

# 机电一体化设备安装工艺及标准化研究

陈倩倩<sup>1,2</sup>

1. 山西焦化集团有限公司 山西 临汾 041606

2. 山西德力信电子科技有限公司 山西 临汾 041606

**摘要:** 本文围绕机电一体化设备的安装工艺展开系统性研究,深入剖析其安装流程、关键技术环节及常见问题,并在此基础上探讨构建科学、统一、可操作的安装标准化体系的必要性及路径。文章首先界定了机电一体化设备的内涵与特征,继而详细阐述了从基础准备、机械装配、电气布线到系统联调的全流程安装工艺要求;随后,系统梳理了当前国内外相关标准的现状与不足,提出了以“模块化、流程化、可追溯”为核心的标准化框架,并从技术规范、人员培训、质量控制及信息化管理四个维度构建了标准化实施体系。本研究旨在为机电一体化设备的高质量安装提供理论支撑与实践指导,推动行业安装水平的整体提升。

**关键词:** 机电一体化; 设备安装; 安装工艺; 标准化; 质量控制; 智能制造

## 引言

机电一体化设备集成了精密机械、微电子、计算机、自动控制、传感检测、伺服驱动及人工智能等多种技术,实现了设备的高精度、高效率、高柔性与高可靠性。然而,技术的先进性与复杂性也对设备的安装提出了前所未有的挑战。安装不仅是设备从“静态产品”转变为“动态系统”的关键环节,更是决定其全生命周期性能表现的基石。一个高质量的安装过程,能够确保设备各子系统间的无缝协同,最大限度地发挥其设计性能;反之,即使是世界一流的设备,若安装不当,也可能导致性能打折、故障频发,甚至提前报废。当前,我国机电一体化设备安装领域普遍存在“重设备、轻安装”的现象。安装工艺多依赖于老师傅的个人经验,缺乏系统化、标准化的指导文件;不同企业、不同项目间的安装流程差异巨大,难以保证质量的一致性;安装过程中的质量控制点模糊,追溯困难。这些问题严重制约了高端装备效能的发挥,也阻碍了我国制造业向高质量发展的转型。因此,系统研究机电一体化设备的安装工艺,并在此基础上构建一套科学、严谨、可推广的标准化体系,具有重大的理论价值与现实意义。

## 1 机电一体化设备的内涵与安装特征

### 1.1 机电一体化设备的定义与构成

机电一体化设备并非简单的“机械+电子”叠加,而是通过系统工程的方法,将机械本体、动力与驱动、传感检测、信息处理与控制、执行机构等要素有机融合,形成一个具有特定功能的智能化系统。其典型构成包括:(1)机械系统:机架、导轨、传动机构(齿轮、丝杠、皮带等)、执行机构(气缸、液压缸、电机等)。

(2)电气系统:主电源、控制电源、PLC/控制器、驱动器、传感器、执行器、线缆等。(3)控制系统:软件(PLC程序、HMI界面、上位机软件)、网络(现场总线、工业以太网)。(4)辅助系统:气动/液压系统、冷却/润滑系统、安全防护系统等。

### 1.2 安装过程的复杂性与协同性

机电一体化设备的安装过程呈现出高度的复杂性与协同性:(1)多专业交叉:安装过程涉及机械、电气、自动化、软件等多个专业领域的知识与技能,要求安装团队具备跨学科的综合能力。(2)高精度要求:设备的定位、水平度、同轴度、平行度等机械安装精度,直接影响到后续的运行平稳性与寿命。例如,数控机床的导轨安装误差需控制在微米级。(3)强耦合性:机械安装的精度会直接影响传感器的信号采集,进而影响控制系统的判断;电气干扰也可能导致机械执行机构的误动作<sup>[1]</sup>。各子系统间存在紧密的物理与信息耦合。(4)动态调试:安装并非静态的装配过程,而是包含了大量的动态调试环节,如参数整定、联动测试、安全功能验证等。这些特征决定了其安装工艺必须超越传统的“按图施工”模式,走向一个集规划、执行、验证、优化于一体的系统工程。

## 2 机电一体化设备安装工艺流程与关键技术

### 2.1 安装前准备阶段

安装前准备是确保设备顺利安装与稳定运行的基础,核心在于技术、场地、物料与人员的全面就绪。首先,需组织设计、制造、安装及使用各方开展技术交底,明确设备的外形尺寸、重量分布、接口坐标等静态参数,并厘清运行中的振动特性、热变形趋势及安全边

