

# 建筑弱电工程全生命周期管理与无人化运维的融合路径

陈顺杰

上海隆靖信息技术有限公司, 上海, 200540;

**摘要:** 为解决建筑弱电工程全生命周期管理阶段割裂、数据断层等痛点, 本文以全流程管控为视角, 剖析四阶段核心矛盾, 结合物联网、数字孪生等技术, 构建分层融合框架, 明确三大融合路径, 并经医疗机构项目实测。结果显示, 过载工况故障响应时延 246.8ms、自动处置成功率 78.3%; 全周期贯通较数据断层日均能耗降 55.4kWh、优化率 38.8%, 为工程提质增效提供支撑。

**关键词:** 建筑弱电工程; 全生命周期管理; 无人化运维; 数字孪生

**DOI:** 10.69979/3029-2727.26.05.014

## 引言

随着智能建筑与智慧城市建设纵深推进, 建筑弱电工程的系统复杂度、集成度持续攀升, 传统分段式管理模式暴露出设计与运维脱节、施工数据留存不全、故障响应滞后等问题<sup>[1]</sup>。无人化运维依托物联网、人工智能、数字孪生等技术, 实现设备自主监测、故障预判、远程处置, 为破解弱电工程全生命周期管控难题提供了突破口。本文聚焦两者融合逻辑, 梳理实施难点与优化方向, 推动弱电工程管理向数字化、智能化、无人化转型。

## 1 建筑弱电工程全生命周期管理现存痛点与融合必要性

### 1.1 全生命周期管理的核心痛点剖析

当前建筑弱电工程全生命周期管理仍处于初级阶段, 各环节协同不足、数据流转不畅的问题突出, 严重制约工程质量与运维效能<sup>[2]</sup>。规划设计阶段, 设计人员多聚焦功能实现与成本控制, 忽视运维场景的实际需求, 系统布局、接口设置、设备选型与后期运维脱节, 导致竣工后系统调试难度大、运维成本偏高; 同时, 设计图纸数字化程度不足, 三维模型与二维图纸脱节, 难以支撑后期运维数据调用。

施工建设阶段, 现场管理粗放, 施工变更记录不完整、管线敷设轨迹留存缺失、设备参数录入不规范, 竣工资料与现场实际存在偏差, 形成“数据断层”; 多方参与主体缺乏统一协同平台, 设计方、施工方、监理方、运维方信息交互滞后, 施工质量隐患无法及时传导至后期运维环节, 加剧运维管控难度。运维服务阶段, 传统人工巡检模式效率低下, 故障排查依赖人员经验, 缺乏系统化数据支撑; 设备运行数据、维修记录零散存储,

无法形成全周期数据闭环, 难以支撑设备寿命预判与系统迭代。退役更新阶段, 资产评估缺乏全周期数据支撑, 设备残值核算不准确, 可复用资源浪费严重, 退役数据未妥善归档, 影响后续同类工程优化升级。

### 1.2 两者融合的必要性 with 可行性分析

建筑弱电工程全生命周期管理与无人化运维的融合, 是破解行业管控痛点、推动数字化转型的必然选择。全生命周期管理为无人化运维提供完整的数据底座与流程框架, 无人化运维为全生命周期管理提供技术支持与效能升级, 二者相辅相成、互为支撑<sup>[3]</sup>。一方面, 全生命周期管理沉淀的全流程数据, 是无人化运维算法建模、智能研判的基础, 解决无人化运维数据来源单一、模型精度不足的问题; 另一方面, 无人化运维的实时监测、自主处置能力, 可补齐全生命周期管理中运维阶段的短板, 实现全流程管控的闭环落地。

从技术层面来看, 物联网、数字孪生、人工智能等技术的成熟应用, 为二者融合提供了可行路径。智能感知设备可实现弱电工程全要素数据采集, 数字孪生技术可构建物理工程与虚拟模型的实时映射, 人工智能算法可实现数据深度分析与智能决策, 边缘计算可保障现场数据快速处理与指令下达<sup>[4]</sup>。

## 2 全生命周期各阶段与无人化运维的融合实施路径

### 2.1 规划设计阶段: 前置运维需求, 夯实数据基础

规划设计阶段是融合的起点, 核心就是把无人化运维需求前置嵌入设计流程, 实现设计即运维的管控理念。设计前期开展运维场景调研, 整理出弱电系统运维痛点、

设备布局需求、数据采集要点,确定无人化运维的技术指标和功能要求;采用BIM等三维设计工具,建立弱电工程数字化模型,把设备参数、管线轨迹、接口信息、运维点位等数据嵌入模型,形成可复用、可调用的数字化设计成果。

