

高层建筑钢结构施工中的模块化吊装技术与安全风险评估

徐 诚

陕西煤业化工建设(集团)有限公司 陕西 西安 710000

摘要:在城市化进程加速的当下,高层建筑如雨后春笋般涌现,钢结构凭借强度高、自重轻、施工速度快等优势,成为高层建筑结构的常用形式。本文聚焦高层建筑钢结构施工中的模块化吊装技术及其安全风险评估。首先阐述模块化吊装技术在提高施工效率、保证施工质量、降低成本及提升安全性等方面的重要意义。接着剖析该技术的关键要点,涵盖模块设计、吊装设备选择与吊装工艺流程。而后深入分析施工中的安全风险,包括结构失稳、吊装设备故障、人员操作及环境风险等。最后介绍安全风险评估方法,如层次分析法、模糊综合评价法,并提出针对性的安全风险控制措施,为高层建筑钢结构模块化吊装施工提供理论与实践指导。

关键词:高层建筑;钢结构施工;模块化吊装技术;安全风险评估

引言:随着城市化进程加速,高层建筑数量日益增多,钢结构因强度高、自重轻等优势在高层建筑中广泛应用。模块化吊装技术作为高层建筑钢结构施工的关键方法,能将建筑结构分解为多个模块,通过吊装设备依次安装就位,显著提升施工效率与质量。然而,高层建筑钢结构模块化吊装施工环境复杂,涉及高空作业、大型设备操作等,存在诸多安全风险,如结构失稳、设备故障、人员操作失误及恶劣环境影响等,这些风险严重威胁施工安全与进度。因此,深入研究模块化吊装技术及安全风险评估具有重要的现实意义。

1 模块化吊装技术在高层建筑钢结构施工中的意义

1.1 提高施工效率

模块化吊装技术将高层建筑钢结构合理划分为多个模块,各模块可在工厂提前预制,实现标准化、规模化生产,极大缩短了现场施工周期。同时,现场吊装作业可按计划有序进行,多模块并行吊装,减少了工序间的等待时间。而且,模块化施工受天气等外界因素影响较小,能保持较高的施工连续性,从而显著提高整体施工效率,加快项目交付速度。

1.2 保证施工质量

工厂预制模块时,能采用先进的生产工艺和严格的质量检测手段,确保每个模块的尺寸精度、焊接质量等符合高标准要求。在现场吊装过程中,精准的定位和连接技术可保证模块之间的拼接严密、稳固,减少因现场施工条件限制而产生的质量瑕疵。此外,模块化施工便于质量追溯和管理,一旦发现问题能及时追溯到具体模块和生产环节,有效保证施工质量。

1.3 降低施工成本

一方面,模块化吊装技术实现了工厂化生产,提高

了材料利用率,减少了现场材料浪费,降低了材料成本。另一方面,缩短的施工周期减少了人工和设备的使用时间,降低了人工成本和设备租赁费用。同时,精准的施工过程减少了返工和整改情况,避免了因质量问题导致的额外成本支出。综合来看,该技术能有效降低高层建筑钢结构施工的整体成本。

1.4 提高施工安全性

模块化吊装将大量高空作业转化为工厂内的地面作业,减少了现场高空作业的工作量和危险程度,降低了施工人员坠落等事故的发生概率。而且,模块在工厂预制时,可提前设置好安全防护设施,保障生产过程中的安全。现场吊装过程中,通过科学的吊装方案和严格的安全管理,能有效控制吊装设备故障、结构失稳等安全风险,为施工人员创造相对安全的作业环境,提高施工安全性^[1]。

2 高层建筑钢结构施工中的模块化吊装技术关键要点

2.1 模块设计

2.1.1 模块划分原则:模块划分需综合考虑建筑结构特点、施工工艺、运输条件及吊装能力等因素。要遵循功能完整性原则,使每个模块具备相对独立的功能,便于预制和安装。同时,保证结构合理性,避免模块内出现应力集中等问题。还应考虑施工的便利性,划分出的模块应易于在工厂制作、运输至现场以及现场吊装就位,以提高整体施工效率,确保施工流程的顺畅进行。

2.1.2 模块尺寸与重量确定:模块尺寸要依据建筑的空间布局、运输车辆的限载和限高以及现场吊装设备的起吊能力来确定。过大尺寸会导致运输困难、吊装风险增加;过小则可能增加模块数量,提高连接难度和成本。重量方面,要精确计算模块内各构件的重量,确保

总重量在吊装设备额定起重量范围内，同时考虑动载系数等安全余量，保证吊装过程的安全性和稳定性。

2.1.3 模块连接设计：模块连接设计是关键，要保证连接强度和刚度满足建筑整体受力要求。常见的连接方式有焊接、螺栓连接等。焊接连接强度高，但现场焊接工作量大、质量受环境影响；螺栓连接安装方便、便于拆卸，但需精确控制螺栓孔的加工精度。设计时要根据模块特点和使用要求合理选择连接方式，并进行详细的节点设计，确保连接部位传力明确、构造合理，保障高层建筑钢结构的整体安全性。

