

超高层建筑顶升模架体系力学性能与施工效率提升路径研究

朱立军

江苏溧安建设工程有限公司 江苏 南京 210000

【摘要】：本文聚焦超高层建筑顶升模架体系，分析其力学性能特点，指出顶升模架体系在支撑结构稳定性、动力系统同步性、钢平台整体刚度等方面具备优势，但也存在支撑点局部应力集中、动力系统故障影响同步性、钢平台局部变形等问题。同时，探讨施工效率提升路径，包括优化设计、引入智能化技术、创新施工工艺等。通过案例分析验证了提升路径的有效性，并提出未来发展方向，旨在为超高层建筑施工提供理论支持和实践指导。

【关键词】：超高层建筑；顶升模架体系；力学性能；施工效率；提升路径

DOI:10.12417/2811-0528.26.04.073

随着我国城市化进程的加速，超高层建筑如雨后春笋般涌现。超高层建筑象征城市经济科技实力，缓解用地紧张并提升空间利用率。模架体系是施工关键，顶升模架技术因其快速、安全、机械化程度高而广泛应用。但该体系在支撑稳定性、动力同步和工序衔接等方面存在问题，制约其发展。研究其力学性能与施工效率提升具有现实意义。

1 顶升模架体系概述

1.1 顶升模架体系的定义与分类

顶升模架体系是利用液压系统整体顶升钢平台、模板和脚手架的模架技术，分为顶模、爬模和滑模体系。顶模采用大吨位油缸，支撑点少，同步性好，整体安全高效；爬模由上下架、导轨和液压系统组成，操作简便，适应性强；滑模以千斤顶驱动模板滑动，适用于筒体结构施工。

1.2 顶升模架体系的发展历程

顶升模架体系经历了从简单到复杂的发展。20世纪40年代，国外液压滑升模板技术广泛应用于筒体结构。80年代初，我国在烟囱等工程中成功试用爬模技术，随后推广到其他省市。近年超高层建筑兴起，顶模体系等新技术提升了施工效率和安全性。

2 顶升模架体系力学性能分析

2.1 支撑结构力学性能

2.1.1 支撑结构类型与特点

顶升模架支撑结构含支撑钢柱、上下支撑桁架梁及伸缩牛腿。钢柱为格构柱或钢管柱，强度高且稳定；桁架梁由型钢焊接，刚度大且承载强；伸缩牛腿通过油缸控制，可连接墙体。支撑点设于待施工楼层下2-3层，仅需三个变化小的位置，适应结构变化。

2.1.2 支撑结构稳定性分析

支撑结构的稳定性是顶升模架体系安全运行的关键。在顶升过程中，支撑结构承受着钢平台、模板系统、脚手架系统以及施工荷载等作用，需要保证其在各种工况下的稳定性。通过对支撑结构进行力学计算和有限元分析，可以评估其稳定性。

2.1.3 支撑结构优化设计

为了提高支撑结构的力学性能，可以对其进行优化设计。优化设计的方法包括调整支撑结构的尺寸、形状和材料等，以提高其承载能力和稳定性。例如，可以采用高强度钢材代替普通钢材，减小支撑结构的截面尺寸，减轻自重；优化支撑钢柱的布置方式，提高其整体稳定性；增加伸缩牛腿的数量和长度，提高与墙体的连接可靠性等。

2.2 动力系统力学性能

2.2.1 动力系统组成与工作原理

顶升模架动力系统由泵站、液压油缸及液压回路组成，泵站输送高压油液驱动油缸伸缩，实现钢平台顶升和牛腿支撑。控制系统包括控制台、传感器及数据线，通过预设程序自动或手动操作完成动作。

2.2.2 动力系统同步性分析

动力系统的同步性对顶升模架安全运行至关重要。多液压油缸需同步动作，否则会导致平台倾斜、结构受力不均等安全隐患。采用压力及行程双控方式，通过液压闸阀实现紧急锁死。控制系统设置同步传感器，实时监测油缸数据，通过计算机持续调控，确保所有器具同步运作。

