

高层办公楼建筑异型单元幕墙吊装施工技术研究见解

文 / 邱 鑫 深圳市三鑫科技发展有限公司

摘要: 本文探讨了高层办公楼建筑中异型单元幕墙的吊装施工技术。异型单元幕墙因其独特的设计和复杂的结构, 在施工过程中面临诸多挑战。为此, 本文提出了一套关键技术体系, 包括高精度测量与定位技术、专用吊装设备与安全保障系统以及单元板块安装工艺等, 以确保施工的安全和质量。此外, 本文还介绍了安全与质量控制体系, 涵盖全过程安全管理、精细化质量控制及成品保护措施, 旨在为相关工程实践提供指导和借鉴。

关键词: 高层办公楼; 异型单元幕墙; 吊装施工技术; 高精度测量; 安全与质量控制

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.021

引言

随着城市化进程的加速和建筑设计理念的创新, 高层办公楼建筑的外观设计越来越多元化。异型单元幕墙作为一种体现建筑美学的重要元素, 其应用越来越广。然而, 异型单元幕墙的施工过程涉及多种技术难题, 如形态适配复杂性、安装精度控制方面、高空作业风险以及工序协同困难等问题^[1]。因此, 分析并解决这些工程问题, 对于保证建筑质量和施工安全具有重要意义。

一、异型单元幕墙的定义与工程挑战

(一) 异型单元幕墙的定义

异型单元幕墙作为现代高层建筑装饰语言的最重要载体, 由单一曲面演变为多元自由曲面, 其难度远非建筑造型的创新而单纯以高差增加, 而是随着建筑造型的不断突破而倍增。以几何造型类型来看, 异型单元幕墙可细分为三种基础形态: 水平曲面幕墙(弧形立面)、竖向曲面幕墙(扭转型体块)、双向曲面幕墙(花瓣造型)。北京绿地中心4号商务办公楼(高度260m)中的“立体梯形幕墙”及青岛国际创新园二期(高度144.5m)中的“双向扭曲面花瓣造型”, 单元板块尺寸超大(平均4.2m×3m)、单元单体重量超大(750kg以上)、空间定位难以处理是其中的重要内容^[2]。

(二) 异型幕墙施工面临的工程挑战

1. 形态适配复杂性

异型幕墙曲面形状多样, 单元板的长短、角度、曲率均不相同。以南充国际会展中心为例, “玻璃绸带”由5500余块玻璃构成, 其中900余块为倒锥、折扇异形、双曲玻璃, 总面积近2600m²³。非标性使其要求吊装系统要对每个单元板块的几何尺寸有极强的匹配度, 能满足调整的需要, 对每个板块几何条件进行“精确定位及锁定”。常规的吊装设备无法应对这种情况下的频次变换, 造成安装效率低, 单位时间内仅能安装异型板块10~15块, 比一般平面板块的安装工效(30块/天)低近一个数量级^[3]。

2. 安装精度控制

曲面幕墙安装精度要求极严格, 两块相邻板块对接安装误差大于2mm, 则会产生明显的视觉断离现象及光畸变现象, 破坏建筑表层的连续感; 且错位可能导致密

封失效, 形成渗漏风险³。超高曲面幕墙安装精度还要满足风荷载、温度变形和结构沉降等多重因素的影响, 难度呈指数级增长。北京建工集团专利(CN119288114A)利用异形骨架及幕墙波浪内收设计, 解决复杂曲面形态与结构的精准匹配、稳固相扣的问题。

3. 高空作业风险

高层办公楼幕墙施工属高空作业。200m以上幕墙高度处的高空风力是地面风的2~3倍, 在六级以上大风频率高的天气下, 吊装施工窗口大大减少。另外, 异型单元板块较大较重, 如北京绿地中心单元板重量达750kg, 吊装到高空后摆动较大, 碰撞到主体结构的风险高⁹。且异型幕墙安装需要工人悬空进行三维调整, 作业安全系数更高。

