

非标设备安装的精度控制与技术挑战

张洪明 王致才 齐 祥 袁梦丹 徐炳刚

中国华冶科工集团有限公司天津分公司 天津 300270

摘 要：本文聚焦非标设备安装的精度控制与技术挑战。先阐述精度控制理论基础，包括核心指标、误差来源分类及控制原则。接着剖析技术挑战，如定制化设计的兼容性、复杂环境的不确定性、动态与静态精度平衡及检测校准局限。随后介绍精度控制关键技术与创新方法，涵盖数字化安装、智能误差补偿等。最后提出应对策略，如跨学科协同设计等，为非标设备安装提供全面指导。

关键词：非标设备；安装精度；误差补偿；技术挑战；数字化控制

1 非标设备安装精度控制的理论基础

1.1 精度控制的核心指标

非标设备安装精度控制核心指标贯穿设备全生命周期。位置精度是基础，决定设备部件空间位置关系。如大型非标机械加工设备，主轴与工作台面位置偏差需极小，否则零件尺寸易超差。几何精度反映部件形状、方向和位置的准确度，高精度非标光学设备镜面的平面度、平行度等几何精度影响成像质量，微小变形会导致成像问题。运动精度侧重设备运行动态性能，非标自动化生产线输送设备的速度稳定性、加速度控制和定位精度影响物料输送。重复定位精度体现设备多次重复执行动作时到达相同位置的准确度，在半导体制造设备等高精度重复操作设备中，它直接影响芯片制造良品率。

1.2 误差来源分类

非标设备安装误差来源广泛复杂，主要分四类。设计误差源于设计阶段不完善，设计师对使用场景等理解不深或计算失误，导致设计参数偏差，如非标液压设备参数计算不准会影响运行^[1]。制造误差在零部件加工和装配时产生，受加工设备精度、工艺和人员技能影响，如机械加工轴类零件时车床精度或切削参数不当会使尺寸有偏差。安装误差常见于安装过程，安装人员操作、工艺和工具问题会导致安装位置等偏差，如大型设备安装基准不准影响整体精度。环境误差由安装和使用环境引起，温度、湿度、振动、灰尘等会影响设备精度。

1.3 精度控制原则

非标设备安装精度控制需遵循基本原则。预防为主原则要求在设计、制造、安装各环节提前考虑影响精度因素并预防。如设计优化方案，制造把控工艺和质量，安装制定规范并培训人员。全过程控制原则强调对安装各环节全面监控，从运输、吊装到调试验收都可能影响精度，要建立质量控制体系，如运输采取包装固定措施，吊装使用专

业工具。动态调整原则是根据安装实际情况及时调整方案 and 措施，如零部件尺寸偏差时通过调整相关部件或垫片补偿保证精度。经济合理原则是在保证精度前提下考虑成本效益，选择精度控制方法和技术时要综合评估成本效果，避免过度追求高精度致成本大增。

2 非标设备安装的技术挑战

2.1 定制化设计带来的兼容性问题

非标设备的定制化设计是其显著特点之一，但这也带来了诸多兼容性问题。由于每个非标设备都是根据特定的用户需求和场景进行设计的，其结构、功能和接口等方面往往具有独特性。这就导致在设备安装过程中，可能会出现与其他相关设备或系统不兼容的情况。例如，在一大型工业生产线上，需要安装一台定制化的非标物流输送设备。该设备的设计是为了满足特定的物料输送速度和方向要求，其接口尺寸和通信协议与生产线上原有的其他设备存在差异。在安装过程中，发现该物流输送设备无法与相邻的加工设备进行顺畅的连接和数据交互，导致物料在输送过程中出现卡顿、错位等问题，影响了整个生产线的正常运行。定制化设计还可能导致设备的零部件与通用零部件不兼容。由于非标设备的特殊性，其一些零部件可能需要根据设备的具体要求进行定制加工，这些定制零部件的规格、尺寸和性能可能与市场上通用的零部件不同。在设备维修和更换零部件时，可能会面临找不到合适替代零部件的困境，增加了设备的维修成本和停机时间。

2.2 复杂环境下的安装不确定性

非标设备常常需要在复杂的环境下进行安装，这些环境因素给安装工作带来了很大的不确定性。这就要求安装人员在安装过程中必须严格遵守安全规范，采取相应的防护措施，否则可能会引发安全事故。复杂的地质条件也会对设备安装产生影响，如果设备安装在地基不

