

# 装配式建筑施工吊装作业安全控制策略

鲜雄<sup>1</sup> 方铅<sup>2</sup>

成都建工第八建筑工程有限公司 四川 成都 610000

**【摘要】**：装配式建筑构件体量大、吊装频次高、现场交叉作业多，吊装环节已成为施工安全管控的重点。当前吊装作业不仅依赖塔吊，还广泛使用汽车吊等移动式起重设备，但部分项目存在吊装方案针对性不足、设备检查不细、人员协同不畅、现场警戒薄弱等问题，尤其对汽车吊的地基承载力核算缺失，容易引发构件碰撞、吊点失稳和高处坠落等事故。通过细化吊装方案审核制度、强化起重设备检测、进行力矩与地基承载力验算、规范指挥信号、设置分区警戒、落实全过程旁站监督，可形成吊装作业闭环控制机制。该策略能够提升吊装组织效率，降低现场安全风险，保障装配式建筑施工平稳推进。

**【关键词】**：装配式建筑；吊装作业；汽车吊；地基承载力；力矩计算；安全控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.029

## 引言

装配式建筑以构件预制化、现场装配化为主要特征，虽能提高施工效率、减少湿作业，但其吊装组织与现场协同要求显著提升。预制构件涵盖混凝土构件（墙板、叠合楼板、楼梯、梁柱）及钢结构构件（钢梁、钢柱等），重量大、精度高。若吊装方案不严谨、设备运行不稳、指挥配合不到位或交叉作业失控，极易引发构件摆动、碰撞、脱钩、倾覆等安全事故。吊装作业直接关系安装质量、人员安全及工程进度。因此，亟需从风险识别、方案编制、设备管理、地基处理、人员协作、现场防护及过程监督等方面构建系统化控制路径，推动吊装作业从经验粗放式管理转向精细化、专业化管理，为装配式建筑施工安全提供可靠保障。

## 1 装配式建筑吊装作业风险特征

### 1.1 预制构件体量较大带来的吊运风险

预制构件重量大、长度长、重心复杂，对起重设备性能、吊具承载能力、吊点精度及设备基础承载力要求较高。尤其是汽车吊转场时，支腿须支承于坚固平整地基，若承载力不足（如软土、回填土未夯实），易导致不均匀沉降，引发整车倾覆。构件出厂标识、吊点位置、重心参数核验不充分，会造成起吊后受力不均、构件倾斜、摆动过大等问题。绿色建造要求减少返工损耗，吊运环节需通过构件信息编码、参数复核、吊具匹配验算提高控制精度。大构件在转运就位阶段受风荷载、场地空间、运输路径限制，增加碰撞、磕损与失稳风险，对吊装精细化水平提出更高要求。

### 1.2 施工现场交叉作业引发的安全隐患

装配式建筑施工现场常同时存在构件堆放、塔吊运行、汽

车吊进出场及支腿展开、运输车辆进出、临边作业、焊接固定、灌浆连接等多类工序，空间利用强度高，作业界面转换频繁。若吊装区域、材料通道、人员通行路线缺乏清晰划分，尤其是汽车吊的作业半径（转台中心至吊物中心距离）内未设置警戒，容易出现吊物下方停留、车辆与构件吊运路线重叠、安装人员与其他班组交叉干扰等隐患<sup>[1]</sup>。精益建造理念强调工序衔接和资源高效配置，但在现场组织不细致的情况下，压缩进度会放大安全风险。交叉作业还会影响指挥信号传递和作业视线判断，使吊装过程中的停、起、转、落等动作缺乏统一节奏，增加误操作概率。

### 1.3 吊装精度要求较高造成的控制难点

装配式构件安装不仅要求安全吊运，更需精准进入设计位置，墙板垂直度、梁柱轴线、叠合板搭接长度、预留孔洞对位等均须满足施工精度。吊装过程中，构件受自重、风力、吊索角度及设备微动影响易产生偏移，若测量复核、临时支撑、就位校正衔接不紧密，将导致安装偏差扩大。钢梁、钢柱等钢结构构件对精度要求更高，其螺栓孔位对正、焊接坡口保护直接影响连接质量。数字建造理念推动 BIM、智能监测等技术融入吊装管理，但现场仍需将模型数据转化为可执行的定位措施。高精度安装还要求指挥、塔吊司机、汽车吊操作员及安装人员同步配合，否则落位速度、调整方向与固定时机难以统一，影响安全稳定。

