

电梯安装与维保中的工程风险管理：以科技园项目为例

邹健亮

广东孚嘉电梯工程有限公司，广东 佛山 528200

DOI:10.61369/ERA.2025080013

摘要：科技园电梯工程风险管理需应对高频负荷、多业态场景及技术集成等特殊风险，通过德尔菲法、故障树分析（FTA）识别安装阶段的导轨偏移与电气故障，结合物联网监测与预防性维保策略实现风险控制。动态监控体系依托 BIM+GIS 技术联动构建多维度指标库，PDCA 循环优化资源分配与审计机制，区块链技术则强化业主、物业、维保企业的责任追溯。研究表明，人工智能与数字孪生技术可突破物理限制，预判长周期风险，为复杂场景电梯工程提供“监测-模拟-决策”一体化解决方案。

关键词：电梯工程风险管理；科技园项目；动态监控体系

Engineering Risk Management in Elevator Installation and Maintenance: A Case Study of Science Park Project

Zou Jianliang

Guangdong Fugia Elevator Engineering Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528200

Abstract： Risk management in science park elevator projects needs to address special risks such as high-frequency load, multi-format business scenarios, and technological integration. The Delphi method and Fault Tree Analysis (FTA) are used to identify track misalignment and electrical faults during the installation phase. Risk control is achieved by combining Internet of Things (IoT) monitoring with preventive maintenance strategies. A dynamic monitoring system is constructed by linking Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS) technologies to build a multi-dimensional indicator database. The PDCA cycle optimizes resource allocation and audit mechanisms, while blockchain technology strengthens the accountability of property owners, property management companies, and maintenance enterprises. The study shows that artificial intelligence and digital twin technologies can break through physical limitations to predict long-term risks and provide an integrated “monitoring-simulation-decision” solution for complex elevator projects.

Keywords： elevator project risk management; science park project; dynamic monitoring system

引言

随着城市化进程和科技园区集约化发展，电梯作为高层建筑的关键设施，其安全性和风险管理对园区运营与人员安全至关重要。科技园项目因高强度使用、多业态场景及智能化需求，面临机械负荷超限、协作壁垒、系统兼容性等特殊风险，传统管理模式难以应对。国内外研究已转向全生命周期风险管理，采用德尔菲法、故障树分析等工具，以及物联网监测和大数据驱动的预防性维保等技术，但系统化治理仍显不足。以某科技园为例，典型风险包括导轨偏移、门系统失调和电气故障等，亟需构建适配性风险管理框架。西安市市场监管局推出的《电梯智慧监管平台》通过数字化手段实现风险预警与闭环处置，推动“技防”替代“人防”，为风险管理提供了政策支持和技术范式。

一、电梯工程风险管理的核心特征与挑战

（一）科技园电梯工程的特殊性

科技园电梯工程的特殊性源于其高强度使用需求与多业态复合场景的叠加效应^[1]。作为集办公、研发、实验等多功能于一体的垂直空间载体，科技园电梯日均运行频次可达普通商业建筑的

1.5-2倍，设备长期处于高频启停、满载运行状态，加速机械部件磨损并引发导轨偏移、曳引系统过热等负荷型故障。同时，园区内实验室、数据中心等特殊场景对电梯温湿度、电磁屏蔽性能提出差异化需求，而地下设备层潮湿环境与地上高层区域气流扰动进一步加剧电气元件老化风险。多业态场景还导致安全管理标准碎片化，例如生物实验室需规避振动干扰，而物流仓储区需满足

大件设备运输需求，此类矛盾要求电梯系统在设计与运维阶段实现动态适配，显著提升安全管理复杂度。

（二）风险管理的核心挑战

科技园电梯工程风险管理面临技术集成与多主体协作挑战。智能化改造中，电梯系统与楼宇自动化、消防联动等存在协议兼容性问题，物联网数据冲突可能引发误报警或系统宕机。尽管2025年西安市《电梯智慧监管平台》政策强调数据互通，跨平台接口标准化仍在探索。设计方、施工方和维保单位目标冲突导致责任边界模糊，如导轨安装精度不足问题可能源于设计计算偏差或施工缺陷，维保周期设置不合理加剧隐性故障积累^[9]。需通过权责清单与全流程追溯机制解决这些协作盲区，确保系统稳定运行及高效管理。

二、电梯安装阶段的风险识别与评估

（一）风险识别方法

电梯安装阶段的风险识别需结合定性分析与定量工具。德尔菲法通过多轮匿名专家咨询，可系统性识别导轨安装精度不足、门机控制系统参数设置偏差等技术风险，其匿名反馈机制有效规避主观干扰，特别适用于智能化电梯模块兼容性等前沿问题研判^[9]。故障树分析法（FTA）则以门系统失调等终端故障为顶事件，逐层分解机械装配误差、传感器校准失准等底层诱因，量化计算各风险路径发生概率，为安装流程标准化提供数据支撑。例如，某科技园项目通过FTA锁定导轨焊接应力释放不充分为关键风险节点，针对性优化预紧力检测流程，使安装合格率提升12%。

