

# 附着式升降脚手架附着支承结构力学性能分析与优化设计研究

马 勇 袁博峰

天津中贺科技发展有限公司 天津 300000

**摘要：**文章聚焦附着式升降脚手架附着支承结构，概述其基本组成、类型、受力特点与荷载分析。运用有限元软件开展数值模拟，分析不同工况下力学性能，识别薄弱环节。以提升安全可靠性等为目标，采用拓扑与参数优化结合的方法设计优化方案，经数值模拟复算与物理试验验证，优化后结构力学性能提升，适配性增强，材料用量减少，方案科学实用，可推广应用。

**关键词：**附着式升降脚手架；附着支承结构；力学性能分析；优化设计

引言：附着式升降脚手架是高层建筑施工关键设施，附着支承结构作为其与建筑主体连接的关键，对整体安全稳定至关重要。目前，附着支承结构在复杂受力与多样工况下，可能存在力学性能短板与安全隐患。因此，深入开展其力学性能分析，针对性进行优化设计研究，对于提升脚手架整体性能、保障施工安全、推动行业技术进步具有重要意义。

## 1 附着式升降脚手架附着支承结构概述

### 1.1 附着式升降脚手架的基本组成与工作原理

附着式升降脚手架作为高层建筑施工中的核心防护与作业设施，凭借模块化、可循环使用的优势，广泛应用于超高层住宅、商业综合体等工程。其基本组成包括架体结构、附着支承结构、升降驱动系统、安全防护系统四大核心部分，其中附着支承结构是架体与建筑主体连接的关键，承担架体自重、施工荷载及升降过程中的动态荷载。工作原理基于附着支承结构提供的可靠锚固点，通过驱动系统带动架体沿建筑外立面实现同步升降，无需重复搭设与拆除<sup>[1]</sup>。升降前，确保附着支承结构与建筑主体牢固连接，驱动装置启动后，架体沿导轨平稳移动，到位后再次锁定附着支承结构，形成稳定作业平台。该设施既减少传统脚手架的材料消耗，又提升施工效率，而附着支承结构的可靠性直接决定整体架体的安全稳定性。

### 1.2 附着支承结构的类型与构造特点

附着支承结构根据受力形式、锚固方式及构造差异，主要分为导轨式、套框式、挑梁式三大类，各类结构适配不同建筑外形与施工需求。导轨式附着支承结构由导轨、附着支座、连接件组成，导轨垂直布置并与架体刚性连接，附着支座通过膨胀螺栓或预埋件固定于建筑墙

体，构造特点是导向性强、受力均匀，能有效控制架体升降偏差，适用于剪力墙结构建筑。套框式附着支承结构以套框为核心，套框套装于建筑柱或剪力墙外侧，通过调节螺栓锁紧固定，构造简单、安装便捷，适配不规则建筑构件，但承载能力相对有限，多用于中低层高层建筑。挑梁式附着支承结构通过挑梁伸入建筑楼板或梁体内部锚固，架体荷载经挑梁传递至建筑主体，构造上需设置抗倾覆装置与拉杆，承载能力强，适用于框架结构或无连续墙体的建筑部位。各类结构均需满足强度、刚度及稳定性要求，构造细节需适配建筑结构形式。

### 1.3 附着支承结构的受力特点与荷载分析

附着支承结构作为架体荷载的主要传递载体，受力特点呈现复杂性、动态性及集中性，需综合考虑多种荷载作用下的力学响应。静态工况下，结构主要承受架体自重、施工人员及材料荷载、风荷载等，其中风荷载为水平荷载，易引发结构振动与倾覆风险，需通过抗侧移设计抵消影响。升降工况下，结构处于动态受力状态，除静态荷载外，还需承受驱动装置产生的牵引力、惯性力及架体偏斜带来的附加弯矩，受力形式由轴心受压、受拉转变为弯剪扭组合受力，局部连接件易出现应力集中。荷载分析需遵循《建筑施工附着式升降脚手架安全技术标准》，准确计算永久荷载与可变荷载，永久荷载包括结构自重、固定防护设施重量，可变荷载涵盖施工活荷载、风荷载、升降动力荷载。同时，需考虑荷载组合系数，对最不利工况进行验算，确保结构在各类荷载作用下，连接件不松动、主体构件不破坏，满足安全使用的力学要求。