2.2.3 动力系统可靠性分析

动力系统的可靠性直接影响到顶升模架体系的施工效率和安全性。在施工过程中，动力系统可能会出现故障，如油液

泄漏、油缸卡死、控制系统失灵等。为了提高动力系统的可靠性，需要加强设备的维护和保养，定期检查和更换易损件；采用高质量的液压元件和控制系统，提高设备的抗干扰能力；设置备用动力系统，在主动力系统出现故障时能够及时切换，保证施工的连续性。

2.3 钢平台力学性能

2.3.1 钢平台结构形式与特点

钢平台是顶升模架体系的重要组成部分，为施工材料、施工机械等的堆放和施工人员的施工作业提供场所。钢平台一般采用平面钢桁架形成平面刚度非常大的结构，涵盖核心筒所有变化范围，保证高空结构变化时主受力骨架不变。平台下侧考虑所有结构变化范围设置吊架梁，整个挂架操作系统可确保各个工作面全封闭，确保高空操作安全。钢平台具有整体刚度大、承载力大、施工测量方便等优点，平台承载力可达 10kN/m^2 ，测量控制点可直接投测到钢平台上。

2.3.2 钢平台强度与刚度分析

钢平台的强度和刚度是保证其安全使用的重要指标。在施工过程中，钢平台承受着施工荷载、风荷载等作用，需要保证其在各种工况下的强度和刚度满足要求。通过对钢平台进行力学计算和有限元分析，可以评估其强度和刚度。

2.3.3 钢平台变形控制

在顶升过程中，钢平台可能会产生变形，如挠度、扭曲等。过大的变形会影响施工质量和安全，因此需要采取措施控制钢平台的变形。控制钢平台变形的的方法包括优化钢平台的结构设计、增加钢平台的刚度、合理布置施工荷载等。例如，可以采用增加钢平台桁架的截面尺寸、设置加劲肋等方法提高钢平台的刚度；在施工过程中，合理布置施工材料和机械的位置，避免集中荷载过大导致钢平台变形。

3 顶升模架体系施工效率提升路径

3.1 优化顶升模架体系设计

3.1.1 模块化设计

采用模块化设计理念，将顶升模架体系分解为多个标准模块，如支撑模块、动力模块、钢平台模块、模板模块等。模块化设计可以提高顶升模架体系的通用性和互换性，便于安装、拆卸和运输，减少施工周期。同时，模块化设计还可以根据不同的工程需求进行灵活组合，提高顶升模架体系的适应性。

3.1.2 轻量化设计

在保证顶升模架体系力学性能的前提下，采用轻量化设计方法，减轻模架体系的自重。轻量化设计可以降低对塔吊等起

重设备的要求，减少能源消耗，提高施工效率。例如，可以采用高强度轻质钢材、铝合金材料等代替普通钢材，减小模架体系的截面尺寸，减轻自重。

3.1.3 智能化设计

引入智能化技术，如物联网、大数据、人工智能等，实现顶升模架体系的智能化设计和控制。通过物联网技术，可以实时监测顶升模架体系的运行状态，如支撑结构的应力、动力系统的压力和行程、钢平台的变形等，及时发现和处理异常情况；通过大数据技术，可以对施工数据进行分析 and 挖掘，为施工决策提供依据；通过人工智能技术，可以实现顶升模架体系的自动化控制和优化调度，提高施工效率。

3.2 引入先进的施工技术

3.2.1 液压同步顶升技术

液压同步顶升技术是顶升模架体系的核心技术之一。通过采用高精度的液压同步控制系统，可以实现多个液压油缸的精确同步顶升，保证钢平台的平稳上升。液压同步顶升技术具有同步精度高、控制方便、可靠性好等优点，能够有效提高顶升模架体系的施工效率和安全性。

3.2.2 数字化施工技术

数字化施工技术是利用计算机技术、信息技术等对施工过程进行数字化管理和控制的技术。在顶升模架体系施工中，可以采用 BIM 技术进行模架的虚拟设计和优化，减少设计错误和材料浪费；通过数字化监测技术，实时监测顶升模架体系的运行状态，为施工决策提供依据；利用数字化管理平台，实现施工进度、质量、安全等方面的信息化管理，提高施工管理水平。

