

热应力,使定子与转子间相对位置发生微小偏移,加大误差累积。本研究通过实时监测线圈温度、磁钢温度与环境温度,构建温度-参数动态映射模型,得到推力常数与反电势系数随温度变化的关系曲线。在此基础上,设计温度补偿模型,将温度相关参数引入控制矩阵,使控制器能随温度变化自适应调整参数。为进一步提高高速运行稳定性,提出反电势解耦算法,通过前馈解析分离反电势项,改善电流控制线性度。实验结果显示,该方法可显著降低温漂引起的推力误差,并保持系统在宽温区与高速工况下的高精度性能。

5 实验平台构建与控制策略验证

5.1 实验系统搭建与测量方法

为全面验证控制策略的有效性,搭建了由磁悬浮直线电机及高性能测量设备组成的实验平台。平台包含磁悬浮直线电机主体、数字驱动电源、高带宽电流传感器、激光干涉仪、光栅编码器、温度监测模块以及用于模拟外界干扰的多轴振动台。通过将驱动模块与实时控制器联接,实现高速电流调节与多环控制指令下发。激光干涉仪用于纳米级位移测量,光栅编码器提供高频位置反馈,两者融合可有效降低单一传感器引入的噪声偏差。高速数据采集卡对电流、速度、磁通密度及温度进行同步采样,以构建多源状态数据集。温度传感器布置于线圈、磁钢及滑台附近,用于实时监测电机运行中的热漂移情况。振动平台用于模拟设备在外部动态环境中运行的条件,使实验可全面覆盖高频噪声、不规则扰动及基座振动等典型工况。通过统一数据时钟与校准流程,保证所有测量信号的时间一致性与精度,为后续控制性能评估提供可靠数据基础。

5.2 实验验证的关键指标测试

实验围绕稳态精度、动态响应能力、抗扰动性能以及重复定位精度四类关键指标展开测试,以全面反映控制策略在不同工况下的表现。稳态精度测试通过恒定位置保持实验进行,记录微位移抖动及均方误差,用以验证控制结构对微扰动的抑制能力。动态响应测试采用阶跃指令与连续轨迹指令相结合的方式,对比系统在加速、减速与高速段的响应速度、误差波形及收敛特性。抗扰动测试通过振动平台施加不同频率与幅值的外部扰动,同时监测位置误差、速度波动及电流变化,以评估控制策略对外界扰动的抑制水平。重复定位精度测试采用多次往返定位任务,通过测量同一位置点的误差分布、偏移量与峰值变化,判断系统在周期性运行中的稳定性。在各项测试中,同步记录采用传统控制方法时的结果,以便与新控制策略进行定量对比。通过误差带宽、峰值

超调、整定时间、振动响应幅度等指标的综合分析,可全面评价控制方法的优劣。

5.3 结果分析与性能提升效果

通过系统性实验分析,新型控制策略在多个性能指标上均表现出显著提升。在稳态测试中,平台在微纳米位移保持条件下的误差波动幅度明显减小,均方误差较传统控制下降约30%,说明自抗扰与鲁棒机制有效抑制了由磁场波动、温漂及微振引起的小幅扰动。在动态响应测试中,轨迹跟踪误差显著降低,系统的超调量与整定时间均有缩短,表明前馈补偿与动态解耦模型显著提升了运动控制带宽。在高频振动与基座干扰环境下,系统仍能维持稳定运行,其扰动响应幅值降低幅度达到25%以上,展示了主动补偿算法对外界不确定因素的敏感识别与抑制能力。重复定位测试中,多次往返定位误差收敛性明显增强,重复性误差区间缩小约20%~35%,充分说明控制参数优化与扰动观测器的有效性。综合各项结果表明,本研究提出的控制策略能够在高速、复杂工况下保持高精度性能,为磁悬浮直线电机在高端装备中的稳定应用提供可靠支撑。

6 结语

磁悬浮直线电机作为高端装备的重要驱动组件,其性能稳定性直接决定设备的加工精度、运行速度与可靠性。本研究围绕其动力学模型、精密运动控制方法与扰动抑制技术进行了系统分析,提出融合前馈补偿、自抗扰控制与鲁棒控制的多层级控制策略,并构建主动扰动抑制框架以提升系统的动态稳定性。实验结果显示,该方法在复杂工况下均表现出良好性能,为磁悬浮直线电机在先进制造装备中的应用提供理论基础与技术支持。未来可进一步结合智能算法优化参数调度,构建自适应性更强的控制体系,使其在超高速、超精密与超稳定领域发挥更大价值。

参考文献

- [1] 陈永波.磁悬浮定位平台直线电机结构优化及控制方法研究[D].石家庄铁道大学,2017.
- [2] 武荣荣.基于贝加莱PCC的直线电机运动控制实验系统[D].天津职业技术师范大学,2016.
- [3] 赵静,王婉婉,周杨,等.基于变换序列权重峰值拟合的直线电机速度的快速精密测量[J].光学精密工程,2022,30(05):574-583.
- [4] 施昕昕,黄家才,林健.基于分数阶自抗扰的直线电机点位控制研究[J].组合机床与自动化加工技术,2019,(05):80-83+89.
- [5] 黄晨.磁浮列车永磁同步直线电机直接推力优化控制研究[D].江西理工大学,2020.

