

狭小场地条件下钢结构吊装方案适应性研究

张程威

上海龙象建设集团有限公司 上海 200136

【摘要】：狭小场地为钢结构吊装带来设备布置受限、构件回转受阻、吊装路径压缩等多重挑战，若缺乏系统化方案策划，将直接影响施工安全与进度。围绕这一问题，从场地约束条件、构件特性与吊装工况出发，构建适用于受限空间的吊装方案体系。通过合理划分构件节段、优化吊装设备组合、精确设计吊点与回转半径、调整运输与就位路线，使有限场地得到最大化利用。进一步结合仿真分析对关键工序的力学与运动状态进行校核，验证方案在安全性、稳定性与可执行性方面的适应能力。研究表明，在严格场地限制下，方案优化能够显著降低吊装风险，提升操作精度，为类似工程提供可借鉴的技术路径。

【关键词】：狭小场地；钢结构吊装；方案优化；受限空间；施工组织

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.091

引言

钢结构广泛应用于城市更新、旧区改造及密集建成区工程中，而这些项目往往伴随施工场地受限、交通组织复杂、构件尺寸较大等特征，使吊装活动成为实施环节中的关键难点。狭小空间带来的设备布置压缩、构件回转受阻与安装路径受限，使传统吊装组织方式难以满足要求。面对高强度结构体系与紧凑施工环境的叠加影响，更加依赖对场地特性、构件参数与吊装工况的综合研究。围绕受限空间展开的吊装方案探索，不仅关系到施工安全与效率，也关系到结构安装质量及整体工程节奏，为研究提供了充分的工程实践背景与技术价值。

1 狭小场地对钢结构吊装的主要限制因素

狭小施工场地对钢结构吊装形成了多维度的复合限制，空间压缩使大型吊装设备难以完成常规回转、变幅和行走动作，构件吊运路线被迫缩短，设备站位可选范围极为有限。受限环境下，构件在空中的姿态调整空间不足，安装角度与就位精度受到影响，吊点受力也更容易出现偏差。周边建筑、地下管线与临近交通组织形成额外的环境约束，使吊装工况在安全系数、稳定性以及设备受力状态方面承受更高要求^[1]。钢结构构件体量大、刚度高、重量集中，若场地不足以提供充分的操作空间，极易出现构件摆幅失控、吊索组受力不均或设备抗倾覆能力下降等风险，导致施工过程的每一步都需在限制条件下重新评估工况。



图1 钢结构吊装

受限空间不仅影响设备运行，也干扰构件的运输节奏与进出场组织。场地逼仄时，构件无法一次性整体运抵指定位置，往往需要采取分段运输、临时倒运或调整进场顺序的方式，以在有限区域内完成周转布置。运输车辆在窄道内调头困难，构件转弯半径受限，构件转向受阻，使运输路线规划更依赖精确测算。待吊构件在场内的摆放也需考虑堆放荷载、地面承载能力以及设备可达性，否则将影响后续吊装步骤的连续性与顺畅性。局部空间不足还会使构件无法按照理想姿态完成临时组装或校正，迫使施工团队对构件节点、连接方式及临时加固形式进行更为严谨的调整，使整体施工组织呈现出对空间敏感的特征。

受外界环境条件影响的限制同样不可忽视。密集建筑群之间的风场扰动、光照不足、视觉盲区增多，使吊装指挥与信号传递受到干扰，施工误差风险增加。由于操作半径受压缩，设备变幅角度受控，吊索组及平衡梁的受力状态变化更加敏感，需通过精确的受力计算、吊点布置、构件重心校核来确保动作稳定。此外，场地狭窄导致紧急避让空间不足，一旦出现构件晃动、设备轻微偏载或工况突变，现场调整能力受到显著削弱。为在受限条件下维持钢结构吊装的连续性与安全性，需要将场地因素视为决定吊装策略的核心变量，并对每个动作环节的可执行性进行重新定义与技术应对。

2 受限空间下构件分段与运输路径的优化思路

受限空间内进行钢结构吊装时，构件往往无法以传统整体形式进场与转运，分段策略成为突破场地限制的重要路径。构件重新拆分后，必须兼顾力学性能、运输尺度和吊装姿态等多项要求，使节段在满足结构强度与刚度需求的前提下，具备更灵活的可操作性。分段位置多依托节点刚性、构件受力路径与安装顺序

进行划分,同时结合吊点布置与构件重心位置重新校核,使每个节段在受限环境中都具备稳定的起吊行为^[2]。对大跨度桁架、箱型梁、钢柱等构件进行合理断面设计,有助于降低单件重量与体积,使构件可在狭窄区域完成翻转、调头和临时支撑布置,从而为现场的细部操作留出必要的机械动作空间。