界,达成技术共识。其次,场地准备须超越简单平整:设备基础混凝土强度不低于C30,浇筑需提前28天完成以保证养护;基础平面度公差应 $\leq 2\text{mm/m}^2$ ,预埋螺栓位置偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ;高精度设备(如光刻机、测量机)还需独立防振基础。公用工程条件须精确匹配,如压缩空气露点温度 $< -20^\circ\text{C}$ 、洁净度达ISO8573-1Class2,以防气动元件受损。物料方面,除清点主机部件,还需核查高强度螺栓、特种润滑脂等辅材的型号与有效期。所有精密测量仪器(如0.01mm/m电子水平仪、1 $\mu\text{m}$ 激光干涉仪、5-500N·m数显扭矩扳手)均须具备有效计量校准证书,确保安装精度与质量。

## 2.2 机械系统安装阶段

设备吊装就位时,应采用专用吊具并严格遵循设备重心标识,避免因受力不均导致机架变形。机架调平是此阶段的首要工序,通常采用三点支撑法,使用高精度(0.01mm/m)电子水平仪在相互垂直的两个方向上反复测量与调整。调整垫铁的选择至关重要,对于中小型设备可采用斜垫铁组,而对于重型设备,则推荐使用可调式液压垫铁或环氧树脂灌浆料,后者能实现100%的接触面积,有效传递载荷并抑制高频振动。二次灌浆作业需在机架初调完成后24小时内进行,灌浆料应选用无收缩、早强型高强灌浆料(28天抗压强度 $\geq 60\text{MPa}$ ),灌浆过程需从一侧连续浇筑,并辅以振捣棒排除气泡,确保浆料密实填充<sup>[2]</sup>。传动机构的安装对同轴度要求极为苛刻。以伺服电机与减速机的连接为例,传统直尺塞尺法已无法满足现代设备需求,必须采用激光对中仪进行动态对中。操作时,需在电机与减速机联轴器上分别安装激光发射与接收单元,通过旋转测量获取0°、90°、180°、270°四个位置的偏差数据,软件会自动计算出需要调整的垫片厚度与左右位移量,最终将径向与轴向偏差均控制在0.02mm以内。对于长距离滚珠丝杠的安装,除保证两端轴承座的同轴度外,还需考虑丝杠的自重挠度补偿,通常在丝杠中段设置辅助支撑,并在预拉伸状态下进行锁紧,以抵消热膨胀带来的长度变化。所有高强度螺栓的紧固必须采用“十字交叉、分步预紧”的工艺,例如,对于M24的10.9级螺栓,应分三次(30%、60%、100%)施加最终扭矩(约500N·m),并在24小时后进行复紧,以消除材料蠕变带来的预紧力损失。

## 2.3 电气与控制系统安装阶段

线缆敷设是此阶段的基础工作。动力电缆(如380V主电源线)与信号电缆(如编码器线、传感器线)必须分层敷设于不同的线槽内,垂直间距不小于300mm,若必须平行敷设,平行段长度应尽可能短,且间距不小于

600mm。对于模拟量信号线(如4-20mA)或高速通信线(如EtherCAT),必须采用双层屏蔽电缆,其外层屏蔽在两端接地,内层屏蔽仅在信号源端单点接地,以形成有效的“法拉第笼”效应,阻断共模干扰。所有线缆在接线端子处应预留5-10cm的余量,并使用专用剥线钳与压线钳制作冷压端头,严禁使用电工刀刮削绝缘层,以防损伤导体<sup>[3]</sup>。元器件的安装需考虑热管理与电磁环境。PLC模块、伺服驱动器等发热元件应安装在带有强制风冷或液冷的电控柜内,柜内温度应通过温控器维持在35℃以下。为抑制柜内电磁干扰,所有金属安装板、导轨均需通过黄绿双色接地线(截面积 $\geq 4\text{mm}^2$ )可靠连接至柜体接地排,最终汇入车间等电位接地网,接地电阻应小于1 $\Omega$ 。安全回路的构建是重中之重。根据ISO13849-1标准,安全回路必须采用冗余设计(如双通道+监控),所用安全继电器、安全PLC模块必须具备相应的PL或SIL认证。在接线完成后,必须使用专用的安全回路测试仪,模拟急停按钮按下、安全门打开等故障状态,验证系统能否在规定的安全停机时间内(通常 $< 100\text{ms}$ )切断所有危险动力源,并锁定重启权限,直至故障被手动复位。

## 2.4 系统联调与验收阶段

单机调试需完成伺服轴的“零点标定”和“刚性测试”:前者通过机械原点定位,并辅以栅格偏移补偿消除编码器误差;后者通过阶跃或扫频指令测试系统响应,调整速度环(Kv)、位置环(Kp)增益及积分时间(Ti),在不振荡前提下优化动态性能。联动调试强调多轴或多机器人间的逻辑时序同步,通常由主控制器(如PLC)通过EtherCAT等协议分发同步时钟信号,实现微秒级动作协同,并通过“DryRun”空跑测试结合碰撞检测或激光扫描验证路径安全。最终验收须在标准工况下进行,如数控机床需依ISO230标准,用激光干涉仪测定定位与重复定位精度,用球杆仪检测圆弧插补精度,并进行72小时满负荷运行,记录温升、振动等指标。所有数据须与出厂报告及合同技术条款比对,形成具法律效力的验收文件,作为质保与运维依据。

