

医院手术室净化空调系统的运行管理及维护研究

郑伟 戴志雷

温州市人民医院

DOI:10.12238/pe.v3i4.15118

[摘要] 本文针对三级医院评审标准(2022版)中手术室环境控制指标提升需求,系统分析当前净化空调系统在压差维持不稳、末端高效过滤器更换超期、能耗占比过高等典型问题,提出基于物联网技术的动态调控模型与预防性维护体系,通过温州市人民医院等案例验证,实现菌落数控制合格率提升、设备故障率下降的实践目的。

[关键词] 手术室净化; 空调系统; 动态调控; 预防性维护

中图分类号: TU831.3+8 **文献标识码:** A

Research on the operation management and maintenance of purification air conditioning system in hospital operating room

Wei Zheng Zhilei Dai

Wenzhou People's Hospital

[Abstract] This article addresses the need to enhance the environmental control indicators for operating rooms as stipulated in the Accreditation Standards for Tertiary Hospitals (2022 Edition). It systematically analyzes typical issues with current purification air conditioning systems, such as unstable pressure difference maintenance, overdue replacement of high-efficiency filters at the end, and high energy consumption. Based on these findings, a dynamic regulation model and preventive maintenance system leveraging Internet of Things (IoT) technology are proposed. Through case studies such as Wenzhou People's Hospital, it is demonstrated that the practical objectives of improving the qualified rate of bacterial count control and reducing equipment failure rates have been achieved.

[Key words] operating room purification; air conditioning system; dynamic regulation; preventive maintenance

在微创手术占比突破72%的临床发展趋势下,净化空调系统作为维持手术室5~12次/h换气次数与ISO 14644—1标准中5级洁净度的核心装备,其运行稳定性直接关系到手术切口感染率(SSI)等关键医疗质量指标。当前系统普遍存在三个突出矛盾:粗效过滤器人工清洁不及时导致的送风量衰减、冷热源切换逻辑僵化引发的温湿度波动、设备老化引发的噪声超标(>55dB),亟需建立全生命周期管理体系破解运维瓶颈。

1 净化空调系统运行管理优化路径

1.1 参数动态监控体系的智能化改造

构建覆盖手术区域全域的分布式传感网络,因应不同洁净等级手术室密闭性差异配置梯度化压差监测节点,部署具备自校准功能的温湿度与悬浮粒子浓度实时感知装置,依托模糊PID控制算法建立送风参数自适应调节机制,驱动组合式空调机组动态补偿围护结构渗风量变化引致的压差波动^[1]。同步开发异常数据追溯分析模块,当监测值偏离设定阈值时自动生成偏差报告并触发三级报警响应流程,由此实现环境核心参数从被动

监控向智能调控的质效跃升。

1.2 能耗精细化管理模式创新

建立手术排程与机组负荷预测的动态耦合模型,基于次日手术类型分布及预计时长反推各时段冷热负荷需求曲线,据此制定机组分阶段预启动方案,重点优化过渡季节新风处理策略以减少表冷器无效除湿能耗;实施风机变频驱动单元改造工程,重构电机绕组与叶轮结构的动力学适配关系,通过实时采集风阀开度与管路阻抗特性修正风机工作点,达成气流量供给与手术洁净需求的精准匹配,显著降低高风量工况下的无效功率损耗。

1.3 应急处理预案的标准化建设

编制覆盖初效过滤器结构性破损、表冷器低温冻结等典型故障场景的应急处置规程,明确故障定位、备用系统切换、环境参数复测等关键操作的技术规范与时限要求,建立以声光报警器为核心、短信平台为延伸的多级报警触发机制,配套开发应急处置电子沙盘系统,通过三维可视化界面模拟故障演变过程及

