

Research on Collaborative Design of Building Weak Current Intelligent System in Complex Electromechanical Environment

Zhonghui Yan

Shangrao Big Data Industry Investment and Development Co., Ltd., Shangrao, Jiangxi, 334100, China

Abstract

Building weak current intelligent system is a key support for the digital and intelligent transformation of modern buildings, and its core value is reflected in multidimensional functional systems such as information perception, data integration, linkage control, and operation management. However, in practical engineering, weak current systems often need to be embedded in various types of electromechanical systems such as building HVAC, elevators, power supply and distribution, fire protection, and security. Their collaborative design not only involves multiple professional interface organizations, but also faces problems such as heterogeneous communication protocols, equipment logic conflicts, unstable network architecture, and cross construction interfaces. Starting from the system properties of complex electromechanical environments, this article aims to provide theoretical support and practical paths for the planning and design of weak current systems in complex building scenarios such as large public buildings, hospital complexes, and rail transit hubs.

Keywords

weak current system; Mechanical and electrical engineering; Intelligent building; System collaboration; BIM

楼宇弱电智能化系统在复杂机电环境中的协同设计研究

严忠辉

上饶市大数据产业投资发展有限公司，中国·江西 上饶 334100

摘要

楼宇弱电智能化系统是现代建筑数字化和智慧化转型的关键支撑，其核心价值体现在信息感知、数据集成、联动控制与运行管理等多维功能体系。然而，实际工程中弱电系统往往需要嵌入建筑暖通、电梯、供配电、消防、安防等多类型机电系统，其协同设计不仅涉及多专业接口组织，还面临通信协议异构、设备逻辑冲突、网络架构不稳定与施工界面交叉等问题。本文从复杂机电环境的系统属性出发，旨在为大型公共建筑、医院综合体、轨道交通枢纽等复杂建筑场景中的弱电系统规划与设计提供理论支持与实践路径。

关键词

弱电系统；机电工程；智能建筑；系统协同；BIM

1 引言

随着信息技术、传感网络和人工智能的快速演进，建筑已从传统的静态物理结构发展为具有数据驱动能力的智能系统实体。弱电智能化系统是这一演进的核心组成，其覆盖建筑自动化控制（BA）、消防报警（FAS）、安防监控（CCTV、ACS）、综合布线（SCS）、会议广播（PA）以及楼宇能源管理（BEMS）等子系统，对建筑安全性、舒适性、效率性和可持续运营具有直接影响。具体表现为配电箱和弱电井布局冲突、消防联动与空调控制逻辑分离、视频存储与网络管理割裂、施工阶段接口协调成本高昂等问题。因此研究弱电系统在复杂机电环境中的协同设计，不仅是设计理论问题，

更关乎工程实施风险控制与全生命周期价值实现。

2 复杂机电环境的系统特征与弱电需求分析

2.1 复杂建筑机电系统的多维耦合属性

现代建筑机电系统具有多维度的动态耦合特征。第一，功能耦合方面，空调新风系统、消防排烟、动力配电和能耗管理系统均需共享环境感知数据、设备状态与应急策略。例如消防模式触发后，电梯群控应进入“消防召回”状态，并自动切断非关键回路的供电，这一联动逻辑的执行依赖弱电系统的数据接口能力。第二，空间耦合方面，机电设备间的部署密集度高，尤其是医院住院综合楼、机场航站楼等场景中，竖井、管道井、弱电井需在狭小空间内实现多种材料与设备的垂直穿越，空间冲突与施工接口密度大。第三，时序耦合方面，跨专业工程施工通常呈现不同节奏，强弱电布线、暖通风道预埋、机房设备安装都需要先后次序的动态协调，

【作者简介】严忠辉（1986-），男，中国江西人，本科，目前职称：电气工程助理工程师，研究方向：弱电智能化。

一旦缺乏协同设计机制，会产生不可逆设备占位矛盾。

2.2 弱电系统的感知、通信与控制需求

弱电系统在复杂机电集成环境中的主要需求可归纳为三类。其一是传感需求，弱电电子系统通过多类型传感器模块获取建筑状态数据，如温湿传感器、烟感、门禁卡读者、视频摄像头、室内定位信标等。这些数据不仅服务单系统控制，还为跨系统联动提供基础输入^[2-3]。其二是通信需求，弱电系统需要在多协议并存环境中保证高速、稳定与低时延，如楼控系统的 BACnet/IP、消防系统的工业串行协议、安防系统的 ONVIF 与 RTSP、能耗管理中的 Modbus TCP/IP 等。其三是控制需求，弱电系统作为机电执行逻辑的中心控制层，需要实现联动场景定义，如火灾触发多系统应急、VIP 通行触发照明与门禁组合策略、能源负荷峰谷控制下的空调与照明梯度调节。

