 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.9983

Research on Precision Control Technology for Electrical Equipment Installation under Intelligent Background

Hualei Wang Nan Chen Jin Ma*

China National Machinery Group Zhejiang Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract

Against the backdrop of advancing intelligent manufacturing and digital construction, electrical equipment installation projects face increasingly stringent requirements for precision and stability. With complex equipment structures and highly integrated control systems, even minor installation errors may lead to operational deviations and safety hazards. This study systematically examines factors influencing installation accuracy and control pathways by integrating technologies such as digital measurement, intelligent sensing, data analysis, and refined construction management throughout the entire installation process. Building upon analysis of limitations in traditional installation methods, we propose precision control approaches based on digital modeling, real-time monitoring, and dynamic calibration, followed by practical implementation evaluations. Research demonstrates that establishing a closed-loop data management system and collaborative coordination mechanisms can significantly enhance installation accuracy and system reliability, providing technical references for improving electrical engineering quality in intelligent construction environments.

Keywords

Intelligent construction; Electrical equipment installation; Precision control; Digital measurement; Full-process management

智能化背景下电气设备安装的精度控制技术研究

王华磊 陈楠 马近 *

中机国能浙江工程有限公司，中国 · 浙江 杭州 310051

摘 要

在智能制造与数字化建造持续推进的背景下，电气设备安装工程面临更高的精度与稳定性要求。设备结构日趋复杂，控制系统高度集成，任何安装误差均可能引发运行偏差与安全隐患。围绕电气设备安装全过程，结合信息化测量、智能感知、数据分析与精细化施工管理等技术手段，对安装精度影响因素与控制路径进行系统梳理。在分析传统安装方式局限性的基础上，提出基于数字化建模、实时监测与动态校准的精度控制方法，并结合工程实践对其实施效果进行讨论。研究表明，通过构建全过程数据闭环与协同管理机制，可显著提升电气设备安装精度与系统运行可靠性，为智能化施工环境下电气工程质量提升提供技术参考。

关键词

智能化施工；电气设备安装；精度控制；数字化测量；全过程管理

1 引言

电气设备作为工业系统与建筑机电系统的重要组成部分，其安装质量直接关系到系统运行安全与能源利用效率。随着自动化水平提升，设备对空间定位、结构连接及电气接口匹配提出更高标准，传统依赖人工经验与单点测量的施工方式已难以满足高精度需求。在智能化背景下，信息技术与工程技术深度融合，为安装精度控制提供了新的技术条件。围绕安装过程中的误差来源与控制策略展开系统研究，对于推动电气工程施工质量升级具有现实意义。

【作者简介】王华磊（1990—），男，中国河南漯河人，本科，中级，从事光伏/电气施工研究。

【通讯作者】马近（1994—），男，中国安徽淮北人，本科，工程师，从事电气工程及其自动化研究。

2 智能化环境下电气设备安装精度控制的理论基础

2.1 电气设备安装精度的内涵与评价指标

电气设备安装精度不仅体现在几何位置与尺寸控制层面，还涉及轴线同心度、水平度、垂直度、连接紧固度以及电气接线匹配精度等多项指标。对于大型变压器、开关柜及自动化控制柜而言，设备基础标高偏差、螺栓孔位误差或母线连接角度偏差，均可能在运行过程中放大为振动、发热或电气接触不良问题。精度评价应结合设计图纸与运行要求，从静态结构匹配与动态运行稳定两个维度构建指标体系。通过建立可量化的精度控制标准，将施工偏差控制在允许区间内，是实现系统安全运行的重要前提。智能化条件下，精度

指标不再停留于竣工验收阶段，而贯穿设计、安装与调试全过程，实现动态评价与持续优化。

2.2 智能化技术对安装精度控制模式的重构

信息技术的发展改变了施工组织方式。三维建模、激光扫描、数字放样与智能传感技术，使安装过程由经验驱动转向数据驱动。施工人员可以在安装前完成虚拟预装配，对设备基础与结构尺寸进行比对分析，从源头降低误差累积风险。安装过程中，通过实时采集位移与倾角数据，可及时发现偏差并进行调整。智能化平台将现场测量数据同步至管理系统，实现远程监控与数据存档，形成可追溯的质量管理链条。精度控制由阶段性检查转变为连续性监测，技术应用模式更加系统化。

2.3 精度误差形成机理及其传递路径分析

安装误差的产生与传递具有叠加特征。基础施工阶段的标高偏差，会在设备就位与二次灌浆后进一步扩大。结构构件加工误差、运输振动影响以及环境温度变化等因素，均可能导致尺寸偏移。电气设备安装往往涉及多专业交叉施工，若缺乏统一基准与协调机制，误差在不同环节间累积，最终影响整体系统性能。对误差形成机理进行系统分析，有助于在施工前建立风险预判模型，从而通过技术与管理措施降低误差传播概率。