4. 工序协同困难

对于异型幕墙来说, 由于需要与其他专业交叉施工(如设备安装、主体结构等), 因此如果继续沿用传统的专业施工顺序, 则往往出现各专业施工交叉组织低效的问题, 如测量放线要在主体结构还未固定的条件下进行, 容易出现累计误差难以精确等问题; 塔机资源往往被用于钢结构施工, 无法保证幕墙单元竖向运输等问题, 这些综合因素极易引发项目赶工及投入成本增加的现象。

二、关键技术体系

(一) 高精度测量与定位技术

1. 三维逆向扫描技术

传统全站仪对复杂曲面幕墙测量效率低、数据残缺, 针对此种情况, 南充国际会展中心项目首次使用了三维激光扫描技术, 相当于给建筑物做了一次“CT”, 其能够快速得到毫米级精度的实测空间点云数据³。该技术依托相位式激光扫描仪, 单站扫描时间小于5min, 点距精度≤1mm/50m, 能准确记录主体结构实况, 通过对比点云数据与BIM模型, 快速形成结构偏差图, 调整幕墙支撑结构, 定制单元板块。

2. 多层控制网布设

如何建立从首层到顶层的垂直控制网是保证安装精度的关键。首层控制线在结构外檐内0.5~1m处设置内控制网, 再向外平移形成外控制网⁹。标准层内每5层形成一个控制层, 利用铅垂仪传递基准点, 对于高度

260m 的北京绿地中心项目，在底层、第 5 层、10 层及顶层布置控制层，用精度 0.5s 的电子全站仪进行基准线的联测，从而有效地控制垂直方向累计误差。

3. 动态监测系统

由于超高层建筑物建造时间跨度大，自重效应和施工时间因素导致结构变形和沉降在所难免。因此在重要的楼层应采用自动化全站仪设置 20 ~ 30 个测量点，进行周期性测设（一般测设 10 层时升高一层），并在测设过程中关注监测成果，当监测值超过警戒值时（通常警戒值为 2mm），应随时修正幕墙安装位置，以防累积误差。

(二) 专用吊装设备与安全保障系统

近两年来出现了一系列针对超高层异型幕墙的吊装设备，主要有模块化罐笼垂直运输体系（北京绿地中心 289m 超高层）。幕墙单元板块平放于带轮支架，由铲车

运入罐笼并垂直起吊。此罐笼的优势为平放（板块平放）、密闭（板块全程在罐笼内）、分离（人与板块不能进入罐笼），克服了 260m 高度的风荷载影响。环形轨道吊装体系（240m 以上屋面层采用单轨环形吊机）。亮点为伸缩臂长（应对不同悬挑变化）、钢结构直接固定于结构（避免压坏屋面）、双电动葫芦（板与人的同步输送）。实际应用案例中使用环形轨道后的效率为塔冠幕墙 12 块 / 天。三角架导轨起重装置（某建筑改造项目）。由于是改造项目，故固定结构墙体，通过穿墙螺栓固定于结构墙体中。此装置的亮点为：伸缩三角架（解决不同墙体的墙厚差异）、双轨道（导轨 1 板块，导轨 2 人）、双电动同步葫芦（载重 1.5t）。装置可将幕墙单元“跨障碍定点就位”。异型幕墙专用吊装设备性能对比如表 1、图 1：

表 1 异型幕墙专用吊装设备性能对比表

设备类型	适用高度	最大载重	优势	典型案例
罐笼系统	≤ 300m	2 吨	防风性强，保障板块完整性	北京绿地中心
环形轨道吊	>200m	1.2 吨	屋面适应性好，覆盖范围大	鸿荣源凤塘天幕
三角架导轨	≤ 150m	1.5 吨	精度高（±3mm），适合改造项目	上海外滩改造项目



图 1 异型幕墙单元吊装施工现场图

(三) 单元板块安装工艺

1. 双曲面分解技术

在南充国际会展中心工程中，BIM 技术协助项目解决了大规格双曲面幕墙安装过程中的“化双为单”的难点问题，通过 BIM 技术将 2600m² 的双曲面玻璃化整为零，近 1000 个单元为单曲面。运用 BIM 软件在 3D 模型上模拟切割组角过程，并根据曲面变化得出其单元边界的参数，进行单元逆向展开，从而完成曲面的单元展开过程。成功地解决了双曲面安装时所需曲面展开算法难以避免鼓包开裂的问题，解决单个单元边界的精细化设计问题、解决单元组装的拼缝问题、解决现场安装施工先后顺序以及累积误差的处理。使双曲面安装精度趋于 2mm，进而为项目的顺利实施提供了有效的技术保障。