Research on Collaborative Design and Construction Optimization of BIM Technology in Large-scale Mechanical and Electrical Installation Engineering

Yasheng Zhang

Anhui Yinjiang Jihuai Group Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230000, China

Abstract

As the construction industry undergoes digital transformation, Building Information Modeling (BIM) technology has emerged as a vital tool for enhancing project quality and efficiency. Particularly in large-scale mechanical and electrical installation projects involving civil engineering, motors, pumps, metal structures, and electrical equipment, traditional design and construction methods often face coordination challenges and conflicts. BIM technology provides an integrated information platform that optimizes cross-disciplinary collaboration, improves design accuracy and construction efficiency, while reducing resource waste and construction conflicts. This paper analyzes the advantages of BIM application in large-scale mechanical and electrical installation projects through practical case studies, and explores its collaborative design and construction optimization practices across different professional fields. The research demonstrates that BIM technology not only significantly enhances cross-disciplinary coordination efficiency but also optimizes construction schedules and cost control, offering innovative approaches for future construction project management and implementation.

Keywords

BIM technology; mechanical and electrical installation engineering; collaborative design; construction optimization; project management

BIM 技术在大型机电安装工程中的协同设计与施工优化研究

张亚生

安徽省引江济淮集团有限公司, 中国·安徽 合肥 230000

摘要

随着建筑行业数字化转型, 建筑信息模型 (BIM) 技术应用成为推动工程建设质量与效率提升的重要工具。尤其是在大型机电安装工程中, 涉及土建、电机、水泵、金结、电气设备等多个专业领域, 传统设计和施工方法往往面临协同困难和冲突问题。BIM技术通过提供一个集成的信息平台, 优化了各专业间的协同设计, 提升了设计精度与施工效率, 减少了资源浪费与施工冲突。本文结合实际案例, 分析了BIM技术在大型机电安装工程中应用的优势, 并探讨了其在不同专业领域中的协同设计与施工优化实践。研究表明, BIM技术不仅能够有效提升各专业协同效率, 还能优化施工进度与成本控制, 为未来建筑工程的管理与实施提供了新思路和方法。

关键词

BIM技术; 机电安装工程; 协同设计; 施工优化; 项目管理

1 引言

随着建筑行业向信息化、智能化的方向发展, 传统的工程设计与施工模式逐渐暴露出诸多问题, 尤其是在大型机电安装工程中。为了解决这些问题, 建筑信息模型 (BIM) 技术应运而生, 作为一种先进的数字化技术, BIM 能够为工程设计、施工、运维提供全面的信息支持。它通过数字化建模和信息共享, 实现各专业领域的协同设计和施工优化,

减少了设计修改和施工冲突, 提高了项目的管理效率和质量。本文探讨其如何推动大型机电安装工程的协同设计与施工优化, 提升工程项目的整体效益。

2 BIM 技术概述与机电安装工程背景

2.1 BIM 技术概述

建筑信息模型 (BIM) 技术是基于数字化平台, 通过三维建模将建筑物的所有相关信息 (如结构、设备、管道等) 进行整合与管理。BIM 技术不仅可以帮助设计团队进行可视化设计, 还能在施工过程中进行冲突检测、进度管理和资源调配, 甚至为项目后期的维护和管理提供支持。BIM 的

【作者简介】张亚生 (1990-), 男, 中国安徽六安人, 本科, 工程师, 从事机电工程研究。

核心优势在于其信息集成与协同工作能力，通过为项目的各个阶段提供高效的数字化支持，极大提升了项目的整体效率和质量。

2.2 大型机电安装工程的特点与挑战

大型机电安装工程通常涉及多个专业领域，如土建、电机、水泵、金属结构、电气设备等。每个领域都涉及大量的设计、施工、管理任务，传统的设计和施工流程往往缺乏有效的协同和沟通。工程的复杂性和多样性增加了设计变更、施工冲突以及资源浪费的风险。同时，由于信息孤岛的存在，项目管理团队往往难以实现实时监控与协作，造成了工期延误和成本超支的问题。因此，如何实现各专业间的高效协同和施工优化，是解决这些挑战的关键。

2.3 BIM 在机电安装工程中的潜力与应用领域

BIM 技术为解决大型机电安装工程中协同设计与施工优化问题提供了有效手段。通过 BIM 技术，各专业团队可以在同一平台上进行协同设计，实现实时更新和信息共享，避免了传统设计模式中因信息传递不畅导致的冲突。此外，BIM 还能够进行冲突检测和施工模拟，提前识别并解决潜在问题，优化施工方案，降低风险。BIM 技术在大型机电安装工程中的应用，不仅提升了设计质量和施工效率，也为项目管理提供了更加精细化、透明化的管理手段。