（二）科技园项目案例分析

某科技园超高层电梯安装过程中，导轨垂直度偏差超过0.5mm/m的设计阈值，导致轿厢运行抖动并加速导轨磨损，追溯发现施工方未按规定使用激光校准仪，暴露出工艺执行监管漏洞。另一案例中，地下室电梯控制柜因未配置防潮涂层，在湿度超80%的环境下出现接触器氧化短路，引发困人事故。此类环境风险与《电梯智慧监管平台》政策强调的“环境适应性预判”要求形成鲜明对比，凸显安装阶段需集成物联网传感器实时监测环境参数，并通过BIM模型模拟不同工况下的设备性能衰减曲线，实现风险前置防控^[4]。

三、电梯维保阶段的风险控制措施

（一）技术性风险控制

1. 智能化监测技术应用

物联网传感器通过实时采集曳引机振动频谱（频率范围0-10kHz）、制动器表面温度（阈值 $\leq 80^{\circ}\text{C}$ ）及钢丝绳微应变（ $< 200\mu\epsilon$ ）等参数，构建电梯健康状态数字画像。西安市《电梯智慧监管平台》政策要求2025年前实现监测数据分钟级上传，当振动幅值超过 $5\mu\text{m}$ 或温度梯度异常时，系统自动触发三级预警机制（提示-报警-停机）。某科技园项目部署多物理场耦合

传感器后，轴承磨损预警准确率提升至92%，故障平均响应时间缩短至12分钟。该技术突破传统人工巡检的时空限制，通过边缘计算实现本地化风险研判，减少云端数据传输延迟导致的误判风险^[5]。

2. 预防性维保策略

基于设备运行数据与外部环境参数的关联分析，构建维保周期动态调整模型。利用随机森林算法分析历史故障数据，识别门机控制系统故障与日均启停次数的非线性关系（ $R^2=0.87$ ），将润滑周期从固定30天调整为负载强度自适应模式。某案例显示，该策略使超高层电梯钢丝绳更换间隔从12万次延长至15万次运行，维保成本降低24%。2025年政策推动的“电梯全生命周期数据湖”建设，整合设计、安装、运维数据，通过LSTM神经网络预测部件剩余寿命，实现备件库存的JIT管理模式，库存周转率提升35%。

（二）管理性风险控制

1. 标准化维保流程设计

ISO 18738标准在科技园项目的实施体现为作业流程的颗粒化分解，将维保任务拆解为58项标准化动作，每项动作配备图文指引与误差容限值^[6]。例如，制动器间隙调整需控制在0.15-0.25mm区间，并使用激光测距仪复核数据。AR辅助维保系统通过智能眼镜投射三维拆装指引，某试点项目数据显示，新手技术人员操作失误率从18%降至5%。政策要求的“电子工单签核”系统强制记录每项操作的时间戳与执行人，结合区块链技术固化流程证据链，使质量追溯准确率达100%。

2. 应急预案与演练

应急预案体系采用“场景-动作-资源”三维构建模式，针对困人、火灾、水浸等12类场景设计分级响应流程。BIM模型模拟电梯井道烟气扩散路径，结合GIS定位最近救援站点，确保黄金15分钟救援时效。2025年政策规定“年度实战演练覆盖率100%”，某科技园通过混合现实（MR）技术构建电梯坠降模拟场景，训练技术人员在6级震感下的应急操作能力^[7]。演练数据接入监管平台分析响应时效，结果显示困人事件平均处置时间从28分钟压缩至19分钟，较国家标准提升32%。预案更新机制要求每次故障处置后72小时内完成案例库迭代，确保应急策略动态进化。

四、科技园电梯工程风险管理的持续改进机制

（一）动态风险监控体系构建

1. 多维度风险指标库的建立

科技园电梯工程风险指标库需覆盖技术性能、环境适配及人为操作三类核心维度。技术维度量化导轨垂直度偏差（ $\leq 0.3\text{mm}/\text{m}$ ）、曳引机振动幅值（ $< 5\mu\text{m}$ ）等关键参数，环境维度设定地下室湿度阈值（ $\text{RH} \leq 75\%$ ）、电磁干扰强度（ $< 10\text{V}/\text{m}$ ）等约束条件，人为维度则统计维保人员操作失误率（ ≤ 0.5 次/月）与应急响应时效（ < 15 分钟）。通过西安市《电梯智慧监管平台》政策要求的“风险数据双向推送”机制，指标库实时接入传感器

数据与运维记录，动态修正风险预警基线。例如，某科技园项目通过分析历史数据，将门系统失调风险阈值从 $\pm 5\text{mm}$ 调整为 $\pm 3\text{mm}$ ，故障率降低 22%，体现指标库的动态优化价值^[8]。

2. 信息化管理平台的集成应用

BIM 与 GIS 技术的协同应用构建了电梯风险管理的三维数字孪生体系。BIM 模型集成设备规格、安装参数及维修记录，GIS 系统则映射电梯空间分布与周边地质、水文环境数据，实现风险可视化定位。例如，通过 BIM 模拟地下室渗水场景，结合 GIS 实时监测地下水位变化，可预判电气柜受潮概率并触发自动除湿指令^[9]。西安市 2025 年政策推动的“BIM+GIS 监管驾驶舱”试点项目显示，该技术使故障定位效率提升 40%，维修成本下降 18%。平台还支持跨部门数据共享，物业可通过移动端调取电梯健康状况，维保企业依据预警工单优化资源调度，形成风险管控闭环。