## 2 吊装作业安全问题识别

### 2.1 吊装专项方案缺乏针对性

吊装专项方案若套用通用模板，易忽视构件规格差异、吊点形式、安装顺序及现场空间条件，导致方案与实际脱节。

作者简介：鲜雄(1976-)，男，四川成都人，本科，高级工程师，从事建筑工程技术、安全、管理工作。

方铅(1990-)，男，河南南阳人，本科，工程师，从事建筑工程技术、智能建造工作。

部分方案对构件重量核算、塔吊覆盖半径、吊索夹角等关键参数表达不细,更未针对汽车吊的支腿布置、地基承载力核算、回转限制作出明确规定,难以指导精准操作。绿色建造与精益建造要求方案体现构件编码、吊装路径、堆放位置及安装节拍的匹配关系。缺乏针对性会使吊装准备停留于文件层面,无法提前预判高风险节点,增加临时决策与被动调整概率。

## 2.2 起重设备检查维护不够细致

起重设备检查若停留于外观确认层面,易遗漏制动系统、限位装置、钢丝绳磨损、力矩限制器等关键隐患。汽车吊还应重点检查支腿液压锁、水平仪、回转支承及轮胎气压,防止支腿回缩或整车失稳。装配式建筑吊装频次高、负荷集中,细小故障可在连续作业中迅速放大<sup>[2]</sup>。现场若缺少运行参数记录、维护预警及故障闭环复查,设备安全性能难以稳定。检查不细还会导致构件在起升、回转、变幅中产生异常晃动,增加碰撞、失稳及停机风险。

## 2.3 作业人员协同配合存在偏差

吊装作业涉及指挥、司索、机械操作、安装校正等多个岗位,信息传递不一致将影响动作的连续性与准确性。汽车吊操作员视野受限、盲区较大,对指挥信号依赖程度高,需统一口令、手势及通信设备。现场若缺乏统一指挥、标准手势及岗位责任划分,易出现指令重复、信号延迟、节奏混乱等问题。协同偏差会导致构件悬停时间延长、调整次数增加、人员站位不合理,既降低安装效率,也放大吊物摆动、构件碰撞及高处坠落风险。

# 3 吊装前安全准备控制策略

## 3.1 细化专项吊装方案审核流程

专项吊装方案审核应从资料审查转向参数核验与现场适配,重点核对构件重量、吊点位置、起重设备型号、作业半径、吊索夹角及地基承载条件。审核流程按“构件信息核对—设备能力校核—吊装路径推演—风险节点确认—责任落实”顺序展开,确保方案可指导现场操作。同时必须进行量化计算:塔吊力矩:实际力矩=(构件重+吊具重)×幅度。如构件重6t、吊具0.5t、幅度25m,则实际力矩=162.5t·m,须小于额定力矩(8t×25m=200t·m),安全系数≥1.25。汽车吊地基承载力:总荷载=(自重+构件重+吊具重)×1.1(动载系数),单支腿最大压力≈总荷载/3。要求地基承载力 $f_{ak} \geq (\text{单腿压力} \times 9.8) / \text{支腿底板面积}$ 。如计算得65.5kPa,若现场地基承载力<80kPa,须换填夯实或铺设钢路基箱。数字建造层面,可通过BIM模拟构件堆放、吊运路线及安装空间,提前识别碰撞与盲区隐患。方案还应明确恶劣天气停吊标准、夜间照明、通信失效处置及临时支撑设置。审核完成后形成问题清单、整改记录与复核结论,确保每项风险均有对应控制措施。

## 3.2 完善起重设备进场验收制度

起重设备进场验收应突出“证件合规、性能可靠、状态可控”的要求,重点查验设备备案资料、检测报告、操作人员资格及维护保养台账,同时对钢丝绳、吊钩、制动器、限位器、力矩限制器、回转机构、液压系统等关键部位进行实体检查。汽车吊进场还应检查支腿液压系统是否渗漏、水平仪是否校准、力矩限制器警报功能是否正常,并在空载状态下完成各动作测试。装配式建筑吊装负荷集中、频次高,进场验收须核对设备额定起重量与构件最大重量、作业半径、吊装高度之间的匹配关系<sup>[3]</sup>。智能建造理念可通过二维码档案、运行数据采集和维护周期提醒,实现设备状态动态追踪。验收中发现的磨损、松动、漏油、限位失灵等问题,应建立整改闭环,未完成复查不得投入吊装。设备进场后还需设置班前检查制度,将每日运行状态、天气影响、基础稳定性及安全装置灵敏度纳入记录,保障吊装前设备处于稳定受控状态。