加强多专业协同设计,联动结构、机电、运维等专业,优化系统布局和设备选型,优先选用兼容智能感知、远程控制的智能化设备,预留物联网接入接口;开展设计方案仿真模拟,利用数字孪生技术模拟系统运行状态和运维场景,预判设计缺陷,优化方案可行性,避免后期运维阶段的系统性问题;同步制定数据标准,明确施工、运维阶段的数据采集规范,保证设计数据向下一阶段有效传递。

## 2.2 施工建设阶段:同步数据沉淀,强化质量管控

施工建设阶段以质量控制和数据同步两个目标为主,建立施工与运维的数据桥梁。建立施工协同管理平台,对接设计BIM模型和现场施工数据,实时录入设备进场验收、管线敷设、系统调试、施工变更等信息,保证竣工数据和设计模型、现场实际高度一致;部署智能监测设备,对施工过程中管线铺设、设备安装、接线工艺等关键环节进行实时监测,自动识别施工隐患,提高施工质量,减少后期运维故障源。

规范设备信息录入,给各类弱电系统设备赋予唯一的标识,采集品牌、型号、参数、质保期、安装位置等全部信息,上传到数据中台,为后期无人化运维提供设备台账基础,施工过程数字化归档,留存隐蔽工程影像、调试报告、验收记录等资料,实现施工全流程可追溯,施工收尾阶段,联动运维方进行系统预调试,校验无人化运维设备的安装精度和数据采集功能,完成施工向运维的平稳过渡。

## 2.3 运维服务阶段:深化技术应用,实现无人管控

运维服务阶段是融合的核心环节,依靠全周期沉淀的数据和无人化技术,创建自主化运维体系。搭建无人化运维管控平台,对接数据中台和现场感知设备,实时采集安防、消防、综合布线、楼宇自控等弱电系统运行参数、设备状态、环境信息,利用数字孪生模型实现物理系统和虚拟场景的实时同步,直观呈现全系统运行态势。

利用AI算法创建故障预判模型,分析历史运维数

据、设备运行曲线,找出异常工况,提前发出隐患预警,由“被动抢修”变为“主动预判”;部署智能巡检机器人、远程控制终端,代替人工完成日常巡检、设备重启、参数调试等重复性工作,对一般性故障实行自动处置,对复杂故障推送处置方案并联动运维人员远程干预;创建运维数据闭环,自动记载巡检成果、故障处理、设备维修等信息,反哺算法模型改良,不断改善无人化运维精确度。

## 2.4 退役更新阶段:依托全周期数据,实现科学迭代

退役更新阶段依托全生命周期数据,开展资产评估与系统迭代,完善管理闭环。通过无人化运维平台调取设备运行时长、故障频次、维修记录、能耗数据等全周期信息,科学评估设备使用寿命、系统运行效率,精准界定退役设备与可复用资源;核算设备残值与系统改造性价比,制定退役更新方案,优先替换老化严重、能耗偏高、兼容性差的设备,最大化利用存量资源。

对退役设备进行规范化处置,同步更新数据中台信息,归档退役阶段相关资料;结合退役评估结果,反哺规划设计与施工阶段的优化升级,将设备选型、系统布局、运维管控等方面的经验教训,融入后续工程建设,形成“全周期管控-无人化运维-迭代优化”的良性循环,提升弱电工程全生命周期价值。

# 3 案例应用效果

## 3.1 案例概况

项目主要建设内容和功能包括五类医疗机构:浦东新区康复医学中心、急救中心分站、疾病预防控制中心分中心、卫生监督执法中队业务用房康复中心总面积128232m<sup>2</sup>,地上(南北塔楼九层+东西裙楼四层+顶层)90271m<sup>2</sup>,地下(二层)37961m<sup>2</sup>。社区服务中心总面积11295m<sup>2</sup>,地上(五层+顶层)8145m<sup>2</sup>,地下(一层)3150m<sup>2</sup>。总建筑面积139527m<sup>2</sup>。

## 3.2 应用效果分析

### 3.2.1 不同工况下弱电系统无人化运维响应性能测试

选取建筑弱电工程中安防、楼宇自控、综合布线三类核心子系统,设置常规负载、75%负载、满负载、过载四种运行工况,依托物联网感知终端与数字孪生平台,采集系统故障响应时延、自动处置成功率、数据传输丢

