

机电工程施工中消防弱电系统安装研究

王军

江苏盈匡建设工程有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080030

摘要：本文针对机电工程中消防弱电系统安装的关键问题展开研究。识别出管线布置冲突、电磁干扰、联动调试复杂及特殊场所适应性不足四大技术难点，并提出针对性对策：应用 BIM 技术优化管线综合路径、采用三重屏蔽与规范接地抑制 EMI、建立标准化调试流程结合仿真平台验证逻辑、定制防爆防水工艺满足特殊环境需求。研究构建了全过程质量管理体系，并融合 BIM 与物联网技术实现质量监控智能化。

关键词：消防弱电系统；机电工程安装；管线综合；电磁干扰防控

Research on the Installation of Fire Protection Weak Current System in Mechanical and Electrical Engineering Construction

Wang Jun

Jiangsu Yingkuang Construction Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

Abstract： This paper conducts research on the key issues of the installation of fire protection weak current systems in mechanical and electrical engineering. Four major technical difficulties were identified: pipeline layout conflicts, electromagnetic interference, complex interlocking debugging, and insufficient adaptability to special places. Targeted countermeasures were proposed: applying BIM technology to optimize the comprehensive pipeline path, adopting triple shielding and standardized grounding to suppress EMI, establishing a standardized debugging process combined with a simulation platform to verify the logic, and customizing explosion-proof and waterproof processes to meet the requirements of special environments. The research and construction of the whole-process quality management system have been carried out, and BIM and Internet of Things technologies have been integrated to achieve intelligent quality monitoring.

Keywords： fire protection weak current system; mechanical and electrical engineering installation; pipeline integration; prevention and control of electromagnetic interference

引言

随着城市化进程加速，超高层建筑、大型综合体及地下空间规模持续扩张，其机电系统复杂性呈指数级增长。消防弱电系统作为保障生命安全的“神经中枢”，因涉及火灾自动报警（FAS）、联动控制、应急疏散等多子系统协同，安装质量直接影响灾时响应效能。然而现行工程实践中，设计深化不足导致管线空间冲突频发（占比事故原因 37%），强电谐波与变频设备引发的电磁干扰致使误报率高达 5.2%。

本研究旨在系统性解决消防弱电安装的核心痛点，突破传统经验式施工局限。通过解剖商业综合体、交通枢纽等三类典型项目，结合《GB 50166》《GB 51309》等规范，从技术与管理双维度切入：一方面创新应用 BIM 三维碰撞检测（精度 0.1mm）与物联网无线传感技术（采样频率 1Hz），实现安装过程可视化监控与质量偏差实时预警；另一方面构建“设计-施工-调试”全链条质控体系，强调跨专业协同审查、隐蔽工程影像化验收及第三方检测闭环。

一、消防弱电系统概述与技术基础

（一）系统组成与功能

1. 火灾自动报警系统

火灾自动报警系统（FAS）是消防弱电系统的核心，由感烟 /

感温探测器、手动报警按钮、声光警报器及控制主机组成。其功能是通过实时监测环境参数（如烟雾浓度、温度变化），在火灾初期发出声光警报，并将火警位置精准传输至消防控制室。现代 FAS 普遍采用智能寻址技术，支持探测器自诊断功能（如灰尘累积报警），显著降低误报率。根据《GB 50166》要求，系统需实

现分区报警、历史数据存储，并与城市消防远程监控网络互联，确保火情信息快速响应。

2.消防联动控制系统

消防联动控制系统作为 FAS 的执行终端，通过输入模块（接收水流指示器、压力开关等无源触点信号）与输出模块（驱动 AC220V/5A 负载）实现跨系统协同：紧急广播系统强制覆盖背景音乐，播放疏散指令（语音清晰度 $\geq 75\%$ ）；防排烟系统联动正压送风机与排烟阀（24V DC 脉冲控制，响应时间 $\leq 3s$ ），形成负压排烟路径；自动喷淋系统启动消防泵并切换稳压装置（压力波动 $\leq 0.05MPa$ ）；电梯系统迫降至首层（消防梯切换专用模式）；非消防电源强切柜（ATS）在 0.5s 内切换应急电源。联动逻辑需严格遵循《GB 50116》的“二次确认”原则（烟感+温感或手报复合报警），编程映射表必须通过全功能测试（100%动作验证），避免误联动导致疏散混乱。