2. 单元插接工艺

单元型式为异型单元幕墙横滑插接、横锁插接。横滑插接即封口板沿母槽水平滑动，具有良好的排水性，

但不能实现与异形曲面的配合；横锁插接即通过铸铝插芯相互锁合，具有横向约束力，能够实现一定的防震能力，适用于弯弧造型。北京绿地中心梯形单元幕墙采取了横滑式的改进形式：封口板槽口增大至 15mm，增加滑动区域；与竖框排水孔相连通到结露槽，形成三道防水防线；转角为万向转接连接件，能同时适用于不同方向，保证复杂条件下的可靠稳定。

3. 三维调整技术

异型单元精准就位依赖三维调节系统。宝润达研发的“异型幕墙拼接定位机构”（专利号 873445）包含定位架、平移槽、承托框和稳定组件。安装流程包括：单元板块吊运至安装位置→平移槽 X 轴粗调（±50mm）→液压承托框 Y 轴升降（±30mm）和水平旋转（±5°）→定位组件 Z 轴精调（±10mm，最终达 0.5mm）→稳定组件自锁式铰接臂固定，保留温度变形余量。该系统适用于折线形、波浪形等复杂异型幕墙，为异型幕墙安装提供技术支撑。

三、安全与质量控制体系

(一) 全过程安全管理

1. 气象风险管控

塔楼办公楼建筑异型单元式幕墙吊装施工遇到的气象风险控制是关键问题，为此项目制定了六级的风力风险控制措施，随着风力的变化对吊装风险进行控制。风力四级（5.5 ~ 7.9m/s）时，对散置物件进行固定，避免被风吹移至施工场内引发事故；风力五级（8.0 ~ 10.7m/s）时，停止吊装板块，待风力降低后再恢复吊装；风力六级及以上时，所有吊装高空作业都应当停止，确保作业人员及设备设施的安全。为满足对风力进行有效监测

的需求，在塔楼顶部、中部及地面的关键位置布置了无线式风速传感器网络系统，由检测点将风速信息进行实时发送，并在项目指挥部汇集信息。

2. 吊装设备安全保障

对吊篮和吊装设备使用中的安全性要求就是“双保险”，最大限度保证设备的极端运行状态。具体要求为：工作钢缆和安全钢缆分别设置，当钢缆断丝率超过 5%，应更换钢缆，以防止钢缆疲劳断裂；吊篮配重钢之间使用专用铁缆相连，以防出现单边配重不均衡出现滑落情况；同时，吊篮额定载荷做明显标识，通常为 800kg 以内，限三个人吊装，防止超载运行。同时，专用吊机上装载多个制动系统，即主制动器、应急制动器和安全钳，这些刹车联动，即使一个失效，吊机依旧能安全停靠，双保险给施工保驾护航。

3. 人员防护体系

人员防护体系保障是安全生产的又一重点。项目实施“三全防护”的对策，全面实现高空作业人员的培训、防护和监控。首先，作业人员高空施工前要经过专业技能培训，严格进行上岗体检，确保身体健康情况适合高空施工作业；其次，作业人员安全防护，强制作业人员佩戴五点式安全带，五点式安全带有冲击缓冲包以减少人员坠落的冲击力度，作业人员佩戴自锁挂钩和工具防坠链以防止工具坠落伤人。

(二) 精细化质量控制

1. 色差与纹理控制

就色差与纹理控制而言，天然石材或木纹铝板等材料必须控制好其视觉一致性。以北京绿地中心项目为例，该项目采用了“三同一定则”，即同矿脉石材、同批次加工、同立面上安装。具体措施如下：第一，在加工之前，按照排版图对荒料进行编号，可保证相邻板块来自同一原石；第二，加工完成之后再次排版，并利用色差仪进行检测， $\Delta E \leq 2.0$ ；第三，在现场安装前进行地面预拼装，监理确认后编码上墙。由此避免了高 260m 的塔楼立面上产生明显的色差带。

