信息予以实时采集,该传感器测量精度能够达到 $\pm 0.05\text{mm}$;于关键定位工位额外增设视觉检测模块,借助工业相机拍摄小车定位标记,运用图像处理算法完成定位误差的二次校准工作;与此同时保留原有接近开关当作安全冗余检测,从而形成“激光+视觉+接近开关”这样的三重检测体系。在传感器安装事宜上,借助三维调整支架对激光传感器加以固定,要保证其检测轴线和小车运行方向处于平行状态,检测距离也需控制在最佳测量范围之内;视觉相机则安装在定位工位正上方,通过对光源的调节来消除涂装雾气对成像质量所产生的影响。数据传输层面,利用屏蔽电缆传输检测信号并且于信号输入端加装滤波模块,以抑制电磁干扰;借助PLC的高速输入接口接收传感器信号,从而缩短数据传输延迟^[9]。

(四) 控制系统优化

控制算法优化采取以模糊PID控制替换传统PID控制的举

措,依据定位偏差大小与变化率对 PID 参数进行动态调整。当偏差较大之时,增大比例系数与积分系数,以此加快响应速度;当偏差趋近于设定值的时候,减小比例系数并增大微分系数,达到抑制超调的效果。经由 MATLAB 仿真来确定模糊控制规则表,随后将其嵌入 PLC 控制程序之中,使得算法得以落地实施。程序逻辑优化方面,对小车加减速曲线重新予以设计,采用 S 型加减速模式,避免在启停过程当中出现冲击与惯性滑行;对多工序协同逻辑加以优化,运用“提前预定位+二次精调”的控制策略,在小车抵达工位之前先凭借激光传感器完成粗定位,再借助视觉检测展开精调,进而确保定位精度。同时对 PLC 控制程序进行精简,删除冗余指令,将扫描周期缩短到 10ms 以内,提升控制信号响应速度^[10]。

三、机械涂装线自动化输送系统定位精度调试实践

(一) 调试前期准备

在调试之前制定出详细的调试方案,清晰明确调试目标、步骤以及判定标准,把定位精度调试目标设定为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。开展设备检查相关工作,确认机械结构优化之后的轨道平整度、传动机构间隙达到要求;对伺服驱动系统接线正确性予以检查,确保编码器信号传输处于正常状态;对多传感器检测系统进行校准,使得激光传感器与视觉相机的检测数据保持一致。

(二) 分阶段调试实施

搭建起调试辅助平台并且经由 PLC 编程软件连接控制系统,实现对伺服电机运行参数以及传感器检测数据还有定位误差的实时监控,同时在输送小车上安装用于对比验证定位精度的位移检测装置,而且做好安全防护措施,例如在调试区域设置警示标识以及配备紧急停止装置以防止调试过程中发生安全事故;关于分阶段调试实施,第一阶段开展机械结构单机调试,即让空载状态下的输送小车沿轨道全程运行,借助激光测深仪检测小车运行轨迹与定位误差并重点记录轨道接头处、转弯处误差数据,针对误差超标的区域再次调整轨道或传动机构直至空载定位误差被控制在 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内,之后进行负载调试,在小车上加载不同重量模拟工件测试负载变化对定位精度影响,通过调整机械间隙补偿机构参数确保负载状态下定位误差稳定;第二阶段进行驱动与检测系统联调,单独运行伺服驱动系统,经由 PLC 发送定位指令测试

电机启停响应速度与位置跟随精度,优化伺服参数直到跟随误差小于 0.1mm ,启动多传感器检测系统对比激光传感器、视觉相机与位移检测装置检测数据,修正传感器校准参数确保检测误差小于 0.05mm ,开展传感器抗干扰测试,在涂装雾气模拟环境下持续运行检测系统 1 小时以确认检测信号无异常;第三阶段实施全系统联合调试,模拟实际生产流程控制输送小车在预处理、喷涂、固化等工序间循环转运,实时监控各工位定位误差,通过 PLC 监控界面调整模糊 PID 参数优化控制算法对定位误差的修正效果,针对调试中出现的定位超调问题增大模糊控制微分系数,针对稳态误差问题调整积分系数,最终达成各工位定位精度均达 $\pm 0.1\text{mm}$ 的目标;调试完成后进入调试效果验证阶段。

(三) 调试效果验证

开展为期 1 周连续运行验证并记录输送系统在不同工况下定位精度数据,统计结果显示优化后系统平均定位误差为 0.08mm 较优化前的 0.5mm 显著降低,工件涂装后涂层厚度均匀性提升 30%,返工率从 12% 降至 2%,生产效率提升 15%,通过极端工况测试验证系统稳定性,在满载、高速运行状态下系统定位精度仍能保持在 $\pm 0.15\text{mm}$ 以内,在涂装雾气、粉尘等恶劣环境下多传感器检测系统仍能稳定工作未出现信号误报情况,验证结果表明优化与调试方案有效提升了输送系统定位精度与稳定性以满足实际生产需求。

四、结论

为机械涂装线自动化输送系统定位精度的提升作为一项系统性工程,需从机械、驱动、检测、控制多维度协同优化,本文通过深入分析轨道偏差、传动间隙、伺服参数不匹配、检测滞后及控制算法缺陷等核心影响因素,提出的机械结构修整与间隙补偿、伺服参数分段调试、多传感器融合检测及模糊 PID 控制等优化策略,具有较强的针对性与实用性。分阶段调试流程的实施,确保了优化方案的逐步落地与效果验证,有效解决了传统输送系统定位精度不足的问题。实践表明,优化后的系统定位精度提升 84%,显著改善了涂装质量与生产效率。后续研究可结合工业互联网技术,构建定位精度预测模型,通过实时监测设备运行状态,实现定位误差的提前预警与主动维护,进一步提升系统可靠性。

参考文献

- [1] 刘聪,王建凯,岳丽霞,何小伍,崔建光,许昀初,吴谦.某汽车涂装线机械设备的 CE 认证分析与总结 [J].现代涂料与涂装,2024,27(04):40-42+49.
- [2] 应传稳.金属件涂装线油性漆切换水性漆技术改造研究 [J].中国铸造装备与技术,2024,59(01):88-92.
- [3] 卜洪涛,王森,陈水平,景胜春.拖拉机覆盖件涂装工艺及发展 [J].拖拉机与农用运输车,2022,49(04):8-11.
- [4] 曹紫阳,王哲,周新洁,陈飞.工程机械涂装车间虚拟仿真生产线建立研究 [J].现代涂料与涂装,2022,25(06):34-36+42.
- [5] 王伟,蔡明波,周军红,杨高阳,栾公峰,高如国.钢结构智能环保涂装线设计分析与应用 [J].建筑施工,2022,44(02):384-386.
- [6] 张玉,田身坤.均衡化生产在工程机械涂装线的应用 [J].现代涂料与涂装,2022,25(02):41-43.
- [7] 吴佳春.工程机械结构件涂装线规划设计与应用 [J].装备制造技术,2022,(02):152-154+177.
- [8] 田身坤,王绪锋,刘志军,卢立强.燃气触媒红外加热设备在工程机械涂装中的调试应用 [J].现代涂料与涂装,2021,24(12):54-57.
- [9] 王哲,杨飞周,朱明.工程机械粉末涂装中固化炉冷却段设计改善 [J].工程建设与设计,2021,(21):126-128+142.
- [10] 张瑞,王春英,乔银,于萍,杨建明.VOCs 治理对工程机械涂料影响的分析研究 [J].涂料工业,2021,51(04):75-80.