

高层建筑塔式起重机高空拆除技术的安全性 与效率提升研究

郑兴瑞

上海市中禾华兴达丰机械工程有限公司, 上海 200331

DOI:10.61369/ME.2026010004

摘 要 : 本研究通过对某大型高层建筑拆除项目的技术方案进行分析, 探讨采用多级置换拆除方法与合理设备部署在高空拆除作业中的技术实施效果。实践结果表明, 采用逐级置换拆除技术和高低位起重设备协作, 成功将安全事故发生率从传统拆除方法的0.8%–1.2%降低至0.3%。塔式起重机拆除作业周期从传统的4.6个工作日缩短至3.1个工作日, 整体施工成本显著降低。综合分析, 技术方案在实践案例中取得了良好的在安全性与效率提升的成效。

关 键 词 : 高层建筑; 塔式起重机; 高空拆除技术; 安全性; 效率提升

Research on Enhancing Safety and Efficiency in High-Altitude Demolition Technology for Tower Cranes in High-Rise Buildings

Zheng Xingrui

Shanghai Zhonghe Huaxing Dafeng Mechanical Engineering Co., Ltd., Shanghai 200331

Abstract : This study analyzes the technical plan for a large-scale high-rise building demolition project, exploring the implementation effects of adopting a multi-stage replacement demolition method and rational equipment deployment in high-altitude demolition operations. The practical results indicate that by employing a step-by-step replacement demolition technique and coordinating high and low-level lifting equipment, the incidence of safety accidents has been successfully reduced from 0.8%–1.2% in traditional demolition methods to 0.3%. The demolition period for tower cranes has been shortened from the traditional 4.6 working days to 3.1 working days, significantly reducing overall construction costs. A comprehensive analysis reveals that the technical plan has achieved notable improvements in both safety and efficiency in practical cases.

Keywords : high-rise buildings; tower cranes; high-altitude demolition technology; safety; efficiency enhancement

引言

城市化进程的加快促使高层建筑工程数量逐渐增多, 建筑拆除作业也日益成为建筑行业中的关键环节。特别是在高空拆除过程中, 传统方法通常依赖单一塔吊或人工作业, 这不仅导致作业环境复杂、操作繁琐, 还容易引发安全事故。此外, 传统拆除方法的施工周期长, 人工成本和设备租赁费用较高, 整体施工效率低下, 影响了项目的经济效益和时间管理^[1]。因此, 探索新的拆除技术, 尤其是能够提高安全性、效率并降低成本的技术, 成为提升拆除作业质量的重要方向。多级置换拆除技术应运而生, 通过合理的设备部署和协同作业方案, 降低高空作业风险、提升拆除效率并有效降低施工成本。本研究旨在探讨该技术在高层建筑拆除中的应用效果, 分析其在提高安全性、施工效率和成本控制方面的优势, 进而为高层建筑拆除作业提供更加高效、安全和经济的技术支持。

一、案例概述

以某大型高层建筑项目为例，项目由三栋高层建筑构成，总建筑面积达到15.4万 m^2 ，占地面积为8270 m^2 ，建筑楼层数为54层，建筑高度约为192m。建筑结构类型为核心筒+剪力墙结构，其中核心筒塔楼内设有电梯井，电梯井周围为承重式剪力墙结构体系，其他部分则为混凝土结构的非承重外墙、内隔墙、填充墙等自由隔墙。项目的拆除工作面临诸多挑战，尤其是在塔式起重机应用过程中，如何精确部署设备、控制拆除流程及确保安全成为关键问题。

二、塔式起重机高空拆除技术分析

（一）拆除流程

塔式起重机高空拆除工作遵循一系列精确的拆除流程，以确保拆除过程中的安全性和效率。首先安装 QDC3023 中型屋面吊，作为拆除作业的起始步骤；中型屋面吊的安装完成后，开始拆除 STL120 塔式起重机，在拆除 STL120 塔式起重机的过程中，将起重构件通过塔吊逐一转移至地面场地，为后续作业做好准备。在 STL120 塔式起重机拆除后安装 QW1515 高位小型桅杆吊，并进行后续拆除操作。高位小型桅杆吊为拆除作业提供更高的作业平台，确保安全拆除较高位置的构件^[2]。拆除中型屋面吊的相应构件时，使用高位桅杆吊进行作业，在此期间共进行两次转运，确保拆除构件的完整性和运输过程的安全性。高位小型桅杆吊拆除完成后，拆除 QW1515 高位桅杆吊。在此期间使用低位桅杆吊作为辅助设备进行拆卸，QW1515 低位桅杆吊的拆除工作由人工完成，确保所有设备拆除完毕。在所有起重构件拆除完成后，所有拆卸设备和构件通过同层施工电梯转运至地面。