3 电气设备安装精度影响因素与风险识别

3.1 施工环境与基础条件因素

施工现场的环境条件和基础设施直接影响到电气设备的安装精度。温度、湿度和振动等因素对精密设备的安装有显著影响。例如，在高温环境下，材料的膨胀率变化较大，如果不考虑温度补偿，设备的定位可能会出现偏差，导致设备安装不精确。特别是在安装过程中，若温度变化没有及时调整基准值，可能导致设备在使用过程中产生位移，从而影响其长期稳定性。此外，基础混凝土的强度和平整度也是影响设备稳定性的关键因素。若基础不牢固，设备安装后容易出现不均匀沉降，进而影响其正常运行。某些工程中，土建与电气施工交接环节缺乏有效检测和跟踪，可能导致设备安装后出现沉降不均的问题。为了防范这些问题，施工前必须进行基础复测和环境评估，识别潜在的风险因素，并采取有效的补救措施，从而保障设备安装的精度和稳定性。

3.2 施工工艺与操作水平因素

设备安装精度与施工工艺水平密切相关。安装过程中，如果放样基准选择不当，后续工序将无法保证一致性，导致设备安装出现误差。操作人员对测量仪器的不熟悉，也可能会导致测量误差。例如，传统人工校准方法在复杂空间中常常面临视线遮挡或读数误差等问题，这使得精度控制受限。为了克服这些挑战，引入数字化测量仪器和标准化施工流程显得尤为重要。数字化测量仪器能够提供更高的精度，并且通过数据自动采集与处理，避免了人工操作的误差。此外，标准化的施工流程能够减少人为干扰，提高施工的稳定性和一致性。在此基础上，强化操作人员的技术培训和质量意识教育，确保其掌握必要的操作技能和精度控制要求，是保障精度控制效果的重要基础。通过持续的技能培训，操作人员不仅能够提升自身的测量水平，还能在施工中更加自觉地遵守精度控制规范，从而进一步提高设备安装精度。

3.3 设备自身结构与接口匹配因素

设备自身结构与接口匹配是电气设备安装精度的关键因素。特别是一些电气设备具有复杂的内部结构，安装时必须保证机械连接与电气连接的同步到位。若设备的加工精度不足或接口设计不合理，会导致现场调整空间有限，增加施工难度。例如，成套配电系统中的母线槽与柜体间的尺寸误差，可能会引发连接应力集中，导致设备连接不稳定，从而影响系统的长期可靠性[1]。为了确保设备安装精度，必须在设备进场前进行严格的检验，确保其各部件的尺寸符合标准要求。预装配测试也能在设备正式安装前发现潜在的设计缺陷或加工问题，减少现场返工的概率，提高施工效率和安装质量。

4 智能化精度控制技术路径与实施方法

4.1 基于三维建模的预控技术

在电气设备安装过程中，基于三维建模的预控技术是提高安装精度的重要手段。通过在施工前建立设备的完整三维模型，能够对基础结构和设备构件进行详细的空间匹配分析。该技术能够有效识别潜在的碰撞和尺寸冲突，避免在现场施工时出现不可预见的问题。通过模拟设备的安装顺序和施工路径，可以优化设备就位方案，确保施工过程更加顺畅，并最大程度减少临时调整的需求。三维模型的数据与设计图纸一致，保证了设计信息的准确传递与共享，有助于各部门和施工人员在同一平台上进行协同工作。同时，结合数字放样技术，能够将三维模型中的坐标直接转化为现场施工基准，进一步提高设备安装的定位精度。这种预控技术能够在施工前就进行充分的准备与风险排查，为施工过程的顺利进行奠定基础，从而确保安装精度和质量的提高。

4.2 实时监测与动态校准技术

实时监测与动态校准技术在电气设备安装过程中起到了至关重要的作用。通过在关键安装节点布设传感器与激光测量装置，实时监测设备的位移、倾斜角度和其他重要参数，能够及时发现并修正潜在的安装偏差。数据通过无线网络实时传输至管理平台，施工人员可以通过平台进行数据查看与分析，确保设备的精确安装。当设备的位移或倾角接近预设的控制阈值时，系统会自动发出预警，提醒施工人员立即进行调整。这种技术模式的引入，使传统的终检方式转变为过程中的实时控制，能够在设备安装过程中不断进行微调，避免了安装偏差的固化，从而确保最终的安装精度。此外，动态校准技术在设备固定前完成多次微调，确保设备精准就

