

Design and Analysis of Weak Electricity Intelligent System in Hospital Buildings

Jun Cheng

Shanghai Hengbin Intelligent Technology Co., Ltd., Shanghai, 200030, China

Abstract

In order to solve the problems of low efficiency of multi system linkage, insufficient accuracy of acoustic environment control, and weak electromagnetic compatibility in the design of intelligent weak current systems in hospital buildings, this paper takes the Medical Research Complex Building of Zhongshan Hospital affiliated with Fudan University as an example to study the integrated design of weak current systems in medical buildings. By analyzing the pain points of poor collaboration, insufficient sound field uniformity, and equipment electromagnetic interference caused by the independent operation of subsystems in traditional designs, an integrated technology route of “three-level architecture and dual network integration” is proposed. Combined with 4K intelligent monitoring system, DSP adaptive sound field adjustment, and OPC UA protocol cross system interoperability scheme, intelligent linkage control of security, communication, energy management and other systems is achieved. I hope that through the analysis in this article, it can provide some reference for relevant practitioners.

Keywords

hospital architecture; weak current; Intelligent system; monitoring system; communication system

医院建筑中弱电智能化系统设计分析

程俊

上海恒滨智能科技有限公司, 中国·上海 200030

摘要

为解决医院建筑弱电智能化系统中存在的多系统联动效率低、声学环境控制精度不足及电磁兼容性薄弱等问题, 本文以复旦大学附属中山医院医疗科研综合楼为例, 对医疗建筑弱电系统集成化设计展开研究。通过分析传统设计中子系统独立运行导致的协同性差、声场均匀度不足及设备电磁干扰等痛点, 提出“三级架构、双网融合”的集成化技术路线, 结合4K智能监控系统、DSP自适应声场调节和OPC UA协议跨系统互通方案, 实现安防、通信、能耗管理等系统的智能化联动控制。希望通过本文的分析, 能够为相关从业人员提供一定的参考。

关键词

医院建筑; 弱电; 智能化系统; 监控系统; 通讯系统

1 引言

随着智慧医院建设的加速推进, 医疗建筑弱电智能化系统已成为支撑诊疗服务、保障医疗安全的核心基础设施。现代医院建筑需集成视频监控、医疗物联网、智能导诊等数十个子系统, 同时满足精准声学环境、电磁兼容性、数据实时交互等特殊需求。然而, 复杂功能空间中的设备联动迟滞、声场干扰叠加、强弱电交叉干扰等问题, 严重制约了医疗服务的效率与质量。以三级甲等医院为例, 日均设备告警信号超千条, 传统独立子系统架构难以高效协同; 而手术室、MRI检查室等特殊区域对声学隐蔽性和电磁纯净度的要求更是达到工业级标准。在此背景下, 如何通过系统性设计优

化解决多维度技术矛盾, 成为医疗建筑智能化升级的关键突破口。

2 医院建筑工程概况

2.1 工程基础情况及弱电智能化系统设计疑难点分析

复旦大学附属中山医院医疗科研综合楼弱电工程作为上海市徐汇区重点医疗基建项目, 总建筑面积达5.8万平方米, 地上20层涵盖门诊医技、科研实验室、学术会议中心等复合功能空间, 地下3层设置设备机房与智能停车场系统。项目需构建包含28个子系统的完整弱电智能化体系, 涉及医疗专项系统、安全防范系统、信息传输系统等三大技术板块, 设备安装点位超过12000个, 系统集成度达行业先进水平。该工程在弱电智能化系统设计过程中主要面临以下技术挑战:

2.1.1 多系统集成联动复杂度高

医疗科研楼需实现诊疗呼叫系统与排队叫号系统的实

【作者简介】程俊(1986-), 男, 中国安徽长丰人, 本科, 工程师, 从事智能化弱电工程施工技术研究。

时数据交互, 婴儿防盗系统与视频监控系统的智能联动追踪, 以及消防应急广播与公共广播系统的无缝切换。特别是手术示教系统要求同时兼容 4K 医学影像传输和双向语音交互, 这对网络带宽分配和信号延迟控制提出严苛要求。其次, 声学系统隐蔽化设计难度大。学术报告厅需实现 0.3 秒混响时间控制, 门诊等候区的背景音乐系统要确保声压级波动范围 $\pm 2\text{dB}$, 而特殊病房的探视对讲系统必须消除 8kHz 以上高频啸叫。特别是会议室扩声系统需在保证 85dB 平均声压级的前提下, 将总谐波失真控制在 1% 以内, 同时实现扬声器的完全隐蔽式安装^[1]。