2. 密封性能保障

异型幕墙复杂的接缝是渗漏的重点区域。工程实践中采取了“三重密封体系”，一是外层采用硅酮耐候胶，厚度 $\geq 3.5\text{mm}$ ，弹性恢复率 $\geq 80\%$ ；二是中部的腔体采用闭孔泡沫棒填充，形成等压腔；三是内侧采用三元乙丙胶条连续密封。工艺控制关键点：一是清洁度测试，用酒精擦拭后无污点；二是黏结性测试，对基材小样进行试验；三是严格对注胶温度（ $5 \sim 40^\circ\text{C}$ ）、湿度（ $\leq 80\%$ ）进行管控；四是对注胶胶缝形状系数（宽厚比：2:1）进行管控。

(三) 成品保护措施

1. 生产运输阶段

生产加工过程中的成品保护，也要重视细节的保护，避免造成产品受力摩擦或磕碰产生的划痕伤痕。采用橡胶垫铺满加工台面，避免型材和板材加工造成划伤及压

痕产生。在型材、板材间夹设 PE 隔离膜避免不同种金属材料产生电腐蚀，保障材料使用寿命。采取定制的泡沫角槽 + 木框箱组合进行包装方式确保幕墙单元在运输中受到很好的缓冲保护，尤其是型材异型部位做好单独的防护，避免运输途中产生不均匀受力导致破坏的情况产生。在运输过程中还可通过 GPS 定位及震动检测仪进行运输状况实时监控，记录产生冲击的非正常状况进行防护，避免幕墙单元运输途中破坏的情况发生。

2. 现场存放管理

幕墙单元到达施工现场后存放也要规范管理，以免因存放不当造成幕墙材料的变形、损伤与腐蚀。楼层内设置单独的存放专区，保证幕墙单元离结构边的距离 $\geq 2\text{m}$ ，避免施工时其他作业造成幕墙单元的意外损伤。单元板块倾斜角度控制在 $\leq 10^\circ$ ，用防倾支架固定，支架间距 ≤ 1.5 倍板高，防止板块倾倒和滑动。曲面板块采用专用的存放架，防止点接触形成应力集中导致表面损伤，避免破坏曲面板块的几何形状和结构稳定。如北京绿地中心，实行“零库存”模式，将单元板块提前 2d 运输到安装层，减少板块的现场储存时间，减少板块的储存风险，提升施工效率。

3. 安装后防护

幕墙板块安装完成后，为保证幕墙在竣工验收前的状态完好，幕墙外立面需罩上防污透气膜防止施工过程中遗留的尘土、污水和污渍附着在幕墙外墙上，对幕墙成品造成影响，透气膜使用可保证幕墙在受保护的状态下完成正常的通风透气和干燥；幕墙下沿 3m 范围内加设防撞栏，防止施工人员、设备施工过程中的不慎碰撞幕墙，产生损坏；对幕墙进行清洗工作时，禁止使用氢氟酸、磷酸等腐蚀性溶剂，应使用中性清洗液，防止对材料表面产生腐蚀和损伤；特别对异型铝板而言，应用专用保护剂定期养护，防止金属划伤和酸碱侵蚀，保证幕墙的长久美观程度。

结语

本文通过深入分析高层办公楼建筑异型单元幕墙吊装施工的关键技术及安全质量控制措施，提出了有效的解决方案和实践策略。通过对高精度测量与定位技术、专用吊装设备与安全保障系统、单元板块安装工艺等方面的综合运用，不仅提高了施工效率和安全性，也确保了幕墙的整体美观和功能性。

参考文献

- [1] 刁锐. 超高层建筑异型单元幕墙吊装施工技术 [J]. 2023(19): 16-18.
- [2] 郭强, 黄珊, 陆宋, 等. 大跨度异型双曲飘带铝板幕墙施工技术与运用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025(3): 90-92.
- [3] 王伟. 异型场馆幕墙工程吊篮施工技术 [J]. 葛洲坝集团科技, 2024(3): 66-69.

作者简介：邱鑫，1990 年 11 月 6 日，男，汉，四川，本科，项目经理，主要从事建筑工程施工管理工作。