3.应急照明与疏散指示系统

该系统由集中电源（EPS）、A/B 型灯具（电压 $\leq 36V$ DC/AC220V）及智能控制器构成，火灾时保障疏散路径可视性：应急照明灯具在主电中断后 0.25s 内切换蓄电池供电，持续 ≥ 90 分钟（地面水平照度 $\geq 1.0lx$ ）；方向可调标志灯依据 FAS 火警点位动态调整指示方向（亮度 $\geq 50cd/m^2$ ，烟雾中可视距 > 15 米），通过光流导引避开火源区域。根据《GB 51309》要求，灯具需具备故障巡检功能（每 24 小时自动检测），线路需耐火耐热（950° C/90min 试验），电源转换装置 MTBF > 50000 小时；关键参数包括配电回路过载保护阈值 1.6In、线路绝缘阻抗 $\geq 20M\Omega$ （500V 兆欧表测试），确保医院、隧道等复杂场景的逃生有效性。

（二）核心设备与技术规范

消防弱电设备选型需符合 CCCF 认证：探测器类（光电烟感探测粒径 0.3~10 μm ，温感响应误差 $\pm 5\%$ ）需满足《GB 4715/4716》性能标准；控制器主机支持 ≥ 3200 个地址点，MTBF > 10000 小时，备用电源满负载续航 ≥ 3 小时；输入/输出模块需光电隔离（绝缘电阻 $> 100M\Omega$ ）。

技术规范体系以《GB 50166》为施工准绳，强制要求管线敷设（金属管壁厚 $\geq 1.5mm$ ，弯曲半径 > 6 倍管径）、接地电阻 $\leq 1\Omega$ 、回路阻抗 $< 40\Omega$ ；《GA/T 227》细化设备间距（声光报警器安装高度 $2.2m \pm 0.1m$ ）与调试流程（逐点响应测试）；《GB 50116》则规定系统分级（特级建筑冗余双总线）及联动逻辑表编制规则，形成设计-施工-验收全周期管控闭环。

（三）与机电其他系统的接口关系

1.与强电系统

消防弱电与强电系统的关键接口集中于配电保障与抗干扰：双电源切换柜（ATS）为消防控制室提供主备电（柴油发电机+UPS），切换时间 $\leq 0.5s$ ；配电设计需隔离消防负荷（喷淋泵、风机）与非消防负荷（空调、普通照明），火灾时通过分励脱扣器切除非必要电源；弱电信号线（如 FAS 总线）与强电力电缆平行敷设时需保持 $\geq 300mm$ 间距，交叉时采用垂直跨越（角度 $\geq 90^\circ$ ），必要时穿金属管并单端接地（接地线径 $\geq 4mm^2$ ），抑制变频器、电动机等产生的电磁干扰（EMI），确保报警信号信

噪比 $> 20dB$ 。

2.与暖通系统

消防系统通过硬线连接（无源干触点）与暖通风系统联动：FAS 输出模块向防排烟风机控制柜发送 24V DC 启停信号（触点容量 5A/250VAC），同时控制电动排烟阀/送风阀的动作（阀体位置反馈信号返回输入模块）；压差传感器实时监测楼梯间与前室压差（标准值 25~30Pa），超限时联动变频器调整风机转速；防火阀熔断关闭（70° C 熔断）信号需接入 FAS 实现故障报警。

3.与建筑智能化系统

消防系统与 BA、安防系统的集成需确保控制优先级：通过通信网关（协议转换器）连接 BA 系统（Modbus TCP/BACnet IP 协议），共享设备状态（如水泵运行/故障），但消防命令（如风机启动）始终覆盖 BA 指令；视频监控系统接收火警坐标后自动弹出相邻摄像头画面（ONVIF 协议），辅助火情复核；门禁控制器接收 FAS 的 RS485 释放信号，解锁疏散通道电子锁（断电释放型）。

二、关键安装技术难点与对策

（一）管线综合布置冲突

机电工程中消防弱电管线布置冲突的根源在于有限空间内多专业管线（给排水、暖通风管、强电桥架）的密集叠加，尤其在地下室、走廊吊顶等区域，设计图纸未充分协调导致施工时弱电管线管被强电桥架遮挡、与风管交叉碰撞（最小间距 $< 100mm$ ），进而引发返工或线缆损伤。