3 弱电系统协同设计的理论框架与设计方法

3.1 弱电系统协同设计的理论框架

弱电协同设计的理论基础在于系统架构分层。总体架构可分为设备层、网络层、平台层与应用层。设备层通过感知模块获取环境信息，网络层负责多协议数据融合与链路安全，平台层实现模型推理与策略调度，应用层进行人机交互与运营管理。该分层结构形成清晰职责边界，可避免不同机电系统之间的功能重叠，保证接口可预测性与联动指令可验证性。

在此架构下，复杂建筑机电系统不再以传统“子系统模块化交付”方式构建，而通过统一的中台结构实现数据接入与策略分发。弱电系统协同的第二核心是数据融合。弱电

系统数据本质上具有多源异构、时序敏感与设备依赖特征，其融合需构建语义解释与时序同步机制。工程实践中常见的做法包括通过边缘计算设备实现本地数据预处理；通过统一数据模型（UDM）进行跨系统语义映射；通过统一身份认证（IAM）与访问控制（RBAC）实现跨角色权限管理。此时弱电数据脱离单系统私有属性，成为面向全生命周期的数字资产，可用于预测性维护、运行调优与投运后决策支持。弱电协同设计不仅关注通信互联，更强调策略一致性。联动策略需要跨越事件触发规则、执行路径选择与冗余校验^[4]。

3.2 协同设计的工程模型与设计方法

在复杂机电环境中，弱电协同设计最显著的挑战来自空间资源争夺。传统二维图纸设计难以表达竖向管道、设备节点的空间重叠关系，因此 BIM-GIS 集成成为关键工具。BIM 模型用于构建机房、弱电井与机电管综的三维实体结构，GIS 提供建筑位置、环境负荷与外部基础设施等宏观信息，二者融合可形成可视化冲突决策模型。在设计阶段通过碰撞检测与路径优化实现弱电线缆路由、机房设备布局与机电接口点的预控，从根源上减少施工阶段变更成本。弱电系统协同不应停留在设计阶段，而应贯穿建设与运维。设计阶段通过 BIM 模型与系统架构明确接口逻辑；施工阶段需建立工序衔接模型，将弱电施工嵌入暖通、电梯与配电施工节点；运维阶段通过数字孪生技术实现系统状态监控、能耗分析与自动化调度。在医院、地铁站等高负载建筑项目中，生命周期协同方法可显著降低系统宕机、连锁故障与改造风险，有助于形成连续可控的智能建筑生态。为了明确弱电协同设计在不同阶段的关键任务，可建立“设计—施工—运维”的多维责任矩阵，如表 1 所示。

表 1 弱电协同设计在复杂机电环境中的阶段性要点对照

设计阶段关键事项	工程实施策略
BIM 管综一体化建模，预控弱电井与暖通、电梯井的空间关系	采用“强先弱后”“竖先横后”的施工节奏
异构协议融合与数据模型标准化（BACnet/IP、Modbus、ONVIF）	集成控制平台部署边缘网关，消除设备厂商差异
安全域划分和通信加密设计	弱电回路与动力线缆分区敷设，避开主风道与大功率设备
应急情景预案与启动次序配置	消防联动与空调、照明、电梯策略闭环测试
设备点位与维护通道预留	弱电桥架靠近维护界面，主干光纤避让高热区

表 1 从设计逻辑、施工组织与运维策略三个维度呈现弱电协同设计的基本面貌，体现出弱电系统不再是传统意义上的“独立子系统”，而是在复杂机电环境中作为贯穿式控制中枢，以信息流驱动物理系统协同运行。尤其在医院、机场、城市交通枢纽等高可靠性场景中，弱电系统的设计方法不再以“单点安全”或“接口互联”为目标，而是以“事件路径—策略决策—联动执行”的全链条结构构成建筑智能运行的骨架。

4 工程案例分析

4.1 基于三级协同架构的弱电设计落地路径

某大型三甲医院综合楼建筑面积超过 20 万平方米，功

能分区涵盖急诊中心、ICU 重症区、医技诊疗区与制剂中心，人员流线呈患者—医护—物流三重交错特征，运行状态对时间敏感性极高。医院弱电系统共配置 19 个子系统，包括楼宇自动化（BAS）、消防报警（FAS）、门禁控制（ACS）、视频监控（VMS）、护士呼叫、医用电梯群控、信息发布系统等。该项目弱电设计采用“楼宇感知层—集成控制层—业务应用层”三级协同架构，从源头构建各子系统逻辑边界、数据流通路径与联动策略承载方式^[2-3]。在感知层，空调末端、病区照明、医护走廊、急诊病房、负压手术室等部署大量感知节点，在实现设备状态采集的同时承担病区环境安全监测功能；在集成层，通过统一集控平台集中接入 BA、FAS、ACS 与 VMS 四大基础系统，并由边缘控制器架构支撑场景

