

数字化技术在大型设备安装调试过程中的应用实践

刘路遥

中油（新疆）石油工程有限公司 新疆 克拉玛依 834000

【摘要】：为解决大型设备安装调试周期长、精度管控难、安全与成本风险高等现实问题，开展数字化技术在安装调试全过程中的应用实践研究。依托数字孪生、三维建模、虚拟仿真与数据协同等技术，构建设备1:1数字化模型实现安装基准精准定位，建立全流程数据交互体系支撑动态管控，通过虚拟仿真完成调试方案前置预演与验证。实践表明，数字化技术可有效压缩安装调试周期，提升设备投运精度与运行稳定性，降低现场实施风险，为大型设备安装调试提供可借鉴的数字化实施路径与技术支撑，对推动工程实施高效化、精准化转型具有重要意义。

【关键词】：数字化技术；大型设备；安装调试；数字孪生；虚拟仿真

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.049

随着工业装备向大型化、集成化、智能化方向发展，大型设备安装调试已成为工程实施的关键环节，直接影响设备投运质量与运行寿命。传统安装调试模式依赖人工经验、纸质图纸与现场试错，存在精度控制不足、流程协同不畅、风险隐患突出等问题，难以满足现代工程高质量建设要求。数字化技术的快速普及为破解上述难题提供了有效路径，数字孪生、虚拟仿真、数据协同等技术逐步应用于工程现场。基于此，本文围绕大型设备安装调试全过程，探索数字化技术的落地应用方式，系统分析实践路径与实施成效，为提升安装调试效率、保障工程质量提供理论参考与实践依据。

1 大型设备安装调试的现实痛点

大型设备安装调试受现场环境、装配精度及协同配合等多重因素制约，整体实施难度较高。传统模式依赖人工测量与经验判断，安装基准确定存在偏差，关键部件对接与定位难以达到标准要求，易引发装配误差累积。设备各系统接口匹配度缺乏前置校验手段，现场装配与接线作业依赖纸质图纸与人工核对，信息传递滞后且易出现错漏。调试环节多采用线下逐点测试方式，参数配置依赖反复试凑，协同运行逻辑无法提前验证，导致调试周期被动延长^[1]。现场作业空间受限、设备体量庞大，人工操作存在安全隐患，故障排查依赖现场拆解与逐一检测，问题定位效率低下，难以满足高效稳定的安装调试需求。

2 数字化技术赋能安装调试全过程实践

2.1 数字化建模实现安装基准精准定位

依托三维建模与物理引擎构建大型设备1:1数字孪生体，完整还原设备结构尺寸、装配关系与运动约束，导入现场实测环境数据形成与物理场景高度一致的虚拟空间，实现物理现场与虚拟场景的全要素匹配。通过坐标标定与特征匹配算法提取设备安装关键基准点，将虚拟基准与物理现场进行精准映射，

有效消除人工测量带来的定位偏差与误差累积。对关键对接面、运动副等核心部位赋予高精度几何属性，设置严格约束条件与公差范围，形成可量化、可追溯、可校验的安装基准体系。该方式彻底摆脱传统纸质图纸与经验定位的固有限制，以统一的数字化模型作为安装基准依据，为现场装配提供稳定且精准的定位参照，全面保障安装作业的一致性、规范性与高精度落地。见图1。

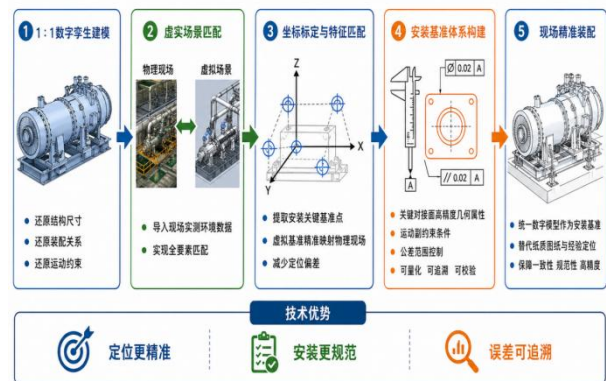


图1 基于数字孪生的大型设备安装精准定位示意图

2.2 数据协同支撑安装流程动态管控

构建跨环节数据交互通道，基于TCP协议与工业总线实现设备状态、作业进度、参数信息的实时传输，保障现场数据稳定高效上传与指令快速下达。整合安装过程中的尺寸检测、部件对接、接口匹配等多维度数据，形成覆盖全流程的动态数据集，为现场作业与后台管控提供同步联动的数据支撑^[2]。对安装工序进行节点化拆解与数据化绑定，实时监测各工序执行状态与偏差信息，快速识别异常情况并触发预警机制。打破各专业、各环节之间的信息孤岛，实现技术端、操作端、管控端之间的数据互通与业务协同，推动安装流程由被动管控向主动预判转型，以数据驱动持续提升工序衔接效率与全过程管控精