2.1.2 医疗电磁环境兼容性问题突出

MRI 室周边 3 米范围内弱电线路需达到 80dB 屏蔽效能, DSA 介入治疗室的视频监控系统必须通过 IEC 60601-1-2 医疗电磁兼容认证。设备机房综合布线面临 36 个不同电压等级系统的共管敷设挑战, 要求强弱电隔离距离不小于 300mm。这些特殊需求对系统拓扑设计、设备选型标准和施工工艺控制形成多重技术壁垒^[2]。

2.2 弱电智能化系统设计方案简析

针对工程特殊需求, 设计方案采用“三级架构、双网融合”的技术路线。在基础层设置万兆光纤主干网, 部署 4 组 48 芯 OM4 多模光纤构成环形拓扑, 主干链路预留 40% 带宽冗余。数据网络采用 VLAN 虚拟划分技术, 将医疗设备网、物联网感知层、安防专网进行逻辑隔离, 核心交换机配置双电源热备模块, 确保关键系统可用性达 99.99%。在设备选型方面, 视频监控系统采用具备宽动态范围的 4K 超高清网络摄像机, 重点区域配置具备人脸识别功能的智能分析球机, 存储系统采用 RAID6 磁盘阵列配合 N+1 热备架构^[3]。

声学系统实施层面, 采用 DSP 数字信号处理技术构建自适应声场。在学术报告厅配置线阵列扬声器系统, 通过 EASE 声学模拟软件优化安装角度, 使频率响应曲线在 80Hz-16kHz 范围内波动 $\leq \pm 3\text{dB}$ 。背景音乐系统选用定压式传输方案, 末端设置带阻抗匹配变压器的吸顶扬声器, 功率放大器配置 D 类数字功放模块, 确保总谐波失真 $\leq 0.5\%$ 。针对特殊医疗区域, 采用具有波束成形技术的定向扬声器, 将声波覆盖范围精确控制在 $\pm 15^\circ$ 辐射角内^[4]。

3 医院建筑弱电智能化系统具体设计分析

3.1 智能监控系统具体设计

在案例工程中, 智能监控系统作为医院安全运维的核心组成部分, 需满足医疗区域全天候安防监控、重点设备状态监测及应急事件快速响应的多重需求。设计遵循“分区管控、分级存储、多系统联动”的原则, 采用常规技术构建高可靠性监控网络。本节从系统架构设计与设备部署方案两个层面展开论述, 确保与上文第一章节提出的“设备联动、电磁兼容”等核心问题形成技术闭环。

3.1.1 系统架构分层设计

本工程监控系统采用“前端采集—传输网络—中心管

理”三级架构。具体来说:

(1) 前端层由多台摄像机组成, 包含枪式摄像机、半球摄像机及电梯专用摄像机三类设备。其中, 医疗科研楼公共区域部署多台 1080p 固定焦距枪机, 覆盖走廊、候诊区及楼梯间; 药库、档案室等敏感区域采用多台带红外补光的半球摄像机, 支持最低照度 0.01 Lux 环境下的清晰成像; 12 部电梯轿厢内安装广角摄像机, 垂直视角达 92° , 并配置电梯楼层叠加器实现位置联动显示。

(2) 传输层基于千兆以太网架构, 通过 24 台接入交换机实现前端设备组网, 主干链路采用 6 芯单模光纤冗余设计。网络划分 3 个独立 VLAN: 视频流传输 VLAN (带宽占比 60%)、报警信号传输 VLAN (带宽占比 30%)、设备管理 VLAN (带宽占比 10%), 避免数据拥塞。针对 MRI 室、DSA 手术室等强电磁干扰区域, 采用屏蔽双绞线 (STP) 与金属桥架组合布线, 确保信号衰减率 $\leq 15\text{dB}/100\text{m}$ 。