（二）拆除设备部署

项目针对塔楼屋面高低位结构设计要求，塔式起重机的拆除设备部署采用多级置换拆除方法。在拆除前将塔式起重机预降至设计标高，并在高位屋面布设 QDC3023 中型屋面吊，为拆除作业提供稳定的起重平台。设备布置于距离塔吊 11.8m 的同一结构面上，最大起重量达到 8.3t，满足拆除过程中所需的起重力矩要求。QDC3023 中型屋面吊完成安装后，在同一结构面上布置 QW1515 小型桅杆吊，距离中型屋面吊 6.5m。小型桅杆吊起重量约为 3t，主要用于拆除 QDC3023 中型屋面吊^[3]。考虑到小型桅杆吊的稳定性，布置位置时需确保其支腿获得充分支撑，在结构面支腿处增设两道混凝土上翻梁，以提供足够的支撑力和固定作用，确保设备拆除过程中不发生偏移或倾斜。高低位起重设备的布置情况如下图 1 所示：

高位桅杆吊的拆除作业通过低位桅杆吊进行辅助，确保拆除过程中的稳定性和安全性，在低位泳池区域布置了 QW1515 低位桅杆吊，专门负责拆除高位桅杆吊的各部件，包括吊钩、起升钢丝绳、配重块等重型部件，并将拆解后的部件安全转运至地面。在低位桅杆吊的拆除过程中，所有拆解部件通过人工手段进行搬运，确保操作人员可以根据重量和体积要求分批转运至同层施工

电梯。施工电梯用于将部件快速、安全地转运至地面指定堆放场地进行管理，避免传统方法中频繁人工搬运所造成的低效与安全隐患。

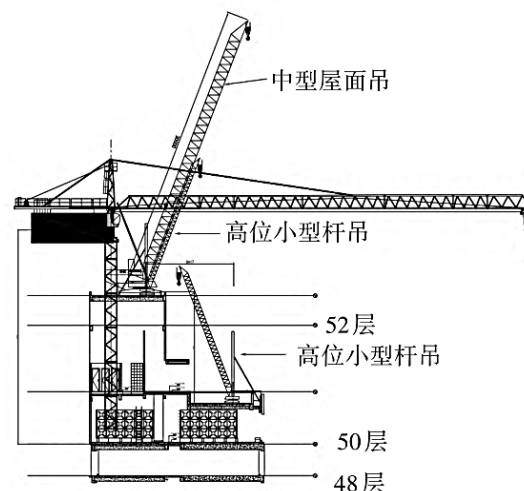


图 1 高低位起重设备的布置示意图

针对低位桅杆吊的布置，考虑到其支腿位置位于泳池内部，施工过程中对支腿基础进行精确加固设计。加固方案主要包括对支腿基础的钢筋配置、基础梁的设计以及支腿承载力的全面分析。在加固过程中选用了 M30 级 8.8 精轧螺纹钢，预埋深度为 560mm，并对基础梁进行上翻梁设计，梁长为 3800mm，截面尺寸为 800mm × 650mm。根据有限元分析和力学模拟，确保支腿基础能够充分承载拆除过程中产生的动载荷与风荷载，支撑稳定性满足设计要求，并且经过加固处理后的基础与原设计标高保持一致。

（三）设备基础加固技术

在塔式起重机高空拆除过程中，设备基础加固设计期间综合考虑起重设备的荷载、力矩以及长期使用中的动载荷变化，采用精确的计算与优化设计，以达到最优的承载能力和安全系数。

1. 屋面吊基础

QDC3023 中型屋面吊的基础布设于 54 层楼板面，结构标高为 216.7m。为确保设备在拆除过程中能够稳定支撑起重力矩并抵抗拆除过程中产生的动态载荷，基础加固方案采用加宽楼板基础梁，并对原有承重墙进行加固。加宽后的基础梁采用上翻梁设计，梁长为 4500mm，截面尺寸为 1000mm × 750mm，对应的抗弯刚度和承载能力满足设备在拆除过程中最大起重量 8.3t 要求，并考虑到可能的风力、设备回转时的动载荷等因素，最终计算出基础梁的安全系数为 1.5，满足相关规范的要求^[4]。在屋面吊的四个支腿处预埋四支 M33 等级为 8.8 的精轧螺纹钢，螺纹钢的预埋深度为 610mm。M33 螺纹钢的屈服强度可达到 400MPa，与定位板联合运用确保每个支腿的基础具有足够的承载能力。基础梁与支腿系统的联合设计方案经过多次模拟分析，确保能够分散起重机操作过程中产生的力矩及载荷。基础的预埋钢筋在混凝土浇筑完成后与设备底盘相连接，提供稳定的支撑力，保证设备的工作状态下无位移或倾斜现象。