位，提高了施工质量和稳定性[2][3]。实时监测与动态校准技术在施工中的应用，显著提升了整体安装精度和工作效率。

4.3 数据驱动的精度评估与反馈机制

数据驱动的精度评估与反馈机制在提升电气设备安装质量中具有重要作用。通过建立安装精度数据库，能够对不同项目的安装误差进行统计分析，识别常见问题和薄弱环节。这一分析结果为后续的施工方案优化提供了科学依据，使得未来的项目能够在避免之前问题的基础上进行改进。通过数据的积累与分析，项目团队能够更清晰地掌握哪些环节容易出错，并据此调整施工工艺和流程，以提高安装精度和效率。在施工完成后，项目团队对安装精度进行全面评估，评估结果不仅为项目总结提供数据支持，还将结果反馈至设计与管理部门，形成持续的改进机制。这一反馈机制确保了项目的后续优化，不断提升企业在电气设备安装过程中的质量控制水平。数据驱动的管理模式增强了质量控制的科学性和透明度，使得精度控制不再依赖于经验和主观判断，而是建立在客观数据和系统分析的基础上，有助于提升整体工程质量和可持续发展能力。

5 工程实践中的精度控制管理策略

5.1 全过程协同管理模式构建

电气设备安装的精度控制不仅仅是施工环节的任务，更涉及到设计、施工和监理多个方面的紧密协作。为了确保安装精度，建立一个全过程协同管理模式至关重要。通过搭建统一的信息平台，各方能够实时共享图纸、模型与现场数据，确保所有人员和环节基准一致，避免信息孤岛问题。施工前，项目团队应召开技术交底会议，明确精度标准、检测方法及实施细节，确保所有相关人员对精度控制的要求有共同的理解和认同。施工过程中，加强巡检与数据核对至关重要，及时发现和纠正可能存在的误差，防止其在后续环节中进一步扩大。

5.2 标准化作业与技术培训机制

精度控制的有效性依赖于标准化作业和技术培训的双重保障。为了确保施工过程中的各项任务能够严格按照标准执行，首先需要制定统一的施工操作规范，明确每个关键工序的精度控制要求及其相应的控制点。例如，针对基础施工、设备安装等关键环节，必须设定详细的精度要求，并对每一个工序进行严格的监控和检查。通过标准化作业，减少人为误差的发生，确保各环节在规定的精度范围内进行操作。与此同时，施工人员的技术水平对精度控制的实现至关重要。因此，通过定期开展专业培训，提高施工人员对智能测量设备、管理平台以及精度控制技术的应用能力，是降低误差发生概率、确保施工质量的关键。标准化作业与持续培训相结合，将有助于精度控制的长期稳定运行和持续提升。

5.3 质量追溯与持续改进体系

为了确保电气设备安装精度的持续提升，需要建立有效的质量追溯与持续改进体系。首先，建立完整的安装质量档案是实现质量追溯的前提，所有测量数据、调整记录以及质量检查结果应及时归档保存，确保在出现运行异常时可以追溯数据，快速定位问题根源。例如，在设备安装过程中，实时记录每个环节的精度数据与调整情况，可以在后期出现问题时进行回溯分析，找到导致偏差的具体原因。持续改进机制则是精度控制长期有效的保障。通过定期总结经验，及时反馈问题，优化施工方案，企业能够不断改进精度控制的技术和管理方法，提升安装精度水平。此外，通过完善质量评价体系和奖惩制度，增强全员质量意识，激励员工在施工过程中严格把控精度要求[4][5]。质量追溯与持续改进体系不仅能够提升企业精度控制的精确性，还能促进企业在实际应用中不断完善技术，推动精度控制水平的持续提升，从而实现更高标准的电气设备安装质量。

6 结语

在智能化背景下，电气设备安装精度控制已从单一技术问题转变为系统工程问题。信息化测量技术、数据分析手段与协同管理机制的融合，为提升安装质量提供了可靠支撑。通过对误差形成机理与控制路径进行系统研究，可以构建科学合理的精度控制体系。未来，随着数字孪生与智能感知技术进一步成熟，电气设备安装将实现更高水平的精细化管理与实时优化，为工程安全运行与能源高效利用奠定坚实基础。

参考文献

[1] 郭森.电气设备安装工艺关键点质量控制方法研究[J].电气技术与经济,2025,(12):177-179.

[2] 刘正龙.高低压电气设备安装的质量控制要点[J].中国高新科技,2023,(21):67-69.

[3] 李文宝.变电站电气设备安装技术与质量控制[J].现代工业经济和信息化,2022,12(07):294-295.

[4] 顾磊,周嘉俊.智能化技术在电气设备安装工程中的应用研究[J].上海轻工业,2025,(06):106-108.

[5] 谢梓华.智能化变电站电气设备安装及调试方法研究[J].光源与照明,2025,(06):181-183.