稳定的区域,可能会导致设备在运行过程中出现沉降、倾斜等问题,影响设备的精度和稳定性^[2]。

2.3 动态性能与静态精度的平衡

非标设备在运行过程中既需要具备较高的静态精度,以保证设备在静止状态下的准确性和稳定性;又需要有良好的动态性能,以满足设备在高速运动、频繁启停等动态工况下的正常运行。然而,在实际的安装和使用过程中,要实现动态性能与静态精度的平衡并非易事。但是,如果过于追求主轴的动态性能,可能会采用一些轻量化的设计和高精度的加工工艺,这可能会导致主轴的静态刚度下降,在机床静止时出现微小的变形,影响机床的静态精度。反之,如果过于注重静态精度,采用较厚的材料和保守的设计,可能会增加主轴的质量和惯性,降低机床的动态性能,影响加工效率和表面质量。设备的动态性能和静态精度还会受到安装工艺的影响。在安装过程中,如果安装方法不当,可能会导致设备的动态性能和静态精度之间出现矛盾。

2.4 检测与校准技术局限

准确的检测与校准是保证非标设备安装精度的重要环节,但目前检测与校准技术还存在一定的局限性。一方面,现有的检测设备和技術可能无法满足高精度非标设备的检测需求。对于一些微米级甚至纳米级精度的非标设备,普通的检测仪器可能无法达到足够的检测精度,导致检测结果不准确,无法及时发现设备存在的精度问题。例如,在高精度的非标光学测量设备安装中,需要对其光学系统的像差、分辨率等参数进行精确检测。然而,目前市场上的一些光学检测设备的精度和分辨率有限,无法满足该设备的检测要求,可能需要采用更先进的检测技术,如激光干涉测量、全息测量等,但这些技术往往成本较高,操作复杂,限制了其在实际检测中的应用。

3 精度控制的关键技术与创新方法

3.1 数字化安装技术

数字化安装技术是利用先进的计算机技术、传感器技术和通信技术,实现对非标设备安装过程的数字化监控和管理。通过在设备上安装各种传感器,如位移传感器、角度传感器、力传感器等,可以实时采集设备的安装位置、姿态、受力等信息,并将这些信息传输到计算机控制系统中^[3]。计算机控制系统可以对采集到的数据进行分析 and 处理,及时发现安装过程中存在的偏差和问题,并给出相应的调整指令。数字化安装技术还可以实现安装过程的可视化。通过三维建模和虚拟现实技术,可以在计算机上模拟设备的安装过程,让安装人员提前

了解安装步骤和注意事项,提高安装效率和质量。同时,在安装过程中,可以将实际的安装情况与虚拟模型进行对比,及时发现和纠正安装偏差,保证安装精度。

3.2 智能误差补偿系统

智能误差补偿系统是一种能够自动检测和补偿设备安装误差的先进技术。该系统通过集成多种传感器和智能算法,实时监测设备的运行状态和误差情况,并根据误差的大小和方向,自动调整设备的参数或结构,以实现误差的补偿。例如,在高精度的非标数控机床中,智能误差补偿系统可以实时监测机床的主轴回转误差、导轨直线度误差等,并通过调整机床的伺服系统参数或使用微位移补偿装置,对误差进行实时补偿。这样可以在不改变机床机械结构的情况下,显著提高机床的加工精度和稳定性。智能误差补偿系统还具有自适应能力,能够根据设备的使用环境和工况变化,自动调整补偿策略。

3.3 模块化与标准化设计

模块化与标准化设计是提高非标设备安装精度和效率的重要方法。模块化设计是将设备分解为多个独立的模块,每个模块都具有特定的功能和接口,通过标准化的连接方式进行组装。这样可以使设备的制造和安装过程更加规范化和标准化,减少因零部件差异和安装工艺不一致而导致的误差。例如,在非标自动化生产线的设计中,采用模块化设计可以将生产线划分为输送模块、加工模块、检测模块等,每个模块都可以独立进行制造和调试。在安装过程中,只需按照标准化的接口将各个模块进行连接和组装,即可快速完成生产线的安装,大大缩短了安装周期,同时提高了安装精度。标准化设计则是制定统一的设计标准和规范,使设备的零部件和接口具有通用性和互换性。通过采用标准化的零部件和接口,可以减少因零部件不匹配而导致的安装问题,提高设备的兼容性和可维护性。