## 3 机电一体化设备安装标准化体系构建

### 3.1 标准化建设的必要性与目标

面对当前安装领域存在的经验依赖性强、质量波动大、效率低下等突出问题,推行标准化建设已成为行业发展的必然选择。标准化的核心价值在于将隐性的个人经验转化为显性的、可复制的组织知识,从而在不同项目、不同团队间实现安装质量的一致性。其根本目标不仅在于统一操作规范、消除质量隐患,更在于通过流程

优化与知识沉淀,系统性地提升安装效率、保障人员与设备安全,并为设备全生命周期的数字化管理奠定坚实的数据基础。

### 3.2 标准化体系的核心框架

为实现上述目标,本文提出构建一个以“模块化、流程化、可追溯”为核心特征的标准化框架。该框架首先将复杂的整体安装过程科学地分解为一系列独立、标准的作业模块(SOP),如“机架调平作业模块”、“伺服电机对中安装模块”或“安全回路功能测试模块”等。每个模块都包含明确的作业目标、详细的操作步骤、关键的质量控制点(QCP)以及量化的验收标准,使得任何经过培训的人员都能按图索骥,准确执行。其次,这些独立的SOP模块并非孤立存在,而是依据设备的内在逻辑与安装时序,被有机地串联成一张清晰、完整的安装流程图,明确了各环节的先后顺序、输入输出关系、责任主体及时间节点,实现了从离散操作到系统流程的跃升<sup>[4]</sup>。最后,为确保过程可控、结果可溯,该框架强调全过程的数据留痕。通过引入二维码、RFID标签或移动终端APP等信息化手段,自动采集并记录每个作业模块的执行人、执行时间、所用工具、实测数据等关键信息,形成一份不可篡改的电子化安装档案,为后续的质量追溯、故障分析及持续改进提供坚实的数据支撑。

### 3.3 标准化体系的实施维度

要将上述框架落地生根,必须从四个关键维度协同推进。在技术规范层面,应组织行业专家与一线工程师共同编制《机电一体化设备安装技术规范》,将抽象的原则转化为具体、可执行的技术条款,对诸如水平度公差、螺栓紧固扭矩、线缆弯曲半径等关键参数给出明确的量化指标。在人员技能层面,需建立一套与标准化作业相匹配的技能认证与培训体系,开发标准化的培训课程与考核题库,确保每一位上岗人员都具备执行相应SOP模块所需的知识与能力。在质量控制层面,必须在安装流

程的关键节点设置强制性的质量控制点(QCP),实行“上道工序不合格,下道工序不接收”的原则,并辅以首件检验、过程巡检和最终检验的三级检验制度,将质量问题扼杀在萌芽状态。在信息化管理层面,应积极引入或开发专业的设备安装项目管理软件,将任务派发、进度跟踪、数据采集、文档管理等环节全面数字化,并与企业现有的ERP、MES等系统进行深度集成,打通从安装到运维的数据链路,实现真正的全生命周期管理。

## 4 结语

本文系统研究了机电一体化设备的安装工艺,并创新性地提出了以“模块化、流程化、可追溯”为核心的标准化体系。研究表明,高质量的安装是保障机电一体化设备性能发挥的关键,而标准化是实现高质量安装的必由之路。通过构建覆盖技术、人员、质量、信息四个维度的标准化实施体系,能够有效解决当前安装领域存在的诸多痛点,显著提升安装效率与质量,降低项目风险与成本。未来,随着数字孪生(DigitalTwin)、增强现实(AR)等新技术的发展,机电一体化设备的安装标准化将迈向更高层次。例如,利用数字孪生模型进行安装过程的虚拟预演与干涉检查;通过AR眼镜为现场工程师提供实时的SOP指导与数据叠加。这些技术将进一步推动安装工艺向智能化、可视化、精准化方向发展,为我国装备制造业的高质量发展注入新的动力。

## 参考文献

- [1]张洁琼.机电一体化设备的安装技术分析[J].集成电路应用,2023,40(09):218-219.
- [2]林桂香.机电一体化设备安装要点及保障措施[J].造纸装备及材料,2025,54(05):49-51.
- [3]陈剑.机电一体化设备安装技术要点分析[J].中国机械,2023,(36):24-27.
- [4]王凤安.机电一体化设备安装技术要点探究[J].中国设备工程,2022,(23):232-234.