运输路径的规划同样在受限环境中承担关键角色。场地受压缩情况下,构件的行进路线不再是单纯的直线运输,而需要结合转角半径、障碍物位置、坡度变化以及道路承载力等因素进行精确推演。窄道、建筑夹缝和内部转弯区的尺寸常限制车辆可达范围,需要通过调整车辆型号、使用短轴距车辆、设置导向轨迹或临时扩宽路径的方式,使构件运输具备更强的适应性。运输路径的每个节点,包括构件临时停放区、卸载区与等待区,都需与吊装设备的站位坐标相匹配,使运输与吊装之间形成紧密衔接。路径规划过程中,为减少构件旋转幅度与转向难度,常需利用三维模拟对构件外形、运输工具外廓以及周边障碍进行碰撞检测,确保构件在受限空间中能够顺利通过每个关键位置。

在构件分段与运输路径确定后,现场组织方式需要围绕受限空间特点进行强化匹配。构件到达指定区域后,往往需要在极窄的范围内完成翻转、吊点调整与临时加固,相关参数需预先通过仿真分析进行校核,以确保每个动作均具有足够的安全冗余。分段构件之间的对接顺序也需根据运输可达性与吊装路径进行重新排序,以减少倒运次数和现场占地面积。在空间高度受限的区域中,一些构件还需利用小型吊具、平衡梁或滚轮小车进行微调,使构件姿态能够满足最终吊装角度的需求。对运输路径与构件分段之间的协同优化,能够显著减少场地狭窄带来的操作冲突,使吊装工序具备清晰的节奏与更高的可控性,为受限空间内的钢结构施工提供可靠的技术基础。

3 吊装设备选型与布置方式的适配策略

受限空间条件下的吊装设备选择需要围绕作业半径、回转空间、支腿展开尺度以及设备自重对地基反力的影响进行统筹,使设备既能满足吊装力矩需求,又能在狭窄区域内保持稳定姿态。大型履带吊或汽车吊在场地紧张时往往无法实现标准工况下的支腿全展,必须依据设备工况曲线重新确定可满足吊重要求的变幅角度与臂长组合,并通过受限工况下的稳定性校核确保安全裕度充足^[3]。在高度受限的区域内,常需采用折臂式吊机、小型履带吊或轨道式提升装置,以减少设备对上方与侧向空间的侵占,同时提高穿越

狭窄通道的能力。设备选型过程中,还需结合构件重量分布、吊点位置和重心偏差,选择具备更高精度微动性能的吊装装备,避免因受限场地导致构件姿态难以控制。

设备布置方式的规划是突破狭小空间限制的重要步骤。吊机站位需要在满足承载力、支腿稳定性和吊装路径连贯性的前提下,尽可能减少对施工区域的占用,使构件运输通道保持畅通。场地受限时,吊机常需采取偏置站位或边界贴近布置的方式,使设备中心位置避开障碍物,同时确保吊臂在回转时不会与周边建筑、临时设施或管线产生干涉。为提升布置精度,可利用三维建模对吊臂运动轨迹进行动态推演,模拟不同站位下构件的起吊、转运与就位过程,从而筛选出最具可行性的设备布置方案。在多台设备协同作业时,还需根据荷载转移路径与回转区划分合理设置设备间距,使设备运行互不干扰并保持力学链条的连续性。

在适配策略深入落实的过程中,设备的功能组合与辅助装置的应用也显得尤为关键。狭窄区域中,构件常因吊点布置受限而产生偏载或旋转困难,为减轻设备动作幅度,可引入平衡梁、可调式吊具或柔性牵引系统,借助辅助工具优化构件姿态。作业区域不足以容纳大型设备时,还可通过分阶段布置的方法,将设备按工序推进逐步进入作业区,使吊装节奏与空间占用实现匹配。设备进场路线、支腿受力分布、地基承载能力等因素也必须同步分析,使吊装装备在受限空间内不仅能够完成工作环节,还能确保整体结构的稳定运行状态。

4 关键吊装工序的协同控制与过程校核方法

受限空间内的关键吊装工序对协同控制提出更高要求,构件在起吊、转位与就位过程中的每一个动作都受到空间边界的约束,使工序之间的衔接必须以动态协调为核心。构件起吊阶段需严格控制离地高度、起升速度与吊点受力变化,使构件在有限空间内保持稳定姿态,避免发生摆幅扩散^[4]。在转运过程中,由于设备回转半径与构件外廓尺寸接近环境界面,施工团队需通过精准指挥与多点监测实施实时控制,使构件运动轨迹始终处于可控范围。就位阶段更依赖高精度微调,通过牵引系统、导向绳与辅助定位工具,使构件在受限条件下能够顺利贴合连接节点,保证安装精度。