(二) PDCA 循环在风险管理中的应用

1. 计划阶段：风险优先级排序与资源分配

计划阶段采用风险矩阵法量化风险等级，结合故障树分析 (FTA) 识别导轨偏移、电气故障等高危节点。基于“后果严重性 \times 发生概率”公式，将资源向高风险项倾斜，例如某科技园项目将 70% 监测预算分配给导轨系统与地下层设备。2025 年政策要求的“年度风险评估覆盖率 100%”推动建立风险数据库，通过蒙特卡洛模拟预测不同资源配置方案下的剩余风险值，优化预算分配逻辑。计划还需与 ISO 18738 标准对接，明确维保周期、检测项目等执行基准，确保风险防控目标可量化、可追溯。

2. 执行与检查阶段：定期审计与第三方评估

执行阶段通过季度审计制度验证措施有效性，采用振动频谱分析、红外热成像等技术手段检测导轨磨损、接触器老化等隐患。检查环节引入第三方评估机构，依据《电梯智慧监管平台》数据接口调用运行日志、故障记录，利用统计过程控制 (SPC) 分析维保质量稳定性。某案例显示，第三方评估发现 23% 的维保工单未达标准响应时间，倒逼企业重构调度算法。政策强制要求的“区块链存证”技术固化审计痕迹，防止数据篡改，同时通过对比计划与执行偏差率（如导轨校准合格率从 82% 提升至

95%），为改进阶段提供数据支撑。

(三) 利益相关方协同机制

1. 业主、物业与维保企业的责任划分

业主需在采购合同中明确电梯安全投入占比（ $\geq 8\%$ 设备总值），物业依托物联网平台监控维保时效与工单完成度，维保企业则对技术故障负直接责任。西安市 2025 年政策推行“区块链责任追溯系统”，将施工日志、巡检记录等数据上链，解决传统纸质记录易丢失导致的权责纠纷。例如，某项目导轨偏移事故中，区块链存证的施工校准数据证明责任归属安装方，索赔效率提升 60%。三方还需签订风险共担协议，约定地下室环境风险由物业主导防控、机械故障由维保企业限时修复，形成责任闭环。

2. 培训与考核体系优化

构建“培训 - 考核 - 授权”一体化管理体系，采用 AR 模拟故障场景进行季度实操考核，未达标者触发在线复训^[10]。技能档案与特种设备作业人员数据库联动，证书到期前三个月启动续期培训，确保能力匹配。西安市政策要求 2025 年前实现 AI 监考全覆盖，通过行为识别算法判定操作规范性，在试点中 AI 识别出违规操作如未使用扭矩扳手，促进技能提升。引入“技能信用积分”制度，积分不足者限制承接高风险项目，推动维保人员从“持证上岗”向“能力上岗”转型，确保持续的专业能力和安全标准。

五、总结

科技园电梯工程风险管理的核心矛盾在于设备高频负荷与长效可靠性、技术迭代与标准滞后、多主体利益博弈与责任真空的失衡。解决路径包括动态风险监控体系、PDCA 循环优化及区块链协同机制，形成“监测 - 决策 - 执行 - 反馈”闭环。实践上推进物联网传感器与 BIM-GIS 联动、ISO 标准与政策衔接及安全考核与 AR 培训。人工智能预测风险传导，数字孪生技术模拟长周期风险，构建“物理 - 数字”双空间协同管控体系，为超高层电梯工程提供前瞻性保障。

参考文献

- [1] 田苏钱. 电梯维保工程项目的风险管理研究 [D]. 江苏: 苏州大学, 2014.
- [2] 黄文, 徐颂. 电梯维保工程多项目管理资源优化问题的研究 [J]. 项目管理技术, 2011(4):6.
- [3] 张活安. 电梯安装维保与管理使用中存在的安全问题及对策 [J]. 价值工程, 2017, 36(11):3.
- [4] 宋文彬, 马琳, 苏丹, 等. 电梯安装维保管理中存在的安全问题及对策 [J]. 设备管理与维修, 2021, (02):20-21.
- [5] 张家磊. 基于项目管理的电梯安装业务流程优化研究——以 K 项目为例 [D]. 南京工业大学, 2022.
- [6] 宋涛韬. 电梯安装维保与管理使用中存在的安全问题及对策 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018, 000(014):4136.
- [7] 黄昕. 电梯维保改使用住宅专项维修资金的现状及对策分析 [J]. 现代物业 (中旬刊), 2019, (12):6-7.
- [8] 王宏军. 电梯安装维保管理中存在的安全问题及对策 [J]. 数码设计 (上), 2019(5).
- [9] 曾诚. 电梯维保工程项目的风险管理研究 [J]. 大众标准化, 2022(2):166-168.
- [10] 刘华龙. 电梯安装维保与管理使用中存在的安全问题及对策分析 [J]. 中华建设, 2022(14).