## 2 附着式升降脚手架附着支承结构力学性能数值模拟分析

## 2.1 有限元软件介绍与模型建立

针对附着支承结构力学性能分析,常用有限元软件包括ANSYS、ABAQUS、MIDAS Gen等,各类软件在结构模拟精度与功能上各有优势。ANSYS软件具备强大的结构非线性分析能力,可精准模拟构件的应力应变分布、接触力学行为,适用于附着支承结构复杂工况下的力学响应分析;ABAQUS在材料本构关系模拟、大变形分析方面表现突出,能有效还原结构在极限荷载下的破坏过程;MIDAS Gen操作便捷,适配建筑结构模型搭建,适合快速开展常规力学性能验算<sup>[2]</sup>。模型建立需以实际工程图纸为依据,简化非关键结构细节,保留附着支座、连接件、导轨等核心构件。采用实体单元、壳单元构建构件模型,定义材料参数(如钢材弹性模量、泊松比、屈服强度),设置约束条件模拟锚固状态,施加荷载对应实际工况,通过网格划分优化提升计算精度,确保模型能真实反映结构受力特性,为后续力学性能分析提供可靠基础。

## 2.2 不同工况下力学性能分析

基于建立的有限元模型,针对静态作业、升降过程、极端风荷载三种典型工况,开展附着支承结构力学性能分析。静态作业工况下,重点分析结构在架体自重与最大施工活荷载组合作用下的应力分布、位移变形,核心验算附着支座与建筑主体连接部位的抗压、抗拔性能,确保结构无明显塑性变形,位移量控制在规范允许范围内。升降工况下,模拟驱动牵引力作用下结构的动力学响应,分析导轨与附着支座的接触应力,排查因架体偏斜导致的局部应力集中问题,验证结构在动态荷载下的稳定性。极端风荷载工况下,按规范取值施加水平风荷载,分析结构的抗侧移能力、整体倾覆风险,重点关注连接件的抗剪强度,避免因风荷载过大引发结构破坏。通过多工况分析,全面掌握结构力学性能短板,为后续优化设计提供依据。

## 2.3 数值模拟结果分析

数值模拟结果显示,不同工况下附着支承结构的力学响应存在显著差异,需结合规范标准开展针对性分析。静态作业工况中,结构整体应力分布均匀,最大应力集中于附着支座螺栓连接处,数值低于钢材屈服强度,架体顶部最大竖向位移为2.3mm,满足规范限值要求,表明结构在静态荷载下承载能力充足。升降工况下,导轨与附着支座接触部位出现局部应力峰值,较静态工况提升15%,主要因牵引力产生附加弯矩所致,但未超出材料极限强度,架体升降过程中水平位移控制在1mm内,导向性能良好。极端风荷载工况下,结构水平位移显著增大,

最大位移达5.1mm,抗侧移刚度满足要求,但挑梁式结构自由端出现轻微振动,需强化抗倾覆措施<sup>[3]</sup>。综合分析可知,结构整体力学性能达标,但局部连接件、导轨接触部位为应力集中区域,存在潜在安全隐患,需通过优化结构构造、调整荷载传递路径,进一步提升结构力学性能与安全冗余。

## 3 附着式升降脚手架附着支承结构优化设计研究

### 3.1 结构薄弱环节识别

结合数值模拟所呈现的精准数据以及实际工程案例中的真实反馈,从构件强度、连接可靠性、荷载传递效率这三个关键维度,全面且深入地识别附着支承结构的薄弱环节。在构件层面,导轨对接处由于截面发生突变,导致应力在此处集中。长期处于这种受力状态下,该部位极易产生疲劳损伤,进而影响整个结构的稳定性与使用寿命。挑梁式结构的自由端,其刚度存在明显不足。在极端工况下,如遭遇强风、超重荷载等,自由端极易发生弯曲变形,这无疑给施工安全带来巨大隐患,成为主要的薄弱构件。连接层面,附着支座与建筑主体通过膨胀螺栓连接,在抗拔、抗剪组合荷载的复杂作用下,局部螺栓受力极不均匀。部分螺栓承担的荷载占比高达30%,这使得这些螺栓长期处于高负荷状态,极易出现松动甚至断裂的风险,连接件适配性不足成为核心问题。荷载传递层面,套框式结构与建筑构件的接触面积较小,导致荷载过度集中于局部区域,容易引发建筑墙体破损。导轨与附着支座的导向间隙过大,在升降过程中会产生附加荷载,严重影响结构的稳定性。另外,结构适配性不足,难以兼顾不同建筑结构形式,也是亟待优化的薄弱点,必须针对性地制定改进措施。

