

# 机电工程施工中的安全管理与施工技术创新

刘永思

新余市祥铖建筑工程设备有限公司 江西南余 338000

**摘要：**机电工程作为基础设施建设与工业体系的核心支撑，其施工过程的安全管控与技术创新直接决定工程成败。本文结合行业实践与典型案例，系统剖析安全管理的核心维度，包括组织体系构建、风险动态防控、作业环节管控及应急机制建设；深入探讨 BIM 协同设计、装配式施工、智能装备应用等技术创新路径；揭示技术创新对安全管理的赋能作用，提出“管理标准化 + 技术智能化”的融合发展策略。实践表明，该策略可使事故发生率降低 60% 以上，施工效率提升 55%，为机电工程高质量施工提供理论与实践参考。

**关键词：**机电工程；安全管理；BIM 技术；装配式施工；智能巡检

## 1 机电工程施工安全管理的核心维度

### 1.1 组织体系构建：责任闭环与协同机制

安全管理的有效性建立在“责任到人、体系闭环”基础上，具体是项目构建清晰垂直管理架构，其中项目经理作为安全生产第一责任人全面统筹人力、物料与设备资源配置，技术负责人负责将各项安全技术要求嵌入施工方案与工艺流程，专职安全员实施不间断现场监督与风险巡查，班组长承担将安全交底内容落实到每一位作业人员职责；以中建三局承建的武汉地铁 12 号线项目为例，该项目借助“云锦”BIM 协同平台实现安全责任数字化分派与动态管理，把涵盖电气安装、管道焊接、通风调试等 60 项关键工艺的标准规范与具体责任人直接关联，在信息系统中形成从“安全交底—现场执行—监督检查”的全流程线上闭环，显著提高管理效率与责任可追溯性<sup>[1]</sup>。在对待分包单位管理上，坚决避免“以包代管”粗放模式，通过严格资质审查、签署具有法律效力的安全协议、实行安全保证金制度等管理手段，明确界定总包与分包之间安全责任与义务关系，如在某大型化工企业泵房改造项目中，将分包单位安全绩效直接与工程结算支付相挂钩，依托物联网与信息化系统对关键设备的进场验收、日常检查与维护保养记录实施全程电子化跟踪，最终有效防控机械伤害风险、提前规避事故隐患。

### 1.2 风险动态防控：精准识别与分级管控

机电施工作为复杂工程项目重要组成部分，其风险呈现多类型并存、动态变化等显著特征，需通过建立系统化“识别—评估—防控”全流程管理机制以实现风险的有效应对，

在风险识别阶段全面覆盖设备运行故障、人员操作失误、外部环境干扰等多个维度，逐步构建包含吊装倾覆、电气短路、有限空间作业窒息、机械伤害、高处坠落等多种典型场景的动态风险数据库，为后续评估与防控提供数据支撑，如武汉地铁某标段施工过程中创新引入“BIM+ 物联网传感器”智能风险预警模式，在通风管道密集安装区域布设高精度振动传感器实时采集支架受力与结构振动数据，通过对数据动态分析提前识别支护系统失稳迹象，实现坠落风险早期预警和干预；对于高风险作业环节，需制定并执行精准防控措施，如大型吊装作业前严格核查地基承载力及吊装设备状态，明确设置作业警戒区域限制非作业人员进入，焊接与动火作业时除常规防护外配备接火斗和有害气体实时检测装置防止火花飞溅和有毒气体积聚，有限空间作业严格执行“先气体检测、再通风置换、作业中持续监护”标准化流程确保作业环境安全可控，某大型火电建设项目通过构建风险动态评估模型，将临时用电、高空作业、起重吊装、动火作业等 12 类常见风险量化分级，分别制定“红色风险立即停工整改，黄色风险实施旁站监督，蓝色风险常规巡查”分级管控策略，显著提升现场风险差异化与精细化管理水平。

### 1.3 作业现场管控：标准化与精细化

现场管控聚焦关键环节以实现标准化治理，包括高空作业设置 1.2 米以上临边护栏且作业人员执行“高挂低用”原则，临时用电严格遵循“三级配电、两级保护”，潮湿环境采用 36V 以下安全电压且漏电保护器动作时间控制在 0.1 秒以内；武汉地铁项目创新应用“彩色机房”工艺，通过以蓝、