(3) 中心管理层配置 6 台 64 路 NVR 存储设备, 支持 H.265 编码格式, 视频存储周期为 30 天, 关键区域数据同步备份至异地机房。管理平台集成视频监控、入侵报警、门禁控制三大模块, 通过 ONVIF 协议实现跨系统指令解析, 报警联动响应时间 ≤ 2 秒。例如, 当门诊大厅紧急报警按钮触发时, 平台可自动调取半径 15 米内的 3 路摄像机画面, 并联动广播系统播放疏散语音提示^[5]。

3.1.2 设备部署与功能实现

(1) 重点区域监控策略

①出入口管控: 在楼宇 6 个主要出入口部署人脸识别速通门, 集成 200 万像素宽动态摄像机, 支持逆光环境下的人脸比对精度 $\geq 98\%$ 。比对数据通过医疗专网传输至公安系统, 日均处理人流量达 3000 人次。

②停车场管理: 地下车库设置 32 台车牌识别摄像机, 配合 8 台超声波车位探测器, 实现车位占用状态实时更新。系统可将空闲车位信息推送至导诊屏, 减少患者寻位时间。

③医疗禁区防护: 新生儿病房周界安装 12 对主动红外对射探测器, 报警信号与视频监控联动, 确保报警事件录像完整性。

(2) 特殊场景适应性设计

①手术室无影灯干扰抑制: 在 8 间数字化手术室顶部安装低照度半球摄像机, 采用双滤光片自动切换技术, 有效消除无影灯频闪导致的图像条纹干扰。

②候诊区隐私保护: 儿科候诊区摄像机启用隐私遮蔽功能, 对患儿面部进行马赛克处理, 原始数据加密存储于独立服务器。

(3) 供电与运维保障

前端设备采用 POE 供电 (IEEE 802.3af 标准), 配置 6 台 600W PoE 交换机, 单端口最大功率 15.4W。中心机房配备 2 台 10kVA UPS, 断电续航时间 ≥ 4 小时。运维管理平台设置设备离线报警阈值 (30 分钟), 自动生成巡检工单推送至后勤人员移动终端。

3.2 智能通讯系统具体设计

在案例工程中,智能通讯系统承担着医疗信息传输、患者服务引导及应急指挥调度等核心功能,需满足高可靠性、低时延及声学隐蔽性要求。设计围绕“分区组网、分级管控、声场均衡”三大目标展开,采用常规技术实现语音、数据、视频信号的稳定传输。本节从通信网络架构设计与声学系统优化实施两个维度进行阐述,与第一章提出的声学干扰控制、多系统联动需求形成技术呼应。

3.2.1 通信网络架构设计

(1) 综合布线系统。采用“主干万兆+接入千兆”的双层拓扑结构,主干链路部署4条12芯OM3多模光纤,支持10GBase-SR传输标准,确保核心机房至各弱电间带宽冗余度 $\geq 40\%$ 。水平子系统选用CAT6非屏蔽双绞线,门诊区每15 m^2 设置2个信息点(1语音+1数据),科研实验室每工位配置4个全千兆端口。针对MRI室、CT室等强电磁干扰区域,采用F/UTP屏蔽线缆配合金属导管敷设,屏蔽效能 $\geq 60\text{dB}$ (30MHz-1GHz)。

为保障系统扩展性,设置6个主配线架(IDF)与1个总配线架(MDF),采用模块化跳接设计,支持后期30%以上端口扩容需求。语音系统独立配置110型配线架,与数据系统物理隔离,避免脉冲干扰导致通话质量下降。

(2) 无线网络覆盖。部署312台双频无线AP(支持802.11ac协议),采用蜂窝式布局实现全院区无缝漫游。门诊大厅等开放区域使用高密度AP(单台带机量 ≥ 80),安装高度4.5m,水平覆盖半径15m;病房区采用面板式AP,每病房安装1台,发射功率调整至12dBm,确保信号强度 $\geq -65\text{dBm}$ 。为满足医疗设备联网需求,划分3个独立SSID:医疗设备专网(WPA2-Enterprise加密)、访客网络(Captive Portal认证)、后勤物联网(MAC地址绑定)。