3.2.3 装配式施工技术

装配式施工技术是将顶升模架体系的各个部件在工厂进行预制加工，然后在施工现场进行组装和安装的施工技术。装配式施工技术具有施工速度快、质量可控、环境污染小等优点，能够有效提高顶升模架体系的施工效率。例如，可以将钢平台的桁架、模板等部件在工厂进行预制，然后在施工现场进行快速组装，减少现场施工时间。

3.3 创新施工工艺与组织管理

3.3.1 施工工艺创新

优化顶升模架体系的施工工艺，提高施工效率。例如，在顶升过程中，可以采用分段顶升的方法，将钢平台分成多个段落进行顶升，减少每次顶升的高度和荷载，提高顶升的稳定性和安全性；在模板安装和拆除方面，可以采用机械化作业方式，

减少人工操作，提高施工效率。

3.3.2 施工组织管理优化

加强施工组织管理，合理安排施工顺序与进度，提高效率。采用流水施工方法，将顶升模架体系划分为多段多工序，组织专业队伍流水作业，确保连续均衡。加强现场协调沟通，及时解决问题，避免延误。

3.3.3 人员培训与管理

加强对施工人员的培训和管理，提高施工人员的技能水平和安全意识。施工前，对施工人员进行技术交底和安全培训，使其熟悉顶升模架体系的施工工艺和操作规程；施工过程中，加强对施工人员的监督和管理，严格按照操作规程进行施工，确保施工安全和质量。

4 案例分析

4.1 工程概况

某超高层建筑高300米，采用混凝土核心筒与钢结构外框架。核心筒施工使用顶升模架，包括模板、脚手架、钢平台、支撑和提升系统。钢平台面积800m²，为平面钢桁架，承载力8kN/m²。支撑系统有3个支撑点，采用格构柱和H型钢桁架梁。提升系统使用液压千斤顶，行程5m，顶升能力300t。

参考文献：

- [1] 王凡.超高层建筑顶升模架关键系统的设计与施工[D].西安工业大学,2021.
- [2] 刘家全,苏岸,郭海鹰,等.我国超高层建筑智能顶升平台设计和施工研究进展[J].西安工业大学学报,2024,44(05):598-615+668.
- [3] 滕柳.超高层建筑顶升钢平台模架系统的设计与施工[D].西安工业大学,2022.
- [4] 汤杰.超高层建筑顶升模架钢平台受力性能研究[D].西安工业大学,2018.
- [5] 曾凡奎,刘新钊,潘壮,等.超高层建筑的顶升模架结构施工模拟与监测[J].工业建筑,2021,51(11):127-131+136.

4.2 力学性能分析

对顶升模架体系进行力学性能分析，包括支撑结构稳定性、动力系统同步性和钢平台强度与刚度。力学计算和有限元分析显示，支撑结构稳定，动力系统同步顶升精确，钢平台强度与刚度符合要求。施工监测数据表明，应力、压力、行程和变形均在允许范围内，验证了分析结果。

4.3 施工效率提升效果评估

施工采用优化设计、先进技术和创新工艺等路径提升效率。对比施工前后指标显示，效率显著提高，核心筒施工从4天一层提速至2.5天一层，周期缩短37.5%。施工质量和安全得到保障，无事故发生。

5 结论

本文研究超高层建筑顶升模架体系的力学性能与施工效率提升，指出其在支撑稳定性方面有优势，但也存在局部应力集中等问题。通过优化设计、引入新技术和创新工艺可提高施工效率，案例分析表明提升路径能改善核心筒施工速度、质量与安全。但研究尚有不足，如力学性能研究不够深入、提升路径应用不够广泛。未来需加强力学性能研究，探索高效分析方法，扩大应用范围，结合新技术新材料创新体系工艺，推动超高层建筑施工技术发展。