2. 桅杆吊基础

QW1515小型桅杆吊的基础布设在54层核心筒屋面和51层泳池内部，基础设计为分离式结构，分为底座基础、撑杆基础和卷扬机固定基础三部分。底座基础和撑杆基础分别预埋 M24 和 M30 等级为8.8的精轧螺纹钢，预埋深度为510mm。通过对螺纹钢的配筋计算，确保基础的抗拉强度和抗剪能力能够应对拆除过程中产生的动态荷载。M24和M30螺纹钢的屈服强度为400MPa，经过荷载传递分析确保两种不同规格螺纹钢的配比设计能在极限荷载条件下保持足够的安全性，且各个支撑点的局部应力不会超过混凝土的抗压强度。混凝土梁的设置根据楼层高差和结构情况进行优化设计，采用上翻梁和下翻梁相结合的方式。在54层核心筒屋面采用上翻梁设计，在51层泳池内部采用下翻梁设计，确保每个位置的支撑力和稳定性。卷扬机固定位设计采取预埋螺杆方式，在混凝土浇筑前进行定位。方式通过精确的定位和预埋设计，确保卷扬机能够在高负荷条件下稳定工作，并防止在拆除作业过程中出现位移或偏斜。

3. 设备基础设计安全性分析

在设备基础加固的设计过程中，所有计算均按照国家现行建筑设计规范《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012进行，并参考《塔式起重机固定基础设计规范》T/CCMA 0052-2017等规范中的相关要求。在设计过程中重点考虑设备在拆除过程中产生的动态荷载及风荷载的影响。针对不同层级设备的布设，通过有限元分析对基础整体和局部的应力分布进行模拟。设计中相关基础的安全系数均不低于1.5，符合结构安全设计要求。此外，基础加固设计还考虑了长期使用的沉降和变形，确保设备在长期使用过程中不出现基础不均匀沉降或结构疲劳失效的情况。

（四）拆除总体部署

塔式起重机高空拆除作业涉及多个设备配合使用与周密部署，项目中的拆除工作主要包括三个阶段，分别是塔式起重机拆除作业、中型屋面吊拆除作业以及桅杆吊拆除作业。塔吊拆除平面布置图如下图2所示：

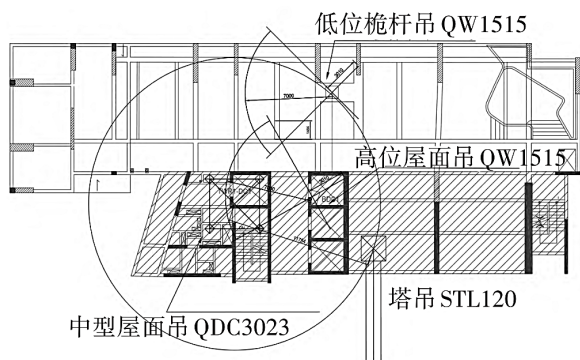


图2 塔吊拆除平面布置图

1. 塔式起重机拆除作业

首先完成 QDC3023 中型屋面吊的安装，并将其作为主拆吊装设备，用于拆除 STL120 塔式起重机。STL120 塔式起重机的拆除按照由上至下、由轻到重的顺序进行。拆除过程中，首先旋转塔式起重机的起重臂至中型屋面吊回转半径范围内，调整起重臂至

水平位置后，依次拆卸配重块、钢丝绳及吊钩、前撑杆、后拉杆等轻型部件。拆除起重臂时分三段进行作业，每一部件的吊装和运输都由 QDC3023 屋面吊完成，确保所有拆解部件按照规定顺序有序转运至地面指定位置。

2. 中型屋面吊拆除作业

QDC3023 屋面吊的拆除按与安装过程相反的流程进行，首先通过 QW1515 高位桅杆吊进行起重臂的拆分吊装。起重臂总重量约为 3.5t，拆卸分三段进行，每段起重臂拆除后立即转运至地面。通过 QW1515 高位桅杆吊依次拆除配重块、钢丝绳、吊钩、平衡臂、回转机构以及底座及支腿等装置结构。拆除后的构件通过低位桅杆吊转运至地面，最大起升高度 30m^[9]。每一部件的拆解和运输都根据其重量与体积进行精确安排，确保操作顺利进行并避免损坏。所有拆除作业均严格按照技术要求执行，起重设备间的协同操作经过精确计算，确保负荷均匀分配，提高作业效率。