(3) 专网通信系统。

①电梯五方通话:采用总线制模拟对讲系统,控制中心配置32路数字录音主机,轿厢紧急呼叫按钮响应时间 ≤ 1 秒,语音传输清晰度MOS值 ≥ 3.8 。

②婴儿防盗系统:在产科病区部署125kHz低频激发器,婴儿电子腕带定位精度 $\pm 1.5\text{m}$,与视频监控联动,异常离区报警延迟 ≤ 3 秒。

③淋浴计费系统:安装86台IC卡控水终端,支持离线扣费模式,数据每日同步至后勤管理系统,误差率 $< 0.1\%$ 。

3.2.2 声学系统优化实施

(1) 公共广播系统。采用100V定压式传输方案,全院区划分32个广播分区,配置16台功放模块(总功率9600W)。扬声器选型遵循“功能适配”原则:

①门诊大厅安装40W壁挂音柱(频率响应150Hz-15kHz),间距8m,声压级 $75\text{dB} \pm 3\text{dB}$;

②病房走廊使用6W吸顶扬声器,安装间距6m,夜间模式自动降低至55dB;

③消防应急广播具备最高优先级,紧急状态下可在3

秒内覆盖全院区,语音清晰度STI值 ≥ 0.6 。系统支持与门禁联动,当手术室门禁异常开启时,自动触发定向语音警告。

(3) 排队叫号与信息发布。

①分诊叫号系统:在48个诊室部署21.5英寸液晶屏,与HIS系统数据对接,支持语音播报(MP3编码,码率128kbps)与屏幕显示同步更新,患者等待时间预测误差 < 5 分钟。

②信息发布系统:大厅主屏采用55英寸LED拼接屏(3 \times 4布局),内容管理系统支持分时段策略,早高峰时段自动推送挂号指引视频(H.264编码,1080p@30fps)。

(3) 会议系统声学控制。

①学术报告厅采用“前区集中+后区补声”布局,主扩声系统配置2组12英寸线阵音箱(灵敏度96dB),辅助系统选用8英寸同轴吸顶扬声器。为消除回声干扰,设置4台反馈抑制器(陷波深度-30dB),配置8支UHF无线话筒(478MHz-786MHz),接收机采用分集接收技术,确保移动演讲时断频率 $< 0.1\%$ 。

②墙面采用穿孔吸音板(NRC ≥ 0.8)与扩散体交错布置,使500Hz混响时间控制在1.2秒 ± 0.1 秒。控制室配置数字调音台(16路输入),支持预设场景一键切换,模式转换时间 ≤ 2 秒。

4 结语

综上所述,在复旦大学附属中山医院医疗科研综合楼弱电工程项目中,弱电智能化系统的主要设计目标是,设计出安全、高效、稳定的监控和通讯系统,重点解决多系统联动控制、声学隐蔽化部署等技术难题。针对设备联动需求,采用标准化协议集成方案,通过万兆光纤主干网络连接视频监控、门禁管理、能耗监测等子系统,在中心机房部署统一管理平台,实现跨系统平台分发指令的目标。针对声学系统隐蔽性要求,实施分区声压控制策略,选用定压式吸顶扬声器配合阻抗匹配器,在门诊区采用分散式布局确保声场均匀度,在会议室采用暗装式结构实现设备隐形化安装。总体来说,各个智能化弱电子系统均可以协同运行,满足医疗建筑功能性与可靠性要求。未来,可以进一步探索医疗弱电系统标准化模块的功能性,深度提升同类项目的实施效率与兼容性。

参考文献

- [1] 王成立.某综合医院弱电智能化系统的设计与实现[J].电信快报,2024,(09):45-48.
- [2] 张新鹏.智能化弱电系统在潍坊市某医院建筑中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2023,(05):136-138.
- [3] 杜万里.口腔专科医院电气设计与应用[J].现代建筑电气,2022,13(10):36-43.
- [4] 乔海.智能化弱电系统在智慧医院建筑中的应用[J].长江信息通信,2022,35(08):79-81.
- [5] 范克州.智能建筑智能化系统施工存在的问题及改进措施[J].住宅与房地产,2021,(19):151-152.