## 3.3 开展构件吊点复核安全交底

构件吊点复核应在吊装前完成实物核验,重点确认构件编号、规格尺寸、重心位置、预埋吊环、吊钉、连接件强度和吊点外观质量,防止因构件信息错误或吊点缺陷导致受力异常。对于钢梁、钢柱等钢结构构件,应重点复核焊接吊耳的位置、焊缝高度及探伤报告,严禁使用有裂纹或烧蚀的吊耳。复核过程需要结合深化设计图、构件出厂资料和现场堆放状态,检查吊点是否存在偏位、裂缝、松动、锈蚀、污染遮挡等问题,并根据构件安装方向确认吊索连接方式。安全交底不能停留在口头提醒,应将吊点复核结果、起吊角度、试吊高度、构件翻转要求、就位顺序、临时支撑位置和人员站位要求逐项说明。绿色建造理念强调减少构件损伤和返工浪费,吊点复核能够提前消除构件破损、吊具错配和安装偏差风险。交底资料可采用图示化清单和构件编码管理方式,使司索、指挥、安装校正等岗位掌握同一作业信息,保证起吊前各项准备条件清晰、准确、可追溯。

# 4 吊装过程安全管控策略

## 4.1 规范吊装指挥信号传递方式

吊装指挥信号传递应建立统一、清晰、可核验的执行规则,避免多点指挥、信号混乱和口令不一致影响构件运行安全。吊装开始前,应明确唯一指挥人员,统一手势、旗语、对讲口令和紧急停止信号,确保起升、回转、变幅、下降、暂停等动作均有固定表达方式。对于汽车吊,应特别设置“停止回转”“微动对位”“紧急熄火”等专用信号,并在作业前进行模拟演练。构件离地试吊、空中转运、临近结构物、落位校正等关键阶段,应采用短指令、慢动作、重复确认的方式控制节奏,防止因信息延迟造成构件摆动或碰撞。智能建造理念可融入信号管理,通过无线通信、视频辅助、塔吊黑匣子和可视化监控提高指挥

覆盖范围。复杂吊装区域还应设置辅助观察岗位，对盲区、临边、障碍物和构件姿态进行实时反馈。通信设备出现杂音、中断或指令不清时，应立即暂停吊装动作，待信号恢复并重新确认后继续作业，使吊装过程始终保持单线指挥、动作受控、信息闭合。见图1所示。



图1 规范吊装指挥信号传递方式图

#### 4.2 强化吊运路径分区警戒管理

吊运路径分区警戒应依据构件运输路线、塔吊及汽车吊的回转半径、安装位置、临边洞口和交叉作业范围进行动态划分，形成吊装核心区、警戒缓冲区、材料周转区和人员通行区的空间边界。汽车吊作业前必须将支腿完全展开，并在地面划出支腿投影线和回转禁区，严禁人员进入。吊装前需清理路径内障碍物，核查构件与脚手架、外防护、临时设施、已安装结构之间的安全距离，防止转运过程中发生刮碰、挤压和悬吊滞留。绿色施工理念要求减少现场扰动和有序占用，分区警戒可通过硬质围挡、警示标识、地面导向线、声光提示和电子围栏提高现场识别度<sup>[4]</sup>。吊物下方及回转半径内严禁无关作业，运输车辆、材料堆放和临时用电线路不得侵入吊运控制范围。路径管理还应结合天气、作业面变化和安装进度进行调整，构件进入落位区域前提前释放操作空间，确保吊装通道连续、清晰、稳定，降低交叉干扰对吊装安全的影响。见图2所示。



图2 装配式建筑吊装作业分区警戒平面布置图

#### 4.3 落实构件就位全过程旁站监督

构件就位旁站监督应覆盖起吊、转运、对位、临时固定、校正复核等连续环节，重点盯控构件姿态、吊索受力、落位速度、支撑设置及人员站位。构件接近安装位置时，需降低下降

速度、控制摆动幅度，确认连接钢筋、预留孔洞、支座标高及边线位置，防止强行落位造成构件破损或结构偏移。钢梁吊装还应重点检查梁底标高、水平度、临时螺栓数量及拧紧程度，未固定前不得松钩。旁站监督须对过程异常及时干预，如吊索松紧不均、构件倾斜、支撑未到位、人员站位过近等。通过移动端检查表、影像留痕及测量数据上传实现数字化管控。构件初步就位后，应立即完成临时支撑、连接固定及垂直度复核，未达稳定条件不得解除吊钩，确保构件从空中受控状态平稳转换为结构稳定状态。

