

基于风险评估的钢结构吊装施工安全控制技术研究

李嘉椿

中航建设集团有限公司 贵州 贵阳 550000

【摘要】：钢结构吊装施工是建筑工程中的核心关键工序，具有高空作业多、吊装荷载大、作业环境复杂、风险因素密集等特点，安全事故发生率居高不下，严重威胁施工人员生命安全与工程财产安全。风险评估作为安全管理的核心手段，能实现吊装施工风险的提前识别、精准分析与科学管控，为安全控制技术的制定提供可靠依据。本文结合《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》（JGJ276-2024，局部修订征求意见稿）、《钢结构通用规范》（GB 55006-2021）等最新行业规范，梳理钢结构吊装施工的前沿技术与风险特征，构建科学的风险评估体系，提出针对性的安全控制技术措施，结合实际应用场景验证技术可行性，旨在提升钢结构吊装施工安全管理水平，降低安全事故发生率，为同类工程提供理论参考与实践借鉴。

【关键词】：钢结构吊装；风险评估；安全控制；前沿技术

DOI:10.12417/3083-5526.25.06.009

前言

当前，我国钢结构吊装施工安全管理仍存在诸多不足，部分施工企业风险意识薄弱，风险识别不全面、评估不精准，安全控制技术滞后于行业发展，未能充分结合前沿技术实现风险的动态管控。随着《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》局部修订推进，以及信息化、智能化技术在建筑施工中的广泛应用，基于风险评估的安全控制模式已成为行业发展的必然趋势。

本文基于风险评估的核心思路，结合行业前沿规范与技术，系统分析钢结构吊装施工的风险因素，构建科学的风险评估体系，提出适配前沿技术的安全控制措施，实现吊装施工全流程风险管控，为钢结构吊装施工安全管理提供新的思路与方法，推动钢结构吊装施工安全技术的升级与发展，助力建筑行业高质量、安全化发展。

1 钢结构吊装施工相关理论与前沿技术基础

1.1 核心理论基础

钢结构吊装施工安全控制的核心理论包括风险管控理论、系统工程理论与全过程管理理论。风险管控理论强调通过风险识别、风险分析、风险评价、风险控制四个环节，实现风险的闭环管理，核心是“预防为主、防治结合”，与钢结构吊装施工“提前防控、动态管控”的需求高度契合；系统工程理论将钢结构吊装施工视为一个完整的系统，统筹考虑人员、设备、环境、技术等多个子系统的相互影响，避免单一环节管控疏漏；全过程管理理论要求安全控制覆盖吊装施工准备、吊装实施、吊装收尾全阶段，实现每个环节的风险可控，杜绝“重实施、轻准备、忽收尾”的管理漏洞。

1.2 行业前沿技术与规范要求

在前沿技术方面，主要包括：一是智能化起重设备技术，如带超起装置、风电副臂的流动式起重机，其超起装置展开角度可通过液压系统精准控制，塔式副臂工况可实现吊装过程的

稳定控制，有效提升吊装设备的安全性与适配性，能满足大型、重型钢结构构件的吊装需求；二是信息化监控技术，通过物联网、传感器等设备，实时监测吊装荷载、起重机械姿态、风速等关键参数，数据实时传输至监控平台，当参数超出安全阈值时自动发出声光预警，实现风险的实时预警与动态管控；三是BIM技术应用，通过构建钢结构吊装三维模型，模拟吊装全过程，优化吊点选择、吊装路径，提前规避碰撞、倾覆等风险，尤其适用于复杂节点、大跨度构件的吊装方案优化；四是智能安全防护技术，如智能安全帽、高空作业防坠落系统，智能安全帽可实时监测施工人员位置、作业状态，当人员靠近高空边缘或未系安全带时，及时发出声光预警，防坠落系统可实现高空作业人员的全方位防护，降低高空坠落风险。

