

高层建筑机电安装过程中的安全风险评估与控制

王磊

420583*****0735

摘要：随着城市化进程的加速，高层建筑已成为城市建设的主流形态，其机电安装工程作为建筑功能实现的核心环节，具有系统复杂、作业环境特殊、技术要求高等特点，安全风险贯穿施工全过程。本文以高层建筑机电安装工程为研究对象，首先梳理了机电安装过程中常见的安全风险类型，包括高空作业风险、设备与材料运输风险、电气安全风险、消防安全风险及作业人员操作风险等；其次，引入层次分析法（AHP）与模糊综合评价法相结合的风险评估模型，通过构建风险评估指标体系、确定指标权重、划分风险等级，实现对机电安装安全风险的定量化评估；最后，从技术管控、管理机制、人员培训、应急保障四个维度提出针对性的风险控制措施，旨在为高层建筑机电安装工程的安全管理提供理论支撑与实践参考，降低施工安全事故发生率，保障工程建设顺利推进。

关键词：高层建筑；机电安装；安全风险评估；层次分析法；模糊综合评价；风险控制

DOI：10.69979/3060-8767.25.10.071

1 引言

高层建筑机电安装工程涵盖给排水、暖通空调、电气系统、消防系统、智能化系统等多个专业，其施工过程涉及高空作业、交叉作业、特种设备操作等多种高风险作业形式。据住建部统计数据显示，2023 年全国建筑施工领域发生的安全事故中，机电安装环节事故占比达 18.3%，其中高空坠落、触电、物体打击是主要事故类型，不仅造成人员伤亡，还导致工程工期延误、经济损失增加。因此，开展高层建筑机电安装过程中的安全风险评估与控制研究，对提升工程安全管理水平、保障施工人员生命财产安全具有重要意义。

当前，国内学者对建筑工程安全风险的研究多集中于土建施工阶段，针对机电安装专项的系统性风险评估研究相对不足。部分研究采用定性分析方法识别风险因素，但缺乏定量化评估手段，难以精准判断风险等级；同时，现有风险控制措施多侧重于宏观管理，与机电安装工程的技术特性结合不够紧密。基于此，本文通过系统识别高层建筑机电安装过程中的安全风险因素，构建科学的风险评估模型，提出兼具针对性与可操作性的风险控制措施，为机电安装工程安全管理实践提供新的思路。

2 高层建筑机电安装过程中的安全风险因素识别

结合文献、专家访谈及工程实践，从 4 个核心维度识别机电安装主要安全风险因素如下：

2.1 作业环境风险

核心风险包括：高空作业临边防护不足、脚手架不规范引发坠落；多工程交叉作业衔接不当导致物体打击；地下室、管道井等有限空间通风差、有毒气体集聚，易造成人员中毒窒息。

2.2 设备与材料风险

关键风险为：大型机电设备选型不当、吊装荷载不足或固定不牢引发倾覆；电气线缆、阀门等材料质量缺陷导致触电、漏水；临时用电设备缺乏维护出现漏电故障。

2.3 人员操作风险

主要源于：作业人员违规操作（如高空不系安全带、私拉乱接用电）；特种作业人员无证上岗、操作技能不足；工期压力下疲劳作业导致注意力不集中、操作失误。

2.4 管理机制风险

突出问题有：机电安装专项安全制度缺失，无风险管控、隐患排查标准；现场安全员配置不足、巡查不到位，违规行为与隐患未及时处置；多方参建主体沟通不畅、责任不清，设备验收、工序交接存在管理漏洞。

3 高层建筑机电安装安全风险评估模型构建

为精准评估机电安装安全风险，本文采用层次分析法（AHP）+模糊综合评价法的组合模型，通过定量分析确定风险等级，为风险控制提供依据。

3.1 评估指标体系构建

基于前文识别的风险因素，遵循“科学、系统、可操作”原则，构建三级指标体系：

目标层（A）：高层建筑机电安装安全风险；

准则层（B）：作业环境风险（B1）、设备与材料风险（B2）、人员操作风险（B3）、管理机制风险（B4）；

指标层（C）：共 12 项具体指标，包括临边防护不足（C11）、设备吊装超载（C21）、违规操作（C31）、制度缺失（C41）等（对应 2.1-2.4 节核心风险点）。