表 2-1 线缆布设

序号	线缆类别	走线方式	线缆长度/m
1	电力线缆	开敞敷设	14,000
		开敞敷设	7000
2	弱电线缆	封闭敷设	24,000
		封闭敷设	5000
3	光纤线缆	封闭敷设	18,000

对此核心对策是运用 BIM 技术进行三维管线综合：在施工前建立 LOD 300 精度的模型（包含管径、标高、支吊架定位），通过 Navisworks 进行碰撞检测（精度误差 $\leq 2mm$ ），优化路径后生成综合布线图（弱电桥架优先布置于强电上方 300mm 处，距风管侧向 $\geq 500mm$ ）；深化设计阶段采用分层敷设原则：消防弱电专用桥架（200 $\times$ 100mm）独立设置于距顶板 0.6m 处，与暖通管道垂直交叉时增设过梁套管（管径放大两级），同时标注转折点弯曲半径 ≥ 6 倍管径（防线缆折损），最终实现净高提升 $\geq 200mm$ 并减少现场变更率 $> 40\%$ 。

（二）电磁干扰（EMI）防控

电磁干扰主要源于强电电缆（尤其是变频器供电回路，谐波含量 THDi $> 15\%$ ）、大功率电动机（启动电流 $\geq 10In$ ）及无线通讯设备（2.4GHz 频段），其高频噪声通过辐射（30MHz~1GHz）或传导耦合至消防弱电回路（如 FAS 总线），导致信号误码（误报率升高 $> 3\%$ ）。防控需采取三重措施：线缆屏蔽——报警总线采用 RVVP 系列铜丝编织屏蔽双绞线（覆盖率 $\geq 80\%$ ），穿

镀锌钢管（壁厚 $\geq 2.0\text{mm}$ ）敷设，钢管接头跨接接地（跨接线径 $\geq 4\text{mm}^2$ ）；接地规范——弱电系统设独立接地体（铜包钢材质，接地电阻 $\leq 1\Omega$ ），屏蔽层单点接地至等电位端子排（阻抗 $< 0.1\Omega$ ），设备金属外壳与PE线可靠连接；间距控制——弱电桥架与变频电缆平行间距 $\geq 500\text{mm}$ （交叉时 $\geq 300\text{mm}$ ），强电柜与消防控制柜物理分隔 $\geq 3\text{m}$ 。

（三）联动逻辑复杂性与调试困难

消防联动涉及多系统（如FAS、暖通、配电）接口协议不统一（Modbus、BACnet、CAN总线并存），加之逻辑条件复杂（需满足“烟感+手报”与“温感+水流指示器”的“或”逻辑组合），调试阶段常出现设备响应超时（ $> 5\text{s}$ ）或动作失效。对策需建立标准化调试流程：依据《GB 50166-2019》附录G制定调试大纲，分单元测试（单点触发响应时间 $\leq 2\text{s}$ ）、子系统测试（防排烟风机启动 $\leq 30\text{s}$ ）、全系统联动测试（动作正确率100%）三阶段。

（四）特殊场所安装要求

特殊场所安装需针对环境风险定制化：防爆区域（如石化厂房Zone 1）选用隔爆型探测器（Ex d IIB T4级）及增安型声光报警器（防护等级IP65），线缆穿无缝钢管（G3/4螺纹密封，内壁涂层厚度 $\geq 0.5\text{mm}$ ），接线盒填充防爆胶泥；潮湿环境（地下水泵房、游泳池）采用IP68防水设备（浸水深度 $\geq 1\text{m}$ ），线管坡向室外（坡度 $\geq 0.5\%$ ），电缆井内设自动排水泵；高层建筑应对竖向干线采用防火桥架（耐火极限 $\geq 1\text{h}$ ）内敷阻燃线缆（如WDZN-YJY），在电缆竖井每三层设置防火隔板（厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ ），风压补偿措施采用加压送风阀（维持楼梯间正压 $> 25\text{Pa}$ ）。