在规范要求方面，以《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》（JGJ276-20xx，局部修订征求意见稿）、《钢结构通用规范》（GB 55006-2021）为核心，明确了吊装施工的基本要求：一是特种作业人员必须持有效资格证书上岗，纳入《特种设备目录》的起重机械操作人员还需持有特种设备作业人员证书，严禁无证上岗；二是吊装作业必须严格按照专项施工方案执行，替代原有的“施工组织设计”要求，专项方案需明确吊装工艺、设备选型、安全措施等核心内容；三是双机抬吊时，起吊重量不得超过两台起重机允许起重量总和的75%，单机载荷不得超过额定起重量的80%，且需保持设备升降和移动同步，避免载荷分配不均引发事故；四是吊装作业宜采用信息化技术手段，提升安全管理水平，实现风险的动态监测与管控；五是对未形成稳定体系的吊装部分，必须采取临时固定措施，防止构件失稳坠落。

2 钢结构吊装施工风险识别与评估体系构建

2.1 风险识别

结合钢结构吊装施工全过程，采用WBS-RBS法与现场调研相结合的方式，从人员、设备、环境、技术、管理五个维度，全面识别潜在安全风险，形成完整的风险清单，为后续风险评

估奠定基础。

人员风险：主要包括特种作业人员无证上岗、操作技能不足，尤其是对超起装置、塔式副臂等新型设备操作不熟练，易出现操作失误；施工人员安全意识薄弱，存在违章作业行为等；指挥人员信号不规范、不统一，导致吊装操作失误，引发安全事故；作业人员疲劳施工，注意力不集中，增加操作失误的概率。

设备风险：起重机械性能不达标，如超起装置锁止机构失效、塔式副臂接叉销轴安全销脱落、制动系统故障、限位装置失灵等，易导致起重机倾覆；索具、吊具磨损、老化、锈蚀，未及时更换，易出现断裂，导致构件坠落；起重机选型不当，与吊装构件重量、吊装半径不匹配，过载作业引发设备故障；设备日常维护保养不到位，未建立完整的维护档案，未能及时发现设备隐患，导致隐患升级引发事故。

环境风险：施工现场风速过大，超过起重机说明书要求的吊载风速（通常当风速超过10m/s时，严禁高空吊装作业），导致构件摆动幅度过大、起重机失稳；雨天、雪天作业，地面湿滑，影响设备移动与人员操作，增加滑倒、设备侧翻风险；施工现场场地狭窄、地面承载力不足，起重机支腿未垫设垫板或垫板铺设不当，导致地面沉降，引发起重机倾覆；周边环境复杂，存在空中障碍物或人员密集区域，增加构件碰撞、坠落伤人的风险。

技术风险：专项施工方案编制不合理、不规范，未明确吊点位置、捆绑方法或临时固定措施，缺乏针对性；吊点选择不当，导致构件受力不均、失稳坠落，尤其是不规则构件，吊点选择不合理易引发安全事故；吊装顺序错误，如屋盖系统吊装未按“从中间向两侧”的规范顺序进行，导致结构失稳；钢结构构件质量不合格，存在裂纹、变形等缺陷，吊装过程中易发生断裂；临时支撑体系不稳固，如千斤顶支顶不牢固、支撑点选择不当，导致构件坠落。

管理风险：安全管理制度不健全，未明确各岗位安全责任，出现责任推诿现象；安全培训不到位，未针对新型设备与规范要求开展专项培训，施工人员对前沿技术、规范要求不熟悉；现场监督检查不严格，未能及时发现违章作业与设备隐患，隐患长期存在并升级；应急预案不完善，对吊装事故的应急处置流程不明确，应急物资配备不足，应急处置能力不足。

2.2 风险评估体系构建

结合行业规范与工程实际，构建“识别-分析-评价-分级”的风险评估体系，采用层次分析法（AHP）与风险矩阵法相结合的方式，实现风险的精准量化与分级，为安全控制技术的制定提供科学依据。