度。

2.3 虚拟仿真完成调试方案预演验证

依托虚拟现实引擎搭建高保真调试仿真环境,加载设备完整数字孪生体与底层控制逻辑,构建与物理现场高度契合的调试场景。将调试参数、控制程序及多设备协同逻辑统一导入虚拟系统,开展全流程动作仿真与复杂工况模拟,提前校验参数配置合理性与设备间协同匹配性。通过虚拟传感器实时采集运行状态数据,精准分析运动轨迹、动作时序与受力分布状态,高效识别调试环节潜在风险与逻辑冲突问题。在虚拟环境中开展多轮迭代优化与方案修正,形成成熟可行、可直接落地的调试方案,有效避免现场反复试错造成的工期延误与设备损耗,为物理现场调试工作提供稳定可靠的前置验证与技术支持。

3 数字化应用驱动安装调试效能升级

3.1 压缩安装调试全周期耗时

数字化技术将现场实测、基准定位、流程管控与仿真预演形成闭环作业模式,替代传统反复拆装与现场试凑的作业方式。数字孪生模型可快速完成安装基准标定与工序路径规划,减少现场测量与定位耗时。数据协同体系实现工序信息实时同步,消除环节等待与信息传递延误,缩短工序衔接空耗时间。虚拟调试提前完成参数优化与逻辑验证,大幅减少现场调试次数,规避因方案不合理导致的返工。虚实交互通道保障指令快速下发与反馈,整体缩短安装调试总时长,提升项目推进节奏,为同类大型设备高效实施提供可量化的时间管控参考。

3.2 提升设备投运稳定性与精度

数字化建模与精准定位技术严格把控安装基准误差,从源头阻断尺寸偏差逐级累积,避免因定位不准对设备整体运行状态造成持续性影响。数据化管控全程留存装配参数、检测数值与对接结果,形成完整可追溯的实施记录,确保关键部件对接精度始终符合设计与规范要求。虚拟仿真针对设备运行时序、

受力分布、多机协同逻辑开展多工况校验,持续优化控制参数与动作匹配关系,消除隐藏在系统内部的运行缺陷^[3]。支运装备直线度协同控制模型实时监测并修正姿态偏差,保持设备运行轨迹与工作姿态稳定可靠。高精度的安装质量与经过迭代优化的调试参数相互支撑,显著提升设备投运后的运行平稳性,有效降低运行故障发生率,为设备长期安全稳定运行筑牢基础,相关技术路径与实施方法具备较强的工程推广与行业借鉴价值。

3.3 降低现场实施安全与成本风险

数字化作业能够有效减少高空作业、受限空间等高风险场景下的人工操作频次,从源头规避高强度装配、反复拆装调试带来的人身安全隐患与设备磕碰风险。虚拟预演可在物理施工前识别安装干涉、动作时序冲突、路径交叉等潜在风险点,同步制定针对性规避方案,显著降低现场安全事故发生概率。精准数字化建模与定位作业减少施工材料浪费与精密部件损耗,杜绝因定位偏差、装配失误引发的设备损坏问题。数据化全过程管控优化人力、机具、时间等资源配置,合理排布工序衔接,降低非必要投入以控制综合实施成本。虚实融合的调试模式大幅减少现场试验损耗,缩短故障排查与返工周期,全面提升大型设备安装调试全过程的安全性及经济性,为工程现场风险管控提供稳定可行的数字化技术路径。

4 结语

数字化技术为大型设备安装调试提供了全新的实施模式,有效突破传统作业方式在精度、效率、安全等方面的局限,形成从精准定位、过程管控到虚拟预演的完整数字化实施体系。通过数字化建模、数据协同与虚拟仿真的深度融合,安装调试全过程实现可视化、可控化与可优化,显著提升作业质量与实施效率,降低现场安全与成本风险。随着工业数字化转型持续推进,该实践路径可进一步推广至更多大型装备工程场景,为装备安装调试的智能化、标准化发展提供坚实支撑,持续赋能工程建设高质量发展。

参考文献:

- [1] 黎娆,周诚,覃文波.分布式能源站大型设备数字化吊装安全监控系统研究[J].土木工程信息技术,2022,14(02):34-40.
- [2] 李娟莉,郭清杰,高波,等.基于数字孪生的液压支架群跟机工艺虚拟调试方法[J].煤炭科学技术,2024,52(06):197-205.
- [3] 马飞,代锬,孙巍伟.基于数字孪生的物流拣选虚拟调试系统设计[J].机床与液压,2023,51(16):95-100.