过程校核的内容不仅涉及构件受力状态,也包含吊装装备、辅助设施及地基承载反应的综合验证。狭

小区域内构件的重心偏移、吊索组受力不均与局部风荷载变化更易引起整体体系的应力突变,因此需要通过力学分析对关键状态进行校核,使吊点布置、吊索角度、平衡梁受力和设备力矩均处于安全工况。对吊装设备的回转力矩、稳定裕度以及变幅范围进行预演,可提前识别潜在干涉点与不利姿态,从而在方案阶段进行针对性调整。地基反力监测与支腿压强计算是受限场地校核的另一重点,用于确认设备支撑区域在有限空间内依然具备足够承载能力,避免因局部软弱地基导致设备倾覆风险上升。

在多工序连续作业条件下,各环节之间的协同必须依托精确的时间节点与空间分配进行组织。构件进场、临时堆放、设备站位调整、吊具转换与构件定位操作之间的耦合关系,需要通过网络计划、三维模拟和现场标定的方式进行整合,使每个工序都具备清晰的运行路径。关键工序之间的衔接还需设置动态校核环节,通过实时监测构件姿态、设备力学状态与环境因素,及时调整吊装策略,使狭窄场地内的吊装行为保持稳定性与连续性。多维度的协同控制与校核体系能够使关键工序在受限空间中具备更高的安全冗余,为钢结构的顺利安装提供可靠保障。

5 适应性方案的综合成效与技术总结

受限场地条件下形成的适应性吊装方案在实施过程中展现出多维度的综合成效。构件分段策略、运输路径优化、设备选型与布置调整等环节在整体体系中相互耦合,使吊装流程在狭窄空间内依然保持连贯性。构件在受限制的进场环境中能够稳定完成姿态过渡,运输车辆在狭窄通道内实现受控行驶,吊装设备在逼仄区域内保持安全力矩,这些变化共同提升了吊装组织的操作弹性^[5]。通过精确布置吊点、校核重心位置以及控制构件回转轨迹,使安装阶段能够克服空间约束带来的操作困难,让构件与节点的贴合过程达到预期精度,整体安装变形在允许范围内保持受控状态。

参考文献:

- [1] 王昱博.狭小场地及复杂环境中深基坑施工技术运用分析[J].城市建设,2025,(28):41-43.
- [2] 林旭东.大型钢结构连廊吊装与安装施工技术要点[J].工程技术研究,2025,10(22):13-16.
- [3] 李航宇.大跨度钢结构吊装施工及实时监测分析[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2025,43(10):106-109.
- [4] 张俊超,俞立鸿,黄勇达.狭小场地预制混凝土装配式叠合楼板的施工技术研究[J].住宅与房地产,2025,(20):35-37.
- [5] 孔得会,申旭庆.浅谈狭小场地复杂杂填土区域灌注桩施工技术[J].建筑机械化,2025,46(04):102-104.

方案实施后,各环节的协调程度得到显著增强,工序间的衔接更加顺畅。运输组织、设备进退场、变幅路线与吊装姿态的同步规划,使施工现场的占地面积得到有效压缩,减少了内部冲突与等待时间,提升施工节奏的稳定性。受限空间中存在的视线遮挡、风荷载扰动、构件回转半径不足等问题,通过过程监测、辅助定位系统与微动控制手段得以化解,使吊装过程从粗放动作转向精细化操作。吊装设备在经校核的受限工况下运行,不仅保持了稳定的力学工作状态,还使关键构件的安全系数更为明确,降低现场不可控因素带来的潜在风险,使受限环境中的吊装管理更加有据可依。

在方案的综合应用过程中,形成了一套针对狭小场地的技术路径。构件在受限空间内的行为特征、运输路径的可达性、设备回转空间的边界条件、地基反力的变化规律等参数均通过仿真与现场标定获得,使方案具备可重复性与适配性。工序组织方式在受限条件下呈现出高度定制化特征,现场布局、设备进退顺序、临时支撑结构和吊具组合方式均体现出精细化的方案逻辑。经过系统验证后,适应性方案展示出应对空间约束、减少操作冲突、提升吊装精度与增强安全保障能力的综合成效,使狭小场地这一不利条件得以通过技术手段转化为可控状态,为类似工程施工组织与吊装策略提供了较高参考价值的实践经验。

6 结语

狭小场地条件下的钢结构吊装展现出高度复杂的技术特征,空间限制对构件分段、运输路径、设备适配与工序控制形成多重影响,使施工组织必须依托精细化的工程策划与严密的技术体系。适应性方案在实践中强化了各环节之间的协同关系,使吊装动作在受限空间内仍具备稳定性与可控性。经由多维度校核与动态调整,整体吊装流程逐步形成具有针对性的操作模式,为解决类似受限空间条件下的钢结构安装提供了可靠的工程思路与技术支撑。