

高层建筑塔式起重机双支平衡支撑附着式安装技术研究

孙炳营¹, 王祥², 郭祥革², 辛举¹, 赵云帅¹

1. 中建三局第一建设工程有限责任公司, 湖北 武汉 430000

2. 山东省工程咨询院, 山东 济南 250000

DOI:10.61369/ME.2026060029

摘 要 : 超高层建筑施工中, 我们所用的传统的吊塔附着方式很容易造成剪力墙应力集中、附着点位偏移、构件匹配度低等问题。本文针对高层建筑塔吊施工提出了一种双支平衡支撑附着式安装方法, 采用双向受力平衡、附着框架自适应调节、预埋件模块化匹配三项主要做法, 使塔吊附着结构与墙体变形保持协调一致。根据实际工程应用情况, 对受力状态、现场实施效果、综合收益进行检验。结果表明, 采用该技术后剪力墙最大应力下降 42%, 塔吊附着点位移控制在 3mm 以内, 现场施工效率提高 14%–15%, 整体投入减少 12%–14%。可以很好地解决复杂结构中塔吊附着的安全和效率问题, 具有较强的现场适用性, 可以为同类超高层项目提供参考。

关 键 词 : 超高层建筑; 塔式起重机; 双支平衡支撑; 附着技术; 施工安全; 动态补偿

Research on the Installation Technology of Double-Supported Balanced Supports for Tower Cranes in High-rise Buildings

Sun Bingying¹, Wang Xiang², Guo Xiangge², Xin Ju¹, Zhao Yunshuai¹

1. China Construction Third Bureau First Engineering Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430000

2. Shandong Engineering Consulting Institute, Jinan, Shandong 250000

Abstract : In the construction of super-high-rise buildings, traditional tower crane attachment methods often lead to issues such as shear wall stress concentration, displacement of attachment points, and poor component compatibility. This paper proposes a dual-support balanced support attachment installation method for high-rise building tower crane construction, which employs three key approaches—two-way force equilibrium, adaptive adjustment of the attachment frame, and modular matching of embedded components—to ensure that the tower crane attachment structure remains in coordinated alignment with the wall deformation. Based on actual engineering applications, this method was evaluated regarding its load-bearing conditions, on-site implementation effectiveness, and overall benefits. The results demonstrate that, upon adopting this technology, the maximum stress in the shear walls is reduced by 42%, the displacement of the tower crane attachment point is controlled within 3 mm, on-site construction efficiency is improved by 14–15%, and the total investment is reduced by 12–14%. This method effectively addresses the safety and efficiency challenges associated with tower crane attachments in complex structural configurations, exhibits strong field applicability, and can serve as a valuable reference for similar super-high-rise projects.

Keywords : super-high-rise buildings; tower cranes; dual-support balanced system; attachment technology; construction safety; dynamic compensation

引言

随着国内城市建设不断加快, 高层和超高层建筑越来越多, 建筑结构越来越复杂, 内部空间也越来越紧凑, 施工现场大型机械设备的附着稳固性, 成为必须重视的技术要点^[1]。塔式起重机是超高层工程中最重要垂直运输机械, 塔式起重机的附着装置是否安全、稳定, 直接关系到整个工程的施工安全和建设进度^[2]。目前常用的塔吊附着方式大多依靠剪力墙进行刚性支撑, 实际应用中间题突出, 剪

作者简介:

孙炳营 (1996.01.26–), 男, 汉族, 河南新乡人, 中建三局第一建设工程有限责任公司, 本科, 工程师;

王祥 (1978.01.14–), 男, 汉族, 山东济南人, 山东省工程咨询院, 本科, 副高级工程师;

郭祥革 (1976.10.30–), 男, 汉族, 山东菏泽人, 山东省工程咨询院, 本科, 中级工程师;

辛举 (1989.02.03–), 男, 汉族, 山东曹县人, 中建三局第一建设工程有限责任公司, 本科, 工程师;

赵云帅 (2002.08.29–), 男, 汉族, 河北邢台人, 中建三局第一建设工程有限责任公司, 本科, 初级工程师。

力墙在施工阶段会出现收缩和形变，容易造成附着位置松动、偏移，增大塔吊倾覆的可能性^[3]；偏心荷载作用下，剪力墙局部应力明显偏高，容易造成混凝土开裂等结构损伤^[4]；普通预埋部件不能适应不同厚度的剪力墙，安装精度和连接可靠性都难以满足要求^[5]。以上问题长时间地影响着超高层工程的安全控制以及成本控制，必须依靠技术创新来改善。

国内许多学者和工程技术人员对塔吊附着技术做了大量的研究。李刚等^[6]用型钢桁架作为附着支撑，提高了荷载传递效果，但是没有考虑墙体变形带来的不利影响；张宏等^[7]研发了可调节式附着节点，现场安装更加灵活，但是缺少实时变形补偿功能；国外采用的预应力附着技术可以缓解应力集中问题，但是施工流程繁琐，整体成本较高。目前行业内还没有一套可以同时兼顾受力均衡、变形自适应、墙体厚度适配的完整附着技术，不能满足超高层建筑施工的实际需要。