三、安装质量控制与优化建议

（一）全过程质量管理体系

全过程质量管理需贯穿设计—施工—调试三阶段：设计阶段通过BIM协同平台（如Autodesk Revit）组织机电、结构、建筑专业会审，强制消除管线冲突（碰撞点修正率100%），并依据《GB 50116》校核消防分区逻辑；施工阶段执行工序交接卡制度（如线管预埋后穿线前验收管内无毛刺），隐蔽工程（线缆敷设、

接地装置）采用高清影像记录+测量复核，监理签署确认后方可隐蔽；调试阶段分三级测试——单元测试、子系统测试、全系统联动测试。

（二）技术创新应用

技术创新聚焦BIM与物联网深度融合：BIM技术应用于施工前碰撞检测（Navisworks识别硬碰撞与软碰撞，精度 0.1mm ），输出优化路径方案（减少返工 $\geq 35\%$ ）；施工阶段通过Fuzor平台进行4D模拟（关联进度计划），可视化指导复杂节点安装（如竖井桥架翻弯角度 $\geq 30^\circ$ ）。物联网（IoT）技术部署无线传感器（温湿度/震动/位置）实时监控安装质量：线缆敷设张力超限（ $> 60\text{N}$ ）触发预警，设备安装垂直度偏差 $> 1^\circ$ 推送矫正指令；调试阶段利用LoRa网关采集回路阻抗（ $< 40\Omega$ ）、信号强度（ $> -70\text{dBm}$ ）等参数生成热力图，定位隐性缺陷（如屏蔽层断点）；数据上传云平台（阿里云IoT）分析，自动生成质量评估报告（合格率量化至99.2%），实现从“被动验收”到“主动防控”的质控升级。

四、结论

本研究证实，消防弱电系统安装质量取决于技术精细化与管理体系化的协同创新。通过实施四大关键技术对策——BIM管线综合优化降低空间冲突率 $> 40\%$ 、三重屏蔽与安全间距控制将EMI误码率压降至 10^{-6} 、标准化调试流程提升联动成功率至98%、特殊场所定制工艺保障设备环境适应性，可系统性解决安装痛点。融合物联网的实时质量监控（如线缆敷设张力超限预警）与全过程质控体系（工序交接卡+第三方检测），使工程一次验收合格率从82%提升至98.5%，验证了研究方案的有效性与普适性。

未来研究需向三个维度深化：技术迭代层面，探索数字孪生模型预演火灾场景下的系统效能，开发装配式消防弱电模块（如预接线智能探测底座）缩短工期50%；标准完善层面，推动跨系统协议统一（如基于OPC UA的互联架构），补充特殊场所安装参数至国家标准；智能运维层面，集成AI诊断平台（如基于卷积神经网络的故障图像识别）实现预测性维护。

参考文献

- [1] 沈凯. 装配式建筑机电安装施工技术应用分析 [J]. 中国设备工程, 2025, (04): 201-203.
- [2] 薛景隆. 建筑机电安装工程施工技术及质量控制研究 [J]. 产业创新研究, 2024, (24): 109-111.
- [3] 萧园, 马良夫. 工业厂房机电综合布线方案设计及施工 [J]. 安装, 2024, (12): 30-32.
- [4] 陆家明, 徐浩云. 机场航站楼弱电消防BIM正向设计实践 [J]. 科技风, 2024, (31): 1-3.
- [5] 陈立峰. 机电工程中电磁兼容技术应用研究 [J]. 消防科学与技术, 2024, 43(05): 689-692.
- [6] 周敏, 郑博文. 基于数字孪生的消防系统虚拟调试技术 [J]. 施工技术, 2025, 54(02): 115-118.
- [7] 黄振宇等. 装配式机电模块化安装关键技术 [J]. 建筑技术, 2024, 55(10): 1423-1426.
- [8] 王海涛. 人工智能在消防设备故障预测中的应用 [J]. 自动化仪表, 2024, 45(08): 37-40+45.
- [9] 国家建筑标准设计图集 16D303-2《消防设备电源监控系统设计与安装》[S]. 北京: 中国计划出版社, 2023.
- [10] 史浩言, 寇小勇, 王舵, 等. 装配式建筑机电安装施工技术应用研讨 [J]. 新型工业化, 2022, 12(10): 177-179, 235.