

工业机器人机电一体化装配作业管控分析

赵志利 132335197912251486

敬业集团

摘要

工业机器人是机电一体化技术融合的典型产物，在现代制造业装配环节中已经成为核心生产设备，装配作业的管控水平直接决定着工业机器人的运行稳定性、装配精度与生产效率。本文围绕工业机器人机电一体化装配作业的管控问题展开分析，首先梳理了机电一体化装配作业的核心特征，从硬件装配精度管控、软件系统协同管控、作业流程标准化管控三个维度剖析当前工业机器人装配环节存在的管控漏洞，进而提出适配机电一体化特性的装配作业管控优化路径，为提升工业机器人装配质量、降低后期运行故障风险提供参考。

关键词

工业机器人；机电一体化；装配作业；管控优化

一、工业机器人机电一体化装配作业的核心特征

工业机器人本身是机械结构、驱动系统、控制单元、传感模块多类机电组件集成的产物，其装配作业相较于传统机械装配，呈现出鲜明的机电一体化融合特征。首先是装配对象的多学科耦合性，工业机器人装配不仅需要完成机械臂本体、传动机构等机械部件的定位连接，还需要同步完成伺服电机、编码器、控制器、传感器等电气电子元件的布线、校准与预调试，机械装配精度直接影响电气元件的运行状态，电气模块的参数校准又反过来约束机械结构的运动范围，任意环节的偏差都会引发连锁故障。

其次是装配精度要求的层级化差异，机械结构的形位公差通常控制在丝米级，而传感元件、信号接口的装配精度要求达到微米级，不同精度层级的装配工序对管控标准的要求完全不同，如果采用统一管控标准，要么会造成高精度环节精度不达标，要么会导致低精度环节过度管控浪费生产资源。最后是装配作业的动态调试属性，传统机械装配完成后即可交付验收，而工业机器人机电一体化装配需要边装配边调试，每完成一个核心模块的装配都需要进行通电测试、参数匹配，装配过程本身就是系统集成调试的过程，这就要求管控体系覆盖从零件入厂到整机交付的全流程，而不是仅针对最终成品

进行检验。

二、当前工业机器人机电一体化装配作业管控存在的主要问题

（一）硬件装配的精度管控体系不健全。当前多数制造企业针对工业机器人装配的精度管控，仍然沿用传统机械加工装配的管控逻辑，重点关注机械结构的尺寸公差，对电气电子元件的装配精度管控重视不足。比如在伺服电机与减速器的装配环节，多数企业仅管控轴孔配合的尺寸公差，忽略了电机输出轴与减速器输入轴的同轴度管控，微小的同轴度偏差会在工业机器人长期高速运行过程中引发持续振动，不仅会缩短轴承等传动部件的使用寿命，还会影响末端执行器的定位精度，而这类装配隐患在成品检验环节很难被及时发现。另外，针对传感器、视觉模块等高精度传感元件的装配，缺乏标准化的定位校准管控流程，很多企业依靠装配工人的经验进行手工校准，不同工人的操作偏差会导致同型号工业机器人的检测精度存在明显差异，影响产品性能的一致性。

（二）软件系统的协同管控存在盲区。工业机器人机电一体化装配不仅涉及硬件装配，还需要完成控制程序、运动算法的导入与参数匹配，当前很多企业的管控体系将软件调试排除在装配作业管控范围之外，认为软件调试属于研发环节的工作，装配环节仅负责硬件安装，这就导致硬件装配完成后，软件参数与硬件实际装配偏差不匹配，引发运行故障。比如工业机器人关节编码器的零点校准参数，需要根据编码器实际安装位置进行调整，如果装配过程中编码器的安装位置存在微小偏移，而控制程序仍然沿用默认校准参数，就会导致关节运动角度存在累计误差，长期运行后误差会不断放大，最终超出精度允许范围。

（三）作业流程的标准化管控落地不足。由于工业机器人机电一体化装配涉及多类工序，不同工序分属机械装配、电气安装、软件调试多个不同的作业班组，很多企业存在各班组管控标准不统一、工序交接责任不清晰的问题。比如上一班组完成机械臂本体装配后，仅对机械结构的尺寸进行检验，没有将装配过程中出现的微小偏差记录并传递给下一电气安装班组，电气班组按照标准位置安装传感元件后，就会导致整体精度偏差叠加。另外，很多中小制造企业的装配管控流程存在弹性空间，部分工序可以根据工人的经验调整装配顺序，而不同的装配顺序会导致不同的应力残留与精度偏差，最终影响工业机器人的整体性能，缺乏标准化管控流程约束就会导致产品质量波动较大。

三、工业机器人机电一体化装配作业管控的优化路径

（一）构建分层分级的硬件精度管控体系。针对机电一体化装配不同环节的精度要求差异，建立分层分级的精度管控标准，将装配零件分为机械结构件、传动组件、电气驱动件、传感检测件四个精度层级，每个层级制定对应的装配精度要求与检验管控流程。对于机械结构件，重点管控形位公差与连接强度；对于传动组件，重点管控配合同轴度与传动间隙；对于电气驱动件，重点管控接线牢固度与绝缘性能；对于传感检测件，重点管控安装定位精度与信号输出稳定性。

（二）完善软硬件协同的全流程管控机制。将软件参数调试与匹配纳入装配作业管控体系，建立硬件装配偏差与软件参数调整的对应管控规则，要求每完成一个核心机电模块的装配，都必须根据实际装配偏差调整对应的控制参数，形成“装配-检测-调参”的闭环管控流程。比如在编码器安装完成后，必须重新进行零点校准，将实际校准参数写入控制程序，并记录归档，严禁直接沿用默认参数。针对零件替代场景建立管控审批流程，更换元件品牌或型号时，必须由研发部门更新对应的控制参数与装配要求，装配班组按照更新后的要求完成作业后，需要进行专项兼容性测试，测试合格后方可进入下一道工序，从管控流程上避免软硬件不兼容的问题。

（三）推进装配作业流程的标准化落地。梳理工业机器人机电一体化装配的全工序流程，明确每一道工序的作业标准、检验要求与交接责任，形成标准化作业指导书，要求所有装配人员严格按照作业指导书执行，不得随意调整工序顺序或省略检验环节。建立工序交接签字确认制度，上一道工序完成检验后，由作业人员与检验人员共同签字确认，将装配数据与检验结果传递给下一道工序，下一道工序发现上道工序存在偏差时，可以拒绝接收并退回整改，避免偏差累计。

四、结语

工业机器人作为机电一体化技术的集成应用产物，其装配作业管控不能照搬传统机械装配的管控模式，必须贴合机电融合的特性构建对应的管控体系。当前工业机器人装配环节存在的精度管控不全面、软硬件协同管控缺失、流程标准化落地不足等问题，已经成为制约产品质量提升的重要因素，通过构建分层分级的硬件精度管控体系、完善软硬件协同全流程管控机制、推进标准化作业流程落地，可以有效提升工业机器人机电一体化装配作业的管控水平，降低产品后期运行故障风险，推动工业机器人制造质量的提升。

参考文献

- [1] 张铁, 蔡蒂. 工业机器人装配技术[M]. 机械工业出版社, 2020.
- [2] 王田苗, 胡建军. 我国工业机器人技术现状与产业化发展战略[J]. 机械工程学报, 2014, 50(9):1-13.
- [3] 王健, 王健. 机电一体化系统装配精度控制方法研究[J]. 制造业自动化, 2018, 40(12):141-144.