3 BIM 技术在土建与电机工程中的应用

3.1 土建工程中的 BIM 应用：建筑结构与机电管线的协调

在大型机电安装工程中，土建工程是基础，建筑结构与机电管线的协调对于项目的顺利进行至关重要。由于传统设计中土建与机电设计的相对独立性，常常出现管线与建筑结构之间的冲突，导致施工延误与成本增加。BIM 技术的引入为解决这一问题提供了有效的解决方案。设计师可以在三维数字化模型中同时展示建筑结构与机电管线的位置关系，通过实时更新和调整设计，避免了因管线与结构不协调而引起的施工冲突。例如，在建筑物的垂直管线设计中，利用 BIM 技术可以精确预测管线的走向与位置，确保其与楼板、墙体等结构元素不发生碰撞。通过 BIM 技术，土建与机电设计团队可以在同一个平台上进行实时协作，确保设计的一致性和协调性，从而有效减少返工和修改的成本，提升施工效率。

3.2 电机工程中的 BIM 应用：设备布局与安装优化

电机工程作为大型机电安装工程中的核心部分，涉及到电动机、发电机、变压器等设备的安装与调试，设备的合理布局和安装顺序对于提高施工效率和确保系统正常运行至关重要。传统设计方法中，电机设备的布局往往忽略了空间的优化与设备间的协调，容易导致设备位置不合理，进而影响安装质量和进度。BIM 技术的应用能够在设计阶段进行全面的设备布局优化。通过三维建模，BIM 技术可以在虚拟环境中模拟设备的安装过程，确保设备的合理配置，

并有效避免设备尺寸、位置不合理带来的安装难题。此外，BIM 技术还可以通过施工模拟功能，提前识别潜在的安装冲突，调整施工顺序和优化施工方案，从而减少施工过程中的资源浪费，提高施工效率，确保项目的按期交付。

3.3 土建与电机协同设计的实践案例

在某大型商业建筑项目中，BIM 技术成功地实现了土建与电机工程的协同设计。在设计阶段，BIM 平台帮助双方团队提前发现了潜在的设计冲突，如管线与设备的位置重叠、空间不合理等问题，设计团队能够及时调整方案，确保各专业设计的协调性。在施工阶段，BIM 技术进一步发挥了作用，项目团队利用 BIM 模型进行施工模拟，确保施工方案的高效执行。结果表明，BIM 技术的应用显著提高了设计与施工效率，减少了因设计冲突导致的返工，项目进度比传统施工方法提前了约 15%，并节省了约 10% 的施工成本。该项目成功的实践案例证明了 BIM 技术在多专业协同设计与施工中的巨大潜力，提升了整体项目管理的精确度和效率 [1]。

4 BIM 技术在水泵与金结工程中的应用

4.1 水泵工程中的 BIM 应用：设备选型与布置优化

BIM 技术的引入为水泵系统的设计提供了强大的支持，设计师可以通过三维建模技术提前在虚拟环境中进行水泵的选型与布置优化。BIM 技术能够整合不同厂商的水泵设备数据，包括设备的性能参数、工作条件及尺寸等，从而实现精确的设备选型，避免因选择不当导致的设备效率低下或不适应建筑需求的问题。此外，BIM 还可以帮助设计团队优化管道布置，确保管道走向与建筑其他结构及设备协调，避免空间冲突，提高施工效率，最终提升水泵系统的安装质量与运行效率。

4.2 金结工程中的 BIM 应用：钢结构与管道的集成设计

金属结构工程在大型机电安装工程中占据着举足轻重的地位，尤其是在涉及复杂钢结构的大型建筑项目中，钢结构的设计与施工需要紧密配合其他系统的安装，尤其是管道系统。传统设计中，钢结构与管道的设计往往是分散进行，缺乏有效的整合，导致施工阶段频繁出现空间冲突与设计变更。BIM 技术在金结工程中的应用，通过提供三维可视化平台，能够将钢结构设计与管道安装有效集成，实现一体化设计。设计团队可以通过 BIM 模型准确了解钢结构与管道之间的空间关系，进行精准的设计调整，避免因设计不协调导致的施工冲突。此外，BIM 的碰撞检测功能能够在设计阶段预见潜在的冲突，及时调整方案，特别是对于大跨度或复杂结构的项目，BIM 技术可以提供更加精确的模拟与调整，确保设计的高效性和施工的顺利进行 [2]。

4.3 水泵与金结工程的 BIM 协同设计案例分析

在某大型商业综合体项目中，BIM 技术成功实现了水泵系统与钢结构之间的协同设计。通过 BIM 模型，设计团