3.4 环境控制技术

环境控制技术是针对复杂环境对非标设备安装精度的影响而采取的一系列措施。通过控制安装环境的温度、湿度、振动、灰尘等因素,可以为设备的安装提供一个稳定、适宜的环境,减少环境因素对设备精度的影响。例如,在高精度的非标电子设备安装车间,采用恒温恒湿空调系统,将车间的温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,湿度控制在 $50\% \pm 5\%$,可以有效避免温度和湿度变化对电子元件性能的影响,保证设备的测量精度和稳定性。在车间内设置减振基础和隔振装置,可以减少外界振动对设备安装的干扰,提高设备的安装精度。环境控制技术还包括对安装现场的清洁管理。通过定期清扫安装现场,

减少灰尘和杂物对设备的影响，可以防止灰尘进入设备内部，影响设备的运行精度和使用寿命。

4 非标设备安装技术挑战的应对策略

4.1 跨学科协同设计

非标设备安装涉及机械设计、电气控制、自动化技术、材料科学等多个学科领域，因此跨学科协同设计是应对安装技术挑战的重要策略。通过组建跨学科的设计团队，将不同学科的专业人员集中在一起，共同参与设备的设计和安装方案制定，可以充分发挥各学科的优势，解决单一学科难以解决的问题。例如，在设计一台复杂的非标机器人设备时，机械设计人员负责机器人的机械结构设计和运动学分析，电气控制人员负责机器人的电气系统设计和控制算法开发，自动化技术人员负责机器人的传感器选型和集成，材料科学人员负责机器人零部件的材料选择和性能优化。通过跨学科协同设计，可以确保机器人的设计在机械性能、电气性能、自动化程度和材料可靠性等方面都达到最优，从而提高设备的安装精度和运行性能。跨学科协同设计还可以促进不同学科之间的交流和融合，激发创新灵感。在设计过程中，各学科专业人员可以相互启发，共同探索新的设计理念和方法，为解决非标设备安装中的技术难题提供新的思路 and 方案。

4.2 全流程精度链管理

全流程精度链管理是对非标设备从设计、制造、运输、安装到调试和运行的整个生命周期进行精度控制的管理方法。例如，在设计阶段，根据设备的最终精度要求，确定各个环节的精度分配，确保设计精度能够满足整体精度要求。在制造阶段，严格控制零部件的加工精度和装配精度，对关键零部件进行全检和特殊处理。在运输阶段，采取合适的包装和固定措施，防止设备在运输过程中受到损坏和变形。在安装阶段，按照精度链模型的要求，制定详细的安装工艺和操作规范，对安装过程进行严格监控和管理。在调试和运行阶段，及时对设备的精度进行检测和调整，确保设备始终保持较高的精度水平。全流程精度链管理可以实现设备精度的系统化和精细化控制，避免出现某个环节的精度失控而导致整个设备精度下降的情况。通过对精度链的分析和优化，

可以不断提高设备的精度和可靠性，降低设备的制造成本和使用成本。

4.3 人员技能提升

人员技能水平是影响非标设备安装精度的关键因素之一。因此，提升安装人员的专业技能和综合素质是应对安装技术挑战的重要举措。组织安装人员参加数字化安装技术、智能误差补偿系统等新技术的培训课程，让他们了解这些技术的原理和应用方法，并能够在实际安装中熟练运用^[4]。

4.4 政策与标准完善

政策与标准的完善对于规范非标设备安装市场、提高安装质量具有重要意义。政府和相关部门应制定和完善相关的政策法规，加强对非标设备安装行业的监管，规范安装企业的资质认证和市场准入，打击非法安装和不正当竞争行为，保障安装市场的健康有序发展。同时，行业协会和标准化组织应加快制定和完善非标设备安装的技术标准和规范，明确安装过程中的各项技术要求和质量控制指标。通过完善政策和标准，可以提高非标设备安装的整体水平，促进安装行业的规范化、标准化发展。

结束语

非标设备安装的精度控制与技术挑战是复杂且关键的问题，涉及多方面的理论、技术与实际难题。通过对其理论基础、技术挑战、关键技术及应对策略的深入探讨，明确了保障安装精度的方向与方法。未来，需持续推进技术创新、加强跨学科合作、完善政策标准，不断提升安装人员技能，以更好地应对挑战，推动非标设备安装行业朝着更高精度、更高效的方向发展。

参考文献

- [1]徐演臣.关于非标设备制作安装质量通病防治的探究[J].中国设备工程,2022(06):197-198.
- [2]李延生.关于非标设备安装的质量控制对策思考[J].居舍,2022(11):162-164.
- [3]吕雷,顾玉娜.非标设备的设计与制造[J].中国新技术新产品,2021(6):61-61,62.
- [4]唐华琚.非标吊篮在电梯安装作业中的信息化应用[J].建设机械技术与管理,2024,37(2):93-97.