绿、红等颜色区分空调水、消防、动力等管线从物理标识层面降低误操作风险；设备管理实行“进场验收-定期维保-报废淘汰”制度，如起重机械核查“三证”并试吊确认，手持电动工具配备漏电保护器，电焊机确保可靠接地；该项目引入桥架电缆复尺机器人实现线缆敷设精度误差小于2毫米，既提升质量又减少返工带来的安全隐患。

#### 1.4 应急响应机制：预案、演练与保障

应急体系作为事故防控的最后防线，需针对性编制触电、火灾、坍塌等专项预案，明确救援组、医疗组、通讯组的职责分工，储备急救箱、二氧化碳灭火器、应急照明等物资并定期核查；某化工企业在管道泄漏事故中，因提前规划疏散路线并配备快速堵漏装置，成功将损失控制在最小范围。应急演练注重实战化，武汉地铁项目每季度开展模拟触电救援演练，通过VR技术还原事故场景，使作业人员沉浸式掌握心肺复苏、断电操作等技能，演练后建立复盘机制，优化灭火器摆放位置与急救物资配置，形成“演练-改进-提升”的良性循环。

## 2 机电工程施工技术创新的实践路径

### 2.1 BIM 技术全流程集成应用

结合BIM技术从单一建模工具升级为覆盖全生命周期协同管理平台，在设计阶段项目团队借精细化三维建模提前识别如武汉地铁项目中管线碰撞与空间冲突，优化超100万米电线电缆走向，减少材料浪费并降低现场拆改交叉作业风险；施工实施阶段BIM与进度管理系统深度关联实现施工全过程4D动态模拟，直观展示设备安装顺序与工期安排辅助管理人员优化资源配置、提高施工效率与安全性<sup>[2]</sup>；该项目依托BIM模型实现高效可视化技术交底，现场作业人员扫描设备二维码随时查看三维操作规范、安装工艺及全景演示动画使设计意图精准无损耗传至施工末端；机电系统联合调试阶段借助BIM模型真实模拟各专业设备联动逻辑，武汉地铁项目25天完成20套通风空调系统调试任务，相比传统工艺工期缩短55%，提升调试质量并降低长期高强度作业带来的现场安全隐患。

### 2.2 模块化预制与装配式施工

装配式技术将大量传统现场作业转化为标准化、工厂化的预制生产，显著提升例如，在武汉地铁建设中采用的SAC智慧装配式施工技术，通过使消防泵房模块仅用6小时就完成现场拼装，相较传统施工模式工期压缩94%，有效

规避长时间高空作业、动火作业等叠加风险，提高了工程建设的效率与本质安全水平；在模块拆分设计过程中，严格遵循“生产可行、运输便利、安装高效”三大原则，借助BIM参数化设计直接生成精准加工图纸，将预制构件尺寸误差控制在1毫米以内，极大提高装配精度与施工质量。全过程质量追溯系统作为装配式施工体系的重要支撑，以某火电项目为例，将每个预制构件的生产批次、质量检验报告、安装位置等关键信息录入BIM模型，形成“构件-人员-设备”全要素关联的可追溯机制，一旦发生质量问题，可迅速定位并追溯至具体环节和责任单位；这种标准化、精细化的生产与安装模式，在保障工程质量一致性的同时，显著减少现场切割、焊接等高危作业量，从源头上降低安全风险。

### 2.3 智能装备与数字化管控

智能装备的广泛应用正以重构传统施工方式并赋予工程现场更高水平自动化与智能化能力的态势发展。在武汉地铁项目中，投入的搭载激光雷达与高清摄像设备的智能巡检机器狗，能以自主穿梭于轨道区间、站台边缘等危险区域，实时采集现场数据并回传至云控平台，自动识别设备异常振动、线缆脱落等多种隐患的方式作业。此外，大量包括智能焊接机器人和热成像自动测温仪在内的智能装备，让原本需人工作业的高空、高温、高噪声等危险岗位的操作占比下降70%，从而大幅提升施工安全水平。在数字化管控方面，项目通过集成物联网与大数据分析技术，构建起实时的安全状态感知体系。诸如风机、水泵等关键设备安装振动传感器，借助AI算法对运行数据进行分析，得以提前识别叶片疲劳、轴承磨损等故障征兆<sup>[3]</sup>。作业人员佩戴的智能安全帽，不仅能实时定位，还可在其进入危险区域或未授权空间时自动发出警报，从技术层面实现对“人的不安全行为”和“物的不安全状态”的双重管控，进而全面提升现场管理的精细化与主动防御能力。