一、技术原理与核心创新

（一）技术原理

本次研究的附着技术以“协同受力、实时适配”为思路，用三项关键构造实现塔吊和剪力墙的协调工作优化传力路径，建立塔吊、撑杆、墙体三者共同受力的体系，把单点水平受力变为墙体轴向受力，减少侧向弯矩的影响；

设置可调节支撑部件，自动补偿剪力墙收缩变形，保证附着点位置稳定；

采用组合式锚固构造，适应不同厚度剪力墙，达到可靠固定的目的。

（二）核心技术创新

1. 双向荷载平衡体系

该系统用对称布置的附加撑杆和预埋件一起工作，撑杆用 25a 工字钢和缀板焊接成格构形式，截面尺寸为 600mm×400mm，沿剪力墙两侧呈 45° 对称安装^[9]。撑杆端部用 500×400×20mm 预埋钢板与墙体锚固，形成封闭受力环，把塔吊产生的水平荷载转化为墙体轴向压力，整体安全系数不小于 2.5，明显减小应力集中，使剪力墙最大应力降低 42%。

2. 动态补偿式附着框架

附着框架由可调牛腿和双支水平斜撑组成，斜撑采用 Q355B 材质 H 型钢，截面规格为 200×200×8×12，按三角形稳定结构呈 45° 对称布置^[10]。端部采用万向铰接形式，可实现 ±30mm 的位移补偿，用 10.9 级 M24 高强螺栓与牛腿连接，可以跟随墙体变形自动调整，荷载分散效果提高 40% 以上，使塔吊附着点位移稳定控制在 3mm 以内。

3. 模块化自适应埋件系统

预埋件由 9 根 Φ25 HRB400 钢筋按 3×3 矩阵布置，水平间距 100mm、竖向间距 125mm，锚固长度不小于 500mm，通过穿孔塞焊与预埋钢板连成整体。剪力墙两侧安装 350×250×10mm 夹紧钢板，采用 150～500mm 长的 M20 螺栓紧固，配合 BIM 参数化定位，可适配不同厚度墙体，单组锚筋抗拔力不低于 120kN。

二、施工工艺流程与操作要点

（一）施工工艺流程

本技术施工按照设计、加工、安装、监测、验收闭环管理流程进行，具体步骤如下所示。

前期准备：深化图纸、技术交底、材料进场验收；

预埋件制作：锚筋排布、钢板焊接、夹板加工；

预埋件安装：现场放线、钢筋固定、混凝土浇筑；

撑杆组拼：场地整平、构件拼接、焊缝处理；

支撑系统安装：附加撑杆、双支水平撑杆依次就位；

自适应调节：位移监测、节点微调、荷载测试；

验收移交：分项验收、整体验收、资料整理归档。

（二）关键操作要点

1. 预埋件加工与安装

预埋件用 BIM 模型精确设计，定位偏差不大于 2mm^[11]。锚筋按 3×3 矩阵布置，水平间距偏差 ±2mm，竖向间距偏差 ±3mm，锚固深度不小于 500mm（20 倍钢筋直径）。预埋钢板和锚筋用穿孔塞焊，焊缝高度不小于 8mm，焊接完成后进行 UT 探伤合格后方可使用。安装时用全站仪确定轴线位置，预埋件与结构钢筋点焊固定，焊缝长度不小于 60mm；混凝土浇筑时分层下料，振捣点距离预埋件不小于 200mm，防止移位。

2. 撑杆拼装与安装

撑杆现场拼装前清理场地，铺设 10mm 厚钢板，地面平整度误差控制在 5mm/m² 以内^[12]。用激光校准仪确定安装轴线，工字钢对接偏差不大于 1mm，采用 E5015 焊条多层多道焊接，预热温度不低于 100℃，层间温度不高于 200℃，焊后余高控制在 1～3mm。剪力墙混凝土强度达到设计值的 90% 后进行撑杆安装，撑杆与牛腿用万向铰接连接，螺栓孔对位偏差不超过 1mm，最终拧紧扭矩控制在 350N·m±5%。

3. 动态补偿与智能监测

在各个撑杆的端头处安装精度为 ±0.5mm 的激光位移传感装置，实时采集位移数据并传送到现场监测平台，同时把位移预警阈值设为 ±45mm^[13]。当监测数据超过限值 3mm 时，系统就会发出声光报警并自动停止塔吊运行，然后利用液压顶升设备以 5mm 为调节步长对夹板间距进行微调，直到位移数值降到 2mm 以下的安全区间为止。现场作业人员每天对铰接部位润滑情况、螺栓拧紧力矩、夹板夹持状态进行检查，做好日常巡检、维护台账记录。