2.2 吊装设备选择

2.2.1 起重机选型：起重机选型需综合多方面因素。首先要依据模块的最大重量、起升高度和回转半径来确定起重机的额定起重量、起升高度性能参数及工作幅度，确保能满足吊装需求。同时，考虑施工现场的地形、场地空间等条件，选择合适的起重机类型，如塔式起重机适合高层建筑固定位置吊装，汽车起重机机动性好适用于场地灵活的施工场景。

2.2.2 吊索具选择：吊索具选择关乎吊装安全。对于钢丝绳吊索，要根据模块重量计算所需的安全系数，选择合适直径和结构的钢丝绳，确保其具有足够的强度和抗疲劳性能。吊带则要考虑其材质的承载能力和耐磨损性，适用于一些表面光滑或易损伤的模块吊装。卡环等连接件要与吊索匹配，保证连接牢固。同时，要定期检查吊索具的磨损、腐蚀情况，及时更换不合格产品，防止吊装过程中发生断裂等事故。

2.3 吊装工艺流程

2.3.1 吊装前准备：吊装前准备至关重要。技术方面，要仔细审核施工图纸与吊装方案，组织技术人员向作业人员详细交底。现场需清理场地，确保起重机行走和吊装作业区域无障碍物，合理规划运输路线。对吊装设备全面检查调试，保证起重机、吊索具等性能良好。同时，检查模块的外观质量、尺寸精度及连接部位状况，在模块上做好安装定位标记。

2.3.2 模块吊装：模块吊装时，先进行试吊，缓慢提升模块至离地面一定高度，检查起重机稳定性、制动性能以及吊索具受力情况，确认无误后再正式起吊。起吊过程中，要保持模块平稳，避免晃动和碰撞，专人指挥起重机操作，确保动作协调。按照预定路线将模块吊运至安装位置上方，缓慢下降，速度均匀，接近安装部位时，操作人员要精准控制，防止模块与已安装结构发生磕碰，保证吊装过程安全有序。

2.3.3 模块就位与固定：模块就位时，利用测量仪

器辅助，精确调整模块位置和垂直度，使其符合设计要求。通过临时支撑对模块进行稳定，防止倾覆。之后进行模块连接固定，按照设计要求采用焊接或螺栓连接等方式，确保连接牢固。焊接时要保证焊缝质量，螺栓连接要控制扭矩，达到规定值。完成连接后，拆除临时支撑，再次检查模块的安装精度和连接可靠性，确保模块就位与固定质量满足高层建筑钢结构施工标准。

3 高层建筑钢结构模块化吊装施工安全风险分析

3.1 结构失稳风险

3.1.1 模块设计不合理：若模块划分未充分考虑结构受力特性，可能导致局部应力集中。连接节点设计强度不足，在吊装受力时易发生破坏。模块尺寸与重量设计不合理，超出起重机吊装能力范围，或在运输、吊装中因自重过大引发结构变形，影响整体稳定性，增加结构失稳风险。

3.1.2 吊装顺序不当：未按照结构力学原理和施工规范确定吊装顺序，先吊装的模块可能因后续模块吊装产生的不平衡力矩而发生位移或倾斜。随意更改既定吊装顺序，会破坏结构整体受力平衡，使已安装模块承受额外应力，导致结构失稳，威胁施工安全。

3.1.3 临时支撑设置不足：临时支撑的数量、位置和承载能力设计不合理，无法有效分担模块吊装过程中的荷载。支撑结构本身强度不够或稳定性差，在模块就位时不能提供可靠支撑，易使模块发生下沉、偏移或倾覆，进而引发整个钢结构体系的失稳，造成严重安全事故。

3.2 吊装设备故障风险

3.2.1 起重机故障：起重机若缺乏定期检修，制动装置易失灵，起升机构可能卡顿。电气系统老化，易出现短路、接触不良，使操作失控。超载运行会致金属结构疲劳、断裂，吊装中起重机突然故障，模块坠落，严重威胁现场人员与设备安全。

3.2.2 吊索具损坏：吊索具长期使用，钢丝绳断丝、磨损，吊带撕裂老化，卡环有裂纹却未察觉。吊装时，损坏的吊索具无法承受模块重量，突然断裂，模块下落，会造成下方人员伤亡和设备损毁，引发重大事故。

3.3 人员操作风险

3.3.1 操作人员技能不足：部分操作人员未接受系统专业培训，对起重机、吊索具等设备的操作不熟练。在吊装作业中，难以精准控制模块起升、下降及移动速度与方向，易出现超载起吊、斜拉硬拽等违规操作，无法应对突发状况，增加吊装事故发生概率，威胁施工安全^[2]。