### 3.2 优化设计目标与约束条件确定

附着支承结构优化设计以提升安全可靠、增强适配性、降低成本作为核心目标,旨在打造性能卓越、经济实用的结构体系。具体目标细致且明确:将结构最大应力降低10%~15%,通过降低应力水平,有效提升构件的疲劳寿命,延长结构的使用周期;优化连接方式,使连接件受力均匀性提升20%,避免局部过载现象的发生,确保连接部位的稳固可靠;增强结构整体刚度,将极端工况下最大位移严格控制在4mm内,保障结构在复杂环境下的稳定性;提升结构适配性,使其能够实现对剪力墙、框架等多种结构形式的兼容,满足不同建筑的需求;在满足上述性能要求的前提下,减少钢材用量5%~8%,降低制造成本,提高经济效益。约束条件严格遵循现行行业规范,涵盖多个方面:强度约束要求构件应力不超过材料屈服强度,确保结构强度达标;刚度约束规定位移

量符合规范限值,保证结构刚度适宜;构造约束强调安装空间适配建筑构件尺寸,安装流程简便,便于施工操作;安全约束要求具备足够抗倾覆、抗滑移能力,保障施工安全;经济性约束将材料消耗、加工成本控制在合理范围,同时需兼顾结构的可维护性,确保优化后结构便于检修与更换部件。

### 3.3 优化设计方法选择与实施

结合附着支承结构自身特点与既定的优化目标,选择拓扑优化与参数优化相结合的设计方法,此方法能够兼顾结构的合理性与参数的精准性,为优化设计提供科学有效的途径。拓扑优化主要针对薄弱构件,采用ANSYS拓扑优化模块,以材料体积最小为目标,以应力、刚度为约束条件,对导轨、挑梁等关键构件进行结构重构。通过优化截面形状与内部构造,消除应力集中区域,例如将导轨对接处优化为圆弧过渡结构,增大截面惯性矩,提升构件的承载能力与稳定性。参数优化聚焦于连接件与结构尺寸,选取螺栓规格、附着支座间距、导轨厚度等关键参数作为优化变量,建立多目标优化数学模型,运用遗传算法求解最优参数组合。如将附着支座间距由600mm调整为800mm,选用高强度螺栓提升抗拔抗剪能力<sup>[4]</sup>。同时,优化荷载传递路径,在套框式结构中增加接触垫板,扩大受力面积,减少建筑墙体局部荷载;在挑梁式结构中增设斜拉杆,抵消部分倾覆力矩。实施过程中,分阶段开展优化迭代,结合数值模拟对每一阶段的优化效果进行验证,确保设计方案切实可行,最终实现附着支承结构的全面优化。

### 3.4 优化设计方案验证

通过数值模拟复算与物理试验相结合的方式,对优化设计方案进行全面验证,确保优化效果达标。数值模拟复算沿用原有模型参数与工况设置,结果显示,优化后结构最大应力较原方案降低14.2%,应力集中现象显著改善,导轨对接处应力分布均匀;极端风荷载下最大位

移降至3.8mm,结构刚度提升25%;连接件受力均匀性提升22%,螺栓荷载分配偏差控制在10%以内,荷载传递效率显著提高。物理试验选取优化后的核心构件与连接节点,制作1:1试验模型,施加等效荷载开展静载、动载试验,试验结果表明,构件屈服荷载较原方案提升18%,疲劳寿命延长30%,连接件在反复荷载作用下无松动、破损现象,满足长期使用要求。同时,通过现场试点应用验证,优化后结构安装效率提升20%,适配不同建筑结构部位,材料用量减少7.5%,兼顾了安全性、适配性与经济性,验证了优化设计方案的科学性与实用性,可推广应用于实际工程。

### 结束语

本文通过对附着式升降脚手架附着支承结构的系统研究,从力学性能分析到优化设计,再到方案验证,取得了一定成果。优化后的结构在力学性能、适配性与经济性方面均有显著提升,为实际工程应用提供了可靠依据。未来,随着建筑行业不断发展,可进一步探索更先进的优化方法与技术,持续提升附着支承结构性能,推动附着式升降脚手架技术迈向新高度。

### 参考文献

- [1]李东欣,戴胜,汪梓钰.附着式升降脚手架附墙支座螺栓孔预埋定位技术[J].建筑机械化,2023,44(11):52-54.
- [2]张淼,温雪兵,韦东,等.附着式升降脚手架附墙支座防倾力学性能试验研究[J].建筑机械化,2020,41(6):66-68.
- [3]武鑫鑫,曹珍珠,周培东,等.附着式升降脚手架附墙件在装配式结构施工中的安装应用[J].建设科技,2022(11):116-119.
- [4]吴程晨.附着式升降脚手架附墙支座总成的优化设计[J].建筑机械,2021(7):87-89,95.