3.2 基于 AHP 的指标权重确定

通过 3 步完成权重计算：

构建判断矩阵：邀请 10 名机电安装专家（高级工程师、监理、项目经理），用 1-9 标度法对比各指标重要性，形成判断矩阵；

一致性检验：计算最大特征值 λ_{\max} ，通过 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 、 $CR = CI / RI$ （RI 为随机一致性指标）验证矩阵合理性（ $CR < 0.1$ 即符合要求）；

权重结果：准则层权重为 $B1=0.25$ 、 $B2=0.23$ 、 $B3=0.32$ 、 $B4=0.20$ （人员操作风险占比最高）；指标层权重前三位为违规操作（0.12）、无证上岗（0.10）、临边防护不足（0.09）。

3.3 基于模糊综合评价的风险等级判定

通过 4 步实现风险定级：

划分风险等级：将风险分为 5 级——极低（V1）、较低（V2）、中等（V3）、较高（V4）、极高（V5）；

构建评价矩阵：由上述专家对 12 项指标打分，统计各指标对应不同风险等级的人数占比，形成模糊评价矩阵 R；

模糊运算：先按“指标层权重 \times R”计算准则层结果，再按“准则层权重 \times 准则层结果”计算目标层结果；

等级判定：按最大隶属度原则确定风险等级。示例工程目标层隶属度向量为（0.12, 0.23, 0.45, 0.18, 0.02），中等风险（V3）隶属度最高，需重点管控人员操作与作业环境风险。

4 高层建筑机电安装过程中的安全风险控制措施

基于风险评估结果，结合机电安装工程的技术特性与施工流程，从技术、管理、人员、应急四个维度提出针对性的风险控制措施，构建“预防-管控-应急”三位

一体的风险控制体系。

4.1 技术管控措施

技术管控是降低机电安装安全风险的核心手段，需结合工程实际制定专项技术方案：

（1）高空作业技术管控：针对管线吊装、设备安装等高空作业，编制专项施工方案，明确吊装设备选型（如根据设备重量选择额定荷载 ≥ 1.2 倍的起重机）、脚手架搭设标准（立杆间距 $\leq 1.5m$ ，横杆步距 $\leq 1.8m$ ）、临边防护要求（设置 1.2m 高防护栏杆，挂密目安全网）；采用 BIM 技术对高空作业面进行可视化交底，提前规划作业路径，避免交叉作业冲突；

（2）电气安全技术管控：临时用电采用“三级配电、两级保护”系统，配电箱设置防雨、防触电保护装置，电气线缆采用架空或穿管敷设，避免碾压、磨损；对电气设备进行定期绝缘检测（每月不少于 1 次），检测结果记录存档；

（3）有限空间作业技术管控：作业前进行气体检测（检测氧气浓度 19.5%-23.5%，有毒有害气体浓度低于国家标准），采用强制通风设备（如轴流风机）保证空间内空气流通；作业人员佩戴便携式气体检测仪与正压式呼吸器，设置专人监护，严禁单人作业。

4.2 管理机制完善措施

完善的管理机制是风险控制的重要保障，需从制度建设、现场监管、协同管理三方面入手：

（1）制度建设：制定《高层建筑机电安装专项安全管理制度》，明确各岗位安全职责，建立风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制；针对高风险作业（如高空吊装、有限空间作业）实行作业票制度，未经审批不得施工；

（2）现场监管：配备足够数量的专职安全员（按施工人数 3% 配置），采用“日常巡查+专项检查+随机抽查”相结合的监管方式，对违规操作行为实行“零容忍”，发现隐患立即下达整改通知书，跟踪整改情况直至闭环；利用智慧工地平台，通过视频监控、AI 识别等技术，实时监控作业人员安全行为与设备运行状态；

（3）协同管理：建立建设、施工、监理、供应商多方协同管理机制，定期召开安全协调会议（每周 1 次），明确工序交接流程与验收标准；设备进场时，组织多方共同进行质量验收，核对设备型号、合格证、检测报告，