级联动动作执行,使策略落地不依赖中心服务器,从而保障系统在极端事件中的失效隔离特性;在应用层面,以医院数字孪生平台为核心,将ICU床位状态、急诊转运路径、病房环境指标与医护 workflow 进行综合计算,实现跨系统信息驱动下的运行调度。

该案例的关键在于协同逻辑由传统“接口驱动”转向“事件驱动”,即弱电系统不再通过点状触发逻辑实现跨系统联动,而通过事件—策略—动作链条形成闭环。同时,竖向空间协调通过BIM模型实现,将弱电井、配电井与暖通风道形成三维同步布局,在竖井顶部严格设定安全黑区:弱电光纤主干与送风主管保持200 mm净距,弱电桥架横穿风道位置通过偏移布线规避碰撞,由设计阶段通过模型预控替代施工阶段被动修改。该方法不仅减少了后期变更成本,也避免了对医院高密度机电空间的破坏性施工干扰,体现了协同设计的工程适应性与专业深度。

4.2 从施工穿插到智能运维的全生命周期协同实践

该医院项目在施工阶段采用“强弱分区、竖横解耦、关键设备倒排”的施工协同策略,将弱电系统与强电、暖通、电梯等专业的安装过程进行时序化整合。在竖向施工中,以电梯井与主干配电井为优先,实现大型竖向设备优先安装,随后再进行弱电桥架与传输介质敷设,从而避免弱电材料在狭窄竖井空间遭受压覆与污染。在横向施工中,以技术夹层与走廊吊顶作为设备分布节点,机电管综实施“强电居中、暖通置后、弱电贴边”的排列逻辑,使弱电传输路径最大限度贴近维护面,提高后期可维护性。在此体系下,施工变更率较传统设计下降约30%,弱电设备损耗率降低约25%,体现弱电与机电专业的空间协同所得实践优势。

在运行阶段,该项目基于数字孪生技术构建医院虚拟运营模型,将弱电系统采集的数据转化为能源管理、病房舒适性调节与应急策略调度的核心变量。以ICU区为例,患者状态波动性大、设备运行密集,空调末端设有动态风量调节模式,依据传感器采集的温湿度与PM2.5实时值进行调节,在夜间负荷下降时经平台计算调整风机频率、照度等级与输氧系统压力,使空调系统能源负荷下降8%–12%;在医护走廊场景中,照明与人员定位结合,通过热感摄像与门禁标签判断人员区域密度,在夜间低流量状态下自动调整照度,结

合灯控与应急值守策略,将能耗峰值削减约15%。当遭遇紧急医疗转运或灾害演练时,数字孪生平台整合门禁、手术区通风、电梯群控、病房照明与广播,实现“路径型联动”:面向转运要求提前开放路径设备,避免等待式指令下发与分散策略执行,从而将响应时间缩短至原先的一半左右。

该案例显示,协同设计不是单纯的弱电施工可视化,而是在全生命周期内构建以数据、设备与策略为核心的建筑运行体系。在设计阶段通过数字化模型控制空间耦合,在施工阶段通过专业穿插模式实现接口衔接,在运维阶段通过数字孪生实现策略智能生成与动态调优。这一数字生成逻辑将弱电系统从被动接受“机电载体”提升为建筑运营的核心控制中枢,使医院这种高安全性、高连续性场景获得^[4-5]。

5 结语

弱电智能化系统在复杂机电环境中已从单一弱电技术体系进化为建筑数字治理的核心架构。本文从机电系统耦合特征出发,提出弱电协同设计的理论框架与方法论,强调架构分层、数据融合与策略统一的重要性。协同设计不仅在构建阶段减少冲突与变更,更在运行阶段形成价值闭环,实现建筑安全、节能与智能体验的综合优化。未来研究需关注AI调控算法、跨建筑数据共享与行业协同标准,推动弱电系统从工程技术走向智能决策平台。

参考文献

- [1] 王欢,李楠.建筑智能化弱电工程施工及质量控制[J].城市建设,2025,(16):49-51.
- [2] 詹永恩.5G通信技术在弱电智能化建筑系统中的应用分析[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第五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议论文集.浙江数创未来科技有限公司,2025:541-543.
- [3] 鲍平.智能化建筑弱电工程的施工要点与质量管理策略[J].房地产世界,2025,(06):161-163.
- [4] 余城樑.弱电智能化系统在建筑工程中的应用分析[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第一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议论文集.宁波万御安防科技有限公司,2025:50-51.
- [5] 朱钰.建筑电气智能化弱电工程应用技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(19):80-82.