3.3.2 安全意识淡薄：一些人员安全观念缺失，不重视施工安全规定。作业时不按规定佩戴安全帽、安全带

等防护用品，随意进入吊装危险区域。对现场安全警示标识视而不见，心存侥幸，这种行为极易在吊装设备故障或操作失误时，导致自身受到严重伤害，引发安全事故。

3.4 环境风险

3.4.1 恶劣天气影响：在高层建筑钢结构模块化吊装时，强风会使模块在空中剧烈晃动，增加吊装难度与危险性，还可能吹倒临时支撑。暴雨会致使场地泥泞，影响起重机械等设备行驶与作业稳定性，雨水也可能损坏电气设备。雷电天气下，起重机等金属设备易遭雷击，引发安全事故。

3.4.2 施工现场环境复杂：施工现场可能存在多工种交叉作业，人员与设备密集，吊装区域易被其他作业干扰。周边可能有高压线、建筑物等障碍物，限制起重机械作业范围与吊装路线。场地不平整、空间狭窄，会增加起重机倾覆风险，给模块化吊装带来诸多安全隐患。

4 高层建筑钢结构施工中的安全风险评估方法与控制措施

4.1 安全风险评估方法

4.1.1 层次分析法（AHP）：层次分析法在高层建筑钢结构模块化吊装安全风险评估中，先将复杂问题按不同属性分解成目标、准则、指标等层次结构。通过构建两两比较判断矩阵，确定各层次元素相对重要性权重。例如，将结构失稳、设备故障等风险因素作为准则层，细分具体指标进行对比打分。该方法能系统梳理风险因素，将定性判断转化为定量分析，清晰呈现各因素对整体安全风险的影响程度，为决策提供科学依据。

4.1.2 模糊综合评价法：高层建筑钢结构模块化吊装施工安全风险存在诸多模糊性和不确定性，如人员操作熟练度“较好”“一般”等难以精确界定。模糊综合评价法先确定评价因素集和评语集，利用隶属度函数将定性评价转化为定量数值，构建模糊关系矩阵。再结合各因素权重进行综合运算，得出整体安全风险评价结果。

4.2 安全风险控制措施

4.2.1 结构失稳风险控制措施：设计阶段，借助专业软件对模块结构进行精细化受力分析，优化模块划分与连接节点设计。吊装前，依据结构特点和施工条件，通过专家论证确定科学合理的吊装顺序。同时，根据模块重量和受力情况，精确计算并合理布置临时支撑，安装

时严格把控支撑的垂直度与稳定性，吊装完成后按规范有序拆除，防止结构失稳。

4.2.2 吊装设备故障风险控制措施：建立完善的设备维护管理制度，安排专业人员定期对起重机、吊索具等进行全面检查、保养与维修，详细记录设备状态。操作前，进行空载和负载试运行，检查制动、电气等系统是否正常。选用质量可靠、符合标准的吊索具，根据模块重量合理确定安全系数，定期检测更换老化、损坏部件，严禁设备超载、带病作业。

4.2.3 人员操作风险控制措施：加强人员培训，开展专业技能和安全知识培训课程，邀请行业专家授课，经考核合格后持证上岗。定期组织安全演练，提高人员应急处理能力。强化安全意识教育，通过安全事故案例分析、安全标语宣传等方式，让安全观念深入人心。明确指挥人员职责，规范指挥信号，确保操作人员与指挥人员沟通顺畅，严格遵守操作规程。

4.2.4 环境风险控制措施：密切关注气象预报，恶劣天气来临前，提前停止吊装作业，对起重机等设备进行加固防护，如用缆风绳固定起重机。暴雨后及时检查场地排水情况，测试设备绝缘性能。合理规划施工现场，设置明显的安全警示标识，划分不同作业区域，避免交叉作业干扰。对周边障碍物进行详细勘察，制定防护方案，为吊装作业创造安全的环境条件^[3]。

结束语

综上所述，模块化吊装技术凭借提升效率、保障质量、节约成本的显著优势，已成为高层建筑钢结构施工的重要发展方向，其技术要点的规范落实是施工顺利推进的基础。而安全风险评估与控制作为施工核心保障，通过科学方法识别结构失稳、设备故障等风险，并针对性制定管控措施，能有效规避事故隐患，保障人员与财产安全。

参考文献

- [1]王义.高层建筑钢结构工程施工技术要点分析[J].建材发展导向,2025,23(06):61-63.
- [2]方磊.高层建筑工程建设中的钢结构施工与管理[J].房地产世界,2024,(24):86-88.
- [3]陈彤瑞.基于层次分析法的高层建筑施工安全风险评估[J].黑龙江科学,2023,14(14):153-155.