包率三项指标。试验周期为72小时，每15分钟完成一次数据采样，各工况连续稳定运行18小时，测试环境温度控制在 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度维持在 $45\%\pm 5\%$ 。结果如表1所示。

由表可知，随系统负载水平提升，故障响应时延呈现阶梯式上升态势，常规负载至过载工况时延增幅达479.3%。该变化源于高负载状态下边缘计算节点数据处理量激增，指令解析与传输链路占用率升高，导致信号交互效率下降。自动处置成功率随负载增加逐步降低，过载工况下较常规负载下降20.4个百分点，主要因高负载引发设备运行参数偏移，AI预判模型匹配度降低，部分复杂故障无法完成自主闭环处置。数据传输丢包率随负载升高持续增大，过载工况下丢包率达到常规负载的12.06倍，核心诱因是网络端口拥堵与数据并发传输冲突，感知设备与管控平台间的数据交互稳定性被削弱。整体数据变化印证负载水平直接作用于无人化运维的响应效率与执行精度，为运维工况阈值设定提供量化依据。

表1 不同工况下弱电系统无人化运维响应性能分析

工况类型	故障响应时延 (ms)	自动处置成功率 (%)	数据传输丢包率 (‰)
常规负载	42.6	98.7	0.32
75%负载	68.3	96.2	0.57
满负载	112.5	91.4	1.24
过载	246.8	78.3	3.86

### 3.2.2 全生命周期数据贯通对弱电运维能耗影响测试

以建筑弱电工程全生命周期数据中台为支撑，设置数据断层、局部贯通、全周期贯通三种数据管控模式，针对照明控制、安防监控、楼宇自控系统开展连续168小时能耗监测。采用智能电表实时采集系统有功功率，统计单位时间能耗值与设备待机损耗，试验过程保持外部环境参数恒定，设备运行参数按设计标准设定，对比不同数据贯通程度下的运维能耗差异。结果如表2所示。

数据贯通程度提升可显著降低弱电系统运维能耗，全周期贯通模式较数据断层模式日均能耗下降55.4kWh，能耗优化率达到38.8%。从能耗构成来看，设备待机损耗随数据贯通完整性提升持续降低，全周期贯通模式待机损耗较数据断层下降52.6%。且局部贯通模式下仅实现施工与运维数据对接，设计阶段参数未完全融入管控体系，能耗优化效果受限。全周期贯通模式整合规划、施工、运维、退役全流程数据，AI算法可

依据设备历史运行数据制定最优能耗策略，减少无效运行与资源冗余消耗。试验结果表明，数据闭环贯通是降低弱电工程运维能耗、提升无人化管控经济性的关键支撑[5]。

表2 全生命周期数据贯通对弱电运维能耗影响

数据管控模式	系统日均能耗 (kWh)	设备待机损耗 (kWh)	能耗优化率 (%)
数据断层	142.6	28.7	—
局部贯通	115.3	21.4	19.1
全周期贯通	87.2	13.6	38.8

## 4 结论

建筑弱电工程全生命周期管理与无人化运维深度融合，可有效破解阶段割裂、数据断层等痛点。经项目实测，全周期数据贯通较数据断层模式日均能耗降低55.4kWh，能耗优化率达38.8%；过载工况下自动处置成功率为78.3%。该融合模式能实现运维提质、降本、减耗，为智能建筑弱电系统数字化、无人化转型提供可行方案。

## 参考文献

- [1] 高殿辉,袁一平. 建筑电气智能化弱电工程施工技术及质量管理措施分析[J]. 科技视界,2026,16(01):82-84.
- [2] 祝为后. 建筑电气智能化弱电工程与绿色建筑施工的探究[C]//河南省豫商经济文化交流协会. 2025中国建筑经济研讨会科技与管理分论坛论文集. 航天科工广信智能技术有限公司; ,2025:107-108.
- [3] 江永健,董家永,肖昌飞. 智能化建筑弱电工程施工技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版),2025,(34):146-148.
- [4] 崔俊朋. 建筑机电工程中弱电系统施工质量管理分析[J]. 机电产品开发与创新,2025,38(06):180-182.
- [5] 丁海洋. 智能建筑弱电工程施工技术与质量控制研究[C]//广西网络安全和信息化联合会. 2025年第九届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会论文集. 中邮建技术有限公司; ,2025:444-445.

作者简介：陈顺杰（1990.07-），男，汉族，籍贯：江苏省南通市，学历：本科，职称：无，研究方向：建筑设备（弱电）。