3. 桅杆吊拆除作业

QW1515 桅杆吊的拆除通过低位桅杆吊进行辅助，在拆除前调整高位桅杆吊并下放起重臂至低位桅杆吊的作业范围内，随后按照与中型屋面吊类似的方式进行拆解。高位桅杆吊的拆除作业包括拆除吊钩、起升钢丝绳、笼头滑轮组、起重臂、配重块、辅助钩头、变幅钢丝绳、变幅卷扬机等部件。所有拆解后部件通过倒链和扒杆逐步拆除桅杆吊的回转机构，并利用液压搬运推车进行水平运输。拆解完成的部件通过施工电梯运送至地面，最终完成 QW1515 桅杆吊的拆除。

4. 拆除作业协调技术

在塔式起重机拆除的各个阶段中，设备的协调部署至关重要。每个拆除阶段的工作都是由专门的起重设备负责，不同设备间通过精准的协作与顺序安排确保作业顺利进行。所有拆除设备均设有明确的作业范围与吊装顺序，通过精确计算的回转半径、起重力矩和设备荷载，合理规划每个设备的任务分配。拆除过程中所有起重设备的操作与物料运输都采用逐级置换的方式进行，从高空到低空逐步完成各类拆除任务。

三、安全性与效率提升分析

通过多级置换拆除方法与设备部署方案，有效降低施工过程中的安全事故发生率。传统拆除方法通常依赖单一塔吊或人工作业，作业区域复杂且高度较高，事故发生率较高。在国内相关项目中，传统拆除作业的事故发生率普遍在 0.8% 至 1.2% 之间，特别是在高空拆除作业中，因操作不当或设备故障引发的安全事故时有发生。本项目结合高位与低位桅杆吊的协作，明显减少人员在高空作业的时间和风险。项目安全事故发生率降低至 0.3% 左右，明显优于传统拆除方法。通过精准的计算与严密的设备部署，拆除作业中所有设备均在设定的起重力矩和回转半径范围内运行，最大限度地减少设备失控、吊装不当等引发的安全风险。

传统拆除方法通常依赖单一塔式起重机进行拆解，操作流程较为繁琐，且每个步骤都需进行人工干预，导致作业时间较长。以典型的塔吊拆除为例，采用传统方法通常需要 4.6 个工作日才能

完成塔吊的拆解过程，其中大部分时间用于设备调整和人工搬运拆解部件。相比之下，本目采用高低位起重设备并行作业方式可有效缩减设备调整和拆解过程中的停滞时间至3.1个工作日，拆除施工效率提升约32.61%。传统塔吊拆除方法的成本主要集中在设备租赁费用、人工成本及施工材料的消耗上。由于依赖大量的人工操作具有较高的人工成本，且在施工期间很容易出现成本超标的问题。本项目通过高低位起重设备的多级置换拆除，显著降低了技术成本，其中人工成本减少约18.4%，设备租赁费用降低约13.9%，技术方案支持多个设备并行作业，大幅度减少了设备的空闲时间和等待成本。

结论：高层建筑的拆除作业通常面临着高空作业的安全风险、作业环境的复杂性以及高昂的施工成本等诸多挑战。基于此，本研究通过对高层建筑拆除项目的深入分析，验证多级置换拆除技术和高低位设备协作对提升拆除作业效率和安全性的积极作用。与传统方法相比，采用新技术显著降低安全事故发生率，提升施工效率的同时有效控制项目成本。安全事故发生率从0.8%–1.2%降低至0.3%，施工效率提高了约32.61%。未来，随着技术的不断发展和优化，这一技术方案有望在更多拆除项目中得到广泛应用。

参考文献

- [1] 吴胜辉, 吴承杰, 李永轩, 等. 超高层建筑工程内爬塔式起重机附着提升拆除关键技术 [J]. 建筑技术, 2024, 55(10): 1234–1237.
- [2] 童庆闯. 超高层建筑塔式起重机多级置换拆除施工技术 [J]. 上海建设科技, 2024, (01): 65–68.
- [3] 熊定振, 丁秉一. 超高层建筑塔式起重机高空拆除施工技术 [J]. 建筑施工, 2023, 45(05): 963–965.
- [4] 刘卫未, 车庭枢, 蒋千重, 等. 城市核心区高层建筑大型塔式起重机支撑系统高空转换技术 [J]. 施工技术 (中英文), 2022, 51(23): 121–125.
- [5] 黄亮忠, 赖泽荣, 章卓涛, 等. 超高层建筑内置塔式起重机施工技术研究 [J]. 广州建筑, 2022, 50(01): 51–58.