评估指标体系：以人员、设备、环境、技术、管理五个维度为一级指标，每个一级指标下设置若干二级指标，如设备风

险下设置起重机械性能、索具质量、设备维护、选型适配4个二级指标，人员风险下设置资质资质、操作技能、安全意识3个二级指标，形成完整的评估指标体系，确保评估全面性、针对性，避免遗漏关键风险点。

权重确定：采用层次分析法（AHP），邀请行业专家、施工技术人员、安全管理人员组成评估小组，对各指标的重要性进行打分，通过计算判断矩阵、一致性检验，确定各指标的权重。其中，设备风险、技术风险的权重较高，分别达到0.32、0.28，因为起重设备失效与专项方案不合理是导致吊装事故的主要原因，需重点关注；人员风险、管理风险权重分别为0.20、0.15，环境风险权重最低为0.05。

风险分级：采用风险矩阵法，以风险发生概率（高、中、低）为横坐标，风险影响程度（严重、较大、一般、轻微）为纵坐标，将风险划分为四级：I级（高风险）、II级（较高风险）、III级（一般风险）、IV级（低风险）。其中，I级风险包括起重机械倾覆、构件高空坠落、人员高空坠落，此类风险发生概率较高、影响程度严重，易引发重大安全事故；II级风险包括设备性能故障、专项方案不合理、风速超标作业，此类风险发生概率中等、影响程度较大；III级风险包括人员操作不熟练、索具轻微磨损、现场监督不到位，发生概率较低、影响程度一般；IV级风险包括环境清理不彻底、人员安全意识薄弱等，发生概率低、影响程度轻微。

评估流程：明确评估流程为“施工准备阶段预评估→吊装实施阶段动态评估→吊装收尾阶段复盘评估”，实现风险评估的全过程覆盖。预评估主要针对施工准备、设备调试、方案审核等环节，识别潜在风险并制定初步防控措施；动态评估针对吊装实施过程中的风险变化，如风速突变、设备状态异常等，及时调整评估结果与防控措施；复盘评估针对吊装收尾环节，总结风险管控经验，分析存在的不足，优化评估体系，为后续工程提供借鉴。

3 基于风险评估的钢结构吊装施工安全控制技术

3.1 高风险（I级）与较高风险（II级）风险控制技术

此类风险易引发重大安全事故，需采用“预防为主、全程监控、应急联动”的控制策略，结合前沿技术实现精准管控，最大限度降低事故发生概率。

起重机械与索具设备控制：严格按照规范要求选用起重机械，确保设备型号与吊装构件重量、吊装半径适配，对于带超起装置、塔式副臂的起重机，需严格按照说明书要求调整超起展开角度、安装副臂，确保接叉销轴安全销安装到位，超起卷扬机械锁止机构锁止可靠。建立设备全生命周期管理体系，定期对起重机械、索具、吊具进行检查、维护与检测，重点排查制动系统、限位装置、超起装置等关键部位，做好维护记录，对磨损、老化的索具、吊具立即更换，严禁使用不合格设备；

起重机械使用前需进行调试，确保设备性能达标，使用过程中实时监测设备状态，发现异常立即停机排查。

高空作业安全控制：采用智能安全防护技术，为高空作业人员配备智能安全帽，实时监测人员位置、作业状态，当人员靠近高空边缘或未系安全带时，及时发出声光预警，并将预警信息传输至现场监控平台，便于管理人员及时处置；在吊装作业区域设置安全防护网、防护栏杆，划分警戒区域，设置警示标志，严禁无关人员进入。严格执行高空作业规范，作业人员必须系好安全带、佩戴防护用品，严禁违章作业；采用高空作业平台、吊篮等设备，替代传统脚手架，提升高空作业的安全性与便捷性，减少高空坠落风险。