验收合格后方可入场;

4.3 人员培训与教育措施

人员是风险控制的关键主体,需通过培训提升作业人员安全意识与操作技能:

(1) 岗前培训:对所有机电安装作业人员进行岗前安全培训,培训内容包括安全操作规程、风险识别方法、应急处置技能等,培训时间不少于24学时,考核合格后方可上岗;对特种作业人员(起重工、电工、焊工)严格审核资质,无证人员严禁上岗;

(2) 专项培训:针对高风险作业开展专项培训,如高空作业培训重点讲解安全带正确佩戴方法、吊篮操作注意事项,有限空间作业培训重点讲解气体检测与应急救援流程;采用案例教学法,通过分析机电安装安全事故案例,强化作业人员风险意识;

(3) 日常教育:利用班前会(每日15分钟)开展安全交底,明确当日作业内容与安全注意事项;在施工现场设置安全警示标识(如“高空作业必须系安全带”“有限空间禁止单人作业”),营造安全施工氛围。

4.4 应急保障措施

完善的应急保障措施可有效降低事故损失,需从应急预案、应急队伍、应急物资三方面建设:

(1) 应急预案制定:编制《高层建筑机电安装安全事故应急预案》,明确高空坠落、触电、火灾等常见事故的应急处置流程、责任分工与救援路线;针对重大风险作业,制定专项应急预案,如《机电设备吊装倾覆应急预案》《有限空间作业人员中毒窒息应急预案》;

(2) 应急队伍建设:组建应急救援队伍,成员包括施工管理人员、安全员、医护人员等,定期开展应急演练(每季度1次),提升队伍应急处置能力;与附近医院、消防部门建立联动机制,确保事故发生时能够快速获取外部救援支持;

(3) 应急物资储备:在施工现场设置应急物资仓库,储备急救药品(如止血带、担架)、救援设备(如呼吸机、液压救援工具)、通讯设备(如对讲机、应急电话)等物资,定期检查物资完好性与有效期,确保应急时能够正常使用。

5 结论与展望

本文通过对高层建筑机电安装过程中的安全风险进行系统研究,得出以下结论:

(1) 高层建筑机电安装安全风险主要源于作业环境、设备材料、人员操作、管理机制四个维度,其中人员操作风险(尤其是违规操作、无证上岗)与作业环境风险(尤其是临边防护不足)是最主要的风险因素;

(2) 采用层次分析法与模糊综合评价法构建的风险评估模型,能够实现对机电安装安全风险的量化评估,为风险等级判定提供科学依据,避免传统定性评估的主观性偏差;

(3) 从技术管控、管理机制、人员培训、应急保障四个维度提出的风险控制措施,具有较强的针对性与可操作性,能够有效降低机电安装过程中的安全风险,提升工程安全管理水平。

未来研究可进一步结合智慧建造技术,如利用物联网技术实时监测设备运行参数与作业环境数据,通过大数据分析预测风险发展趋势,实现安全风险的动态管控;同时,可开展跨区域、跨项目的机电安装安全风险数据库建设,为风险评估模型的优化与风险控制措施的完善提供更多数据支撑,推动高层建筑机电安装工程安全管理向智能化、精细化方向发展。

参考文献

- [1] 郑敏权. 高层建筑中机电设备的安装技术难点与措施研究[J]. 低碳世界, 2019, 9(7): 2.
- [2] 关洵. 高层建筑机电安装施工技术要点及质量控制措施[J]. 建筑工程技术与设计, 2018, 000(024): 1458.
- [3] 王锋. 高层建筑机电安装的技术控制要点和质量管控分析[J]. 市场周刊·理论版, 2017.
- [4] 李宗惠. 高层建筑机电安装施工技术要点探讨[J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2021(9): 2.
- [5] 王成江. 浅析高层建筑机电安装常见问题与应对措施[J]. 2013.
- [6] 汤桂林王保强. 浅析高层建筑机电安装常见问题与应对措施[J]. 商品与质量: 建筑与发展, 2014, 000(003): P. 415-415.