### 5 吊装作业安全控制成效提升

#### 5.1 降低构件吊运过程事故概率

构件吊运事故概率的降低，关键在于风险前移识别与过程动态控制的协同发力。吊装参数复核后，构件重量、吊点受力、吊索角度及设备作业半径形成稳定匹配，减少起吊瞬间受力突变、构件倾斜及吊具超载等风险<sup>[5]</sup>。特别是通过塔吊力矩计算与汽车吊地基承载力验算，可从源头杜绝超负荷吊装及支腿下陷事故。吊运路径分区管理后，构件空中转运无需临时避让，有效降低碰撞脚手架、外防护及已安装构件的风险。智能监测手段可及时捕捉设备运行状态、风速及力矩数据，在风险萌芽期介入处置。精细化安全控制压缩构件悬停时间，减少高空摆动与人员近距离调整频次，使吊运过程从经验判断转向数据辅助与标准执行，现场安全状态更加稳定。

#### 5.2 提高施工现场协同作业效率

施工现场协同效率的提升，依赖于吊装计划、构件供应、设备运行与安装作业的有序衔接。构件编码、堆放位置与吊装顺序相互匹配后，可减少构件倒运，塔吊与汽车吊的作业区域及时间段错峰安排，安装作业按既定节拍推进。统一指挥信号与落实岗位分工，使起吊、转运、对位、校正、固定等环节形成连续流程，减少等待、重复调整及信息误差造成的停顿。精益建造理念要求将安全要求嵌入生产节奏，使安全管理成为稳定施工节拍的条件。数字化平台记录吊装任务、设备状态及构件进度，为现场调度提供实时依据。各作业面按警戒分区与吊运路径组织施工，可减少交叉干扰、优化资源占用，实现装配式建筑施工效率与安全水平的同步提升。

#### 5.3 形成吊装安全闭环管理机制

吊装安全闭环管理机制应贯穿方案审核、设备验收、地基处理、构件复核、过程旁站、问题整改及资料归档等环节，形成“识别—控制—反馈—改进”的连续链条。每次吊装作业均须生成可追溯记录，涵盖构件编号、设备状态、地基承载力验算数据、指挥人员、检查结果及异常处置，避免安全管理停留于事后再补资料。数字建造理念推动管理由纸质记录转向平台化留痕，通过移动端检查表、影像资料、传感数据及整改闭环实现全过程可查。发现问题须明确责任、时限与复查标准，未

完成闭环不得进入下一吊装工序。闭环机制可沉淀高频风险数据，为方案优化、人员培训及设备维护提供依据，使吊装管理更加规范、精准、稳定。

## 6 结语

装配式建筑吊装作业安全控制需要从方案、设备、地基、构件、人员、现场和监督等环节协同推进。通过纳入汽车吊管

理要求、增加地基承载力验算、补充塔吊力矩计算、丰富图例内容以及明确钢结构构件吊装要点，吊装前精准识别风险，吊装中严格控制流程，吊装后及时复盘整改，可减少构件碰撞、设备失稳和人员误操作等问题。安全控制体系由静态检查转向动态管控后，施工组织更加有序，吊装效率和现场安全水平能够同步提升。

## 参考文献：

- [1] 胡晓东.装配式建筑高空吊装作业人员行为安全预警模型构建分析[J].安徽建筑,2025,32(9):185-187.
- [2] 胡龙伟,罗佳怡,董晶晶,等.基于 HHM-FBN 的装配式建筑吊装施工安全风险评价[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2025,41(4):503-512.
- [3] 方兰香.装配式建筑监理现场安装质量监督与管理要点研究[C]//江西省汽车工程学会,江西省工程师联合会.工程技术与新能源经济学术研讨会论文集(三).[出版者不详],2025:180-184.
- [4] 刘金珠.基于贝叶斯网络的装配式建筑吊装施工风险关键因素研究[D].武汉科技大学,2025.
- [5] 薛曦澄.装配式建筑施工吊装作业安全预警系统研究[D].西安建筑科技大学,2024.