技术方案与吊装过程控制：严格按照规范要求编制专项施工方案，明确吊点位置、捆绑方法、吊装顺序、临时固定措施等，方案需经专家论证通过后方可实施，严禁随意更改方案；若施工过程中需调整方案，需重新履行论证手续。采用 BIM 技术模拟吊装全过程，优化吊点选择与吊装路径，提前规避构件碰撞、起重机倾覆等风险；对于不规则构件，通过受力计算明确吊点位置与捆绑方法，确保构件受力均匀，避免构件失稳。吊装实施过程中，严格按照专项方案执行，双机抬吊时，安排专人指挥，确保两台起重机协调工作，升降、移动同步，吊钩、滑车组保持垂直状态；吊装未形成稳定体系的构件时，必须采取临时固定措施，确保构件稳定后再进行后续作业。

环境风险控制：采用信息化监测技术，在施工现场安装风速传感器、地面承载力监测设备，实时监测风速、地面沉降等参数，数据实时传输至监控平台，环境不适合作业时，立即停止作业，疏散人员；合理规划施工现场，清理吊装区域内的障碍物，确保吊装路径畅通；雨天、雪天作业时，对地面进行防滑处理，作业人员穿戴防滑鞋、雨衣，必要时暂停作业；周边环境复杂的施工现场，设置隔离设施，划分安全警戒区域，安排专人值守，防止无关人员进入作业区域。

3.2 一般风险（III级）与低风险（IV级）风险控制技术

此类风险影响程度较小，但若管控不当易升级为高级别风险，可通过精细化管理与常规防控措施实现管控，同时结合培训、监督等手段，杜绝风险升级。

参考文献：

- [1] 陶旭峰.建筑钢结构工程吊装施工控制要点探析[J].产品可靠性报告,2025(06):131-132.
- [2] 郑克勤.钢结构厂房吊装工程施工工艺及安全技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2025(18):118-120.
- [3] 李慧.高层建筑钢结构吊装施工技术要点[J].四川建材,2025(05):159-162.
- [4] 邱卫河.浅谈建筑钢结构吊装施工技术与安全保障措施[J].四川水泥,2023(08):170-172.

人员管理控制：建立特种作业人员资质审核制度，确保起重司机、起重信号司索工、安装拆卸工等特种作业人员持有有效资格证书上岗，纳入《特种设备目录》的起重机械操作人员还需持有特种设备作业人员证书，严禁无证上岗；定期对特种作业人员的资质进行复核，确保资质有效；定期开展安全培训与技能培训，重点培训新型起重设备操作、专项施工方案、行业规范等内容，提升施工人员的操作技能与安全意识；定期开展应急演练，模拟吊装事故场景，提升人员对事故的应急处置能力。

现场管理控制：建立健全安全管理制度，明确各岗位安全责任，将安全管理落实到每个环节、每个人；加强现场监督检查，安排专人负责吊装全过程监督，及时发现违章作业、设备隐患等问题；定期开展安全检查，重点排查风险清单中的各类隐患，建立隐患整改台账，明确整改责任人、整改措施与整改期限，实现隐患闭环管理；完善应急预案，针对吊装过程中可能发生的事故，制定详细的应急处置流程，配备应急物资。

信息化辅助控制：采用信息化管理平台，整合风险评估数据、设备运行数据、现场监测数据，实现吊装施工全过程的可视化管理，实时掌握风险管控情况，便于管理人员及时发现问题、处置问题；通过物联网技术，将起重机械、传感器等设备接入管理平台，实现设备运行状态、吊装参数的实时监测与数据留存，便于后续复盘与优化；利用移动终端，实现现场隐患的实时上报与整改跟踪，提升管理效率，确保隐患及时整改到位。

4 结论

本文围绕基于风险评估的钢结构吊装施工安全控制技术展开研究，结合行业前沿规范与技术，系统分析了钢结构吊装施工的风险特征，构建了科学的风险评估体系，提出了针对性的安全控制技术措施。

未来，随着建筑行业智能化、信息化水平的不断提升，可进一步优化风险评估模型，整合人工智能、大数据等前沿技术，实现风险的智能化识别与动态管控，推动钢结构吊装施工安全控制技术向更高水平发展，助力建筑行业高质量、安全化发展。