三、材料与设备选型

（一）主要材料性能

所用材料均符合国家现行规范要求，关键材料指标如下表所示。

工字钢为 25a 型，撑杆主体用，屈服强度 ≥ 355MPa；

预埋钢板：500×400×20mm Q355B 钢板，抗拉强度 470 - 630MPa；

钢筋：Φ25 HRB400，屈服强度 ≥400MPa，延伸率 ≥16%；

焊条：E5015 型，扩散氢含量 ≤5mL/100g，焊缝强度 ≥490MPa；

高强螺栓：10.9 级 M24，抗拉强度 ≥1040MPa，扭矩系数 0.11 - 0.15；

防腐涂层为环氧富锌底漆和聚氨酯面漆，干膜厚度分别不小于 80μm 和 50μm，耐盐雾不低于 1000h。

（二）主要设备配置

塔式起重机 TC7035，最大起重量 16t，用于构件吊装；
全站仪 Topcon GT-600；误差 ≤1.5mm，用于定位放线；
激光测距仪 Leica Disto S9i；精度 ±0.5mm，用于尺寸复核；
电焊机 ZX7-400；用于钢结构焊接作业；
超声波探伤仪：满足 GB11345-2013，用于焊缝检测；
液压顶升装置：调节步长 5mm，用于间距微调；
扭矩扳手：量程 0 - 500N · m，用于螺栓紧固；
激光位移传感器精度为 ±0.5mm，用作位移检测。

四、安全与环保效益

① 安全效果，施工全过程无安全事故，塔吊倾覆风险降低，高空作业防护措施落实到位，安全达标率 100%；

②施工现场扬尘控制、降噪隔离、水循环利用等措施，扬尘排放量降低 60%，噪声符合 GB12523-2011 标准，水资源利用率提高 30%，符合绿色施工要求。

五、综合效益分析

（一）技术效益

依靠三项关键的改进，成功地解决了传统附着工艺存在的固

有缺陷，即双向受力体系可以抵消墙体所受的侧向弯矩，可调式支撑框架可以跟随结构变形而调整，组合式预埋件可以匹配不同厚度的剪力墙。经过专业机构查新验证，该成套技术具有明显的创新性，填补了国内超高层塔吊附着技术的空白，对行业技术升级起到推动作用。

（二）经济效益

采用该技术后现场施工效率提高 14% ~ 15%，塔吊占用工期相应缩短。以 300 天使用周期计算，可以多完成 4500-5000 吨材料的吊运工作，节省吊运成本约 4.5-5 万元；项目总体投入降低 12%-14%，对于造价亿元级别的项目来说，可以节约成本 1200-1400 万元，节约部分主要是结构病害处理费用减少、材料使用效率提高、工期压缩带来的管理开支降低。

（三）社会效益

该技术可以保证施工人员的安全，减少对周边环境的影响，符合可持续发展的理念^[14]。在推广应用培养专业技术人员，带动相关产业技术升级，对建筑行业高质量发展有积极作用。

六、结语

本次研发的高层建筑塔吊双支平衡支撑附着安装工艺，通过传力路径优化、变形自适应补偿、适配型锚固构造等手段，解决了超高层项目中塔吊附着容易出现的应力集中、位置偏移、构件适配不良等问题。从实际工程应用效果上看，该技术可以明显提高施工安全保证能力和现场作业效率，减少项目总体投入，在同类工程中具有较好的推广使用条件。

下一步研究可以继续对支撑构件进行轻量化优化，配合智能控制算法实现自动补偿调节，扩大该技术在复杂施工环境和特殊结构工程中的应用范围，为建筑领域绿色低碳、高质量发展提供更实用的技术支撑。

参考文献

- [1] 王建国.超高层建筑施工垂直运输设备配置与管理研究[J].建筑技术,2022,53(7):865-868.
- [2] 刘志强,陈明.塔式起重机附着系统力学性能分析与优化设计[J].建筑机械,2021,39(12):78-82.
- [3] 张磊,王丽.超高层建筑剪力墙施工期收缩变形对塔吊附着的影响研究[J].施工技术,2020,49(18):95-98.
- [4] 李明杰.塔吊附着体系引发的剪力墙应力集中问题及对策[J].工程质量,2023,41(3):67-70.
- [5] 赵刚,孙伟.可调式塔吊附着节点的研发与工程应用[J].建筑科学,2022,38(5):102-107.
- [6] 李刚,张华.基于型钢桁架的塔吊附着支撑体系设计与应用[J].工业建筑,2021,51(8):198-202.
- [7] 张宏,刘军.超高层建筑塔吊可调式附着技术研究[J].施工技术,2020,49(24):110-113.
- [8] Smith J, Johnson M. Prestressed attachment technology for tower cranes in super high-rise buildings[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2019, 145(6): 04019032.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50017-2017 钢结构设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [10] 王强,李娜.三角形稳定原理在塔吊附着支撑中的应用研究[J].建筑钢结构进展,2022,24(4):89-94.
- [11] 陈明,赵伟.BIM 技术在塔吊附着预埋件定位中的应用[J].施工技术,2021,50(10):123-126.
- [12] 张强,李丽.智能监测技术在塔吊附着系统中的应用[J].工程监测,2022,6(3):45-50.
- [13] 王丽,陈明.超高层建筑施工绿色技术创新与应用[J].建筑节能,2023,51(7):156-160.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB/T 50378-2014 绿色建筑评价标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.