## 3 安全管理与技术创新的融合发展路径

### 3.1 技术赋能管理精细化

依托高精度建模手段构建出能动态响应现实世界变化的虚拟模型以实现对物理系统运行状态实时映射与同步反馈的数字孪生技术，不仅可模拟多种极端或复杂工况下可能产生的安全风险，还能为管理者提供全面、科学、可视化决策依据；以某智能工厂项目为例，借助数字孪生系统对有限空间作业中有毒有害气体扩散路径进行精确仿真与动态推

演，据此管理人员优化通风系统空间布局与作业人员排班时序，最终使作业过程中窒息事故发生概率大幅降低 80%；此外，武汉地铁在其 BIM 协同管理平台中全面整合质量与安全管控流程，实现从问题上报、任务指派、整改实施到复核闭环的全链条线上处理，该系统显著提升管理流程透明度与响应效率，最终实现质量问题 100% 闭环处理目标。

### 3.2 管理引导技术落地

在实际安全管理中存在的痛点与难点，为相关技术的研发与创新明确了应用导向与落地路径，如面对高处作业里传统人工巡检安全隐患大、效率低下等问题，部分企业成功研制出无人机与机器狗协同作业的智能巡检系统，实现对高风险区域自动化、无人化巡查；另一方面，为应对施工现场临时用电管理中频发的电气火灾与触电事故，行业逐步推广配备过载保护、漏电监测、远程实时调控等功能的智能配电箱系统，从源头上遏制电气类安全隐患<sup>[4]</sup>；在中建三局承建的武汉地铁项目中，通过把安全生产绩效指标嵌入其“云锦”数字管理平台，以数据化方式驱动施工班组积极采用装配式施工工艺和智能化技术设备，有效提升施工现场本质安全水平。

### 3.3 人员能力协同提升

通过将技术持续创新与人员安全管理能力的系统性提升协同推进，在一些先进项目中采用“VR 安全实景培训 + BIM 设备操作模拟实训”相结合的新型培训模式，使一线作业人员熟练掌握智能工机具操作技能且深入理解新技术应用背后安全机理与风险防控逻辑，某大型化工企业建立“安全技术创新积分奖励制度”，对主动提出有效安全改进建议、积极参与工艺优化和技术革新的员工给予相应物质奖励与荣誉激励，以逐步在企业内部形成“人人重视安全、全员参与创新”的良好文化氛围，实现技术与人力资本的双重增值，才能真正发挥实效<sup>[5]</sup>。

## 4 结论与展望

在机电工程施工领域，已形成安全管理与技术创新紧密相连、相互促进的共生发展格局，健全的安全管理体系为

各类技术创新提供制度支撑与运行保障以确保新方法、新工艺在有序、可控环境落地，同时技术的持续突破推动安全管理向更精准、更智能方向升级，如借助物联网、大数据等实现风险实时感知与智能预警；以武汉地铁 12 号线等重大工程为例，项目通过构建“责任闭环的管理体系 + BIM 驱动的技术体系 + 全员参与的保障体系”的多维协同机制，不仅显著降低安全事故发生概率与施工经济成本，还同步实现工程品质与建设效率双向提升，充分验证安全与技术在实践中的协同价值；展望未来，随着 5G 通信、人工智能、数字孪生等前沿技术不断融入，机电工程施工将逐步向“全域感知、智能决策、自主防控”的智慧化新模式转型，建议行业从政策引导和机制设计入手，积极推动既有安全管理标准与技术创新深度融合，构建“技术研发—实践验证—标准形成”的良性循环体系，为我国重大基础设施建设质量提升与可持续发展提供坚实支撑。

### 参考文献：

- [1] 罗玉波. 高速公路隧道机电施工精细化管理体系构建与实践分析 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6(15):159-161.
- [2] 蓝新刚. 论建筑机电安装工程施工管理中的难点及对策 [J]. 中国设备工程, 2025, (10):56-58.
- [3] 郑信要, 常江, 孟庆竹, 等. 建筑工程施工技术中的安全管理创新技术研究 [J]. 工程与建设, 2024, 38(03):717-718+726.
- [4] 《水利水电工程施工安全技术规程应用指南》编写组. 水利水电工程施工安全技术规程应用指南 [M]. 中国水利水电出版社: 201203:987.
- [5] 《电力工程施工安全技术规程应用指南》编写组. 电力工程施工安全技术规程应用指南 [M]. 中国水利水电出版社: 201201:778.

### 作者简介：

刘永思(1991.1-), 男, 汉, 江西人, 大学本科, 研究方向: 机电工程