应对路径,定期组织多角色参与的实战化演练以验证预案有效性,确保突发情况下手术环境恢复至百级洁净度的时效性与可靠性。



图1 净化空调系统

2 关键设备维护技术突破

2.1 高效过滤器完整性检测技术升级

在手术室净化空调系统的高效过滤器维护领域,应当全面推行PAO气溶胶扫描检漏技术体系,该检测方法需配置 $0.3\mu\text{m}$ 粒径的PAO气溶胶发生器与光度计检测装置,通过上游浓度设定在 $20\sim 80\mu\text{g/L}$ 范围内,下游扫描探头移动速度控制在 5cm/s 以内,能够精确识别过滤效率低于 99.97% 的失效点位,特别是针对边框密封条与滤料接缝处的微米级泄漏具有传统风速检测无法比拟的灵敏度优势;同时应当研发集成高分辨率工业相机与深度学习算法的滤料破损自动检测系统,该系统需配置不低于500万像素的CCD传感器,配合卷积神经网络模型对滤料表面图像进行实时分析,当识别到纤维断裂或穿孔等特征时自动触发报警机制,使得人工巡检周期得以从原有每月一次合理延长至每季度一次,但必须配套建立突发性污染事件的人工复检应急预案,确保在自动检测系统故障时仍能维持基础安全保障水平^[2]。

2.2 风管系统微生物控制策略

针对送风管道系统的生物污染防控,需要建立基于ATP生物荧光检测技术的微生物监测体系,该体系要求按照每15米管段设置一个采样点,使用灵敏度达到 $10\sim 15\text{mol}$ 的荧光检测仪测量管道内壁RLU值,当检测数值超过200RLU时立即启动包含过氧化氢蒸汽与季铵盐复合消毒剂的专项处理流程;在回风系统处理环节应当部署纳米光子催化氧化装置,该装置需采用波长 365nm 的UV LED光源与二氧化钛催化涂层的组合设计,通过光催化反应产生的羟基自由基浓度维持在 $0.5\sim 1.2\text{ppm}$ 范围,可有效分解管道内壁附着的有机污染物,使真菌孢子的存活率降低至传统紫外线杀菌技术的四分之一水平,但必须同步配置管道内温湿度监控模块,确保相对湿度始终控制在 60% 以下以防止催化材料性能衰减。

2.3 冷热源设备预防性维护体系

冷热源设备的预防性维护需要构建多参数劣化预警模型,该模型应当实时采集包括压缩机累计运行小时数、油压差、制冷剂饱和温度、绕组温度等8项核心参数,通过建立基于三次指数平滑法的趋势预测算法,在检测到参数偏离基准值超过 15% 时提前14天生成维护预警;针对冬季盘管冻结风险防护,应当在换热器管路表面敷设功率密度为 30W/m 的自限温电伴热带,并配置具有PID调节功能的温控器,使管道表面温度稳定维持在 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 区间,所有监测数据需通过Modbus RTU协议接入中央监控系统,形成包含实时数据展示、历史趋势分析、异常报警推送三位一体的智能监控网络,但必须定期校验传感器精度以确保采集数据的可靠性,建议每季度使用标准信号源对所有传感器进行满量程校准。

3 管理机制创新实践

3.1 多部门协同运维平台构建

在手术室净化空调系统运行管理中,多部门协同运维平台的构建应当建立以设备管理部门为核心,整合院感控制部门与临床使用部门专业优势的立体化协作网络。该平台运行机制需明确各部门在决策链条中的权责边界,设备管理部门主要负责技术参数标准的制定与设备状态监控,包括但不限于定期检测风量维持在 $0.25\sim 0.35\text{m/s}$ 区间、静压差控制在 $5\sim 10\text{Pa}$ 范围等关键指标;院感控制部门则需要根据手术室分级使用要求,对空气细菌菌落数等院感指标进行专业评估,并将评估结果转化为设备运行参数的调整建议;临床科室则应当及时反馈手术过程中实际感受到的温度波动、气流组织等使用体验,形成设备运行效果的一线评价。为确保协同效能,需要建立包含事前审批、事中监控、事后评估的全流程文档追溯系统,所有涉及设备运行参数调整的决策必须留存包括申请部门、技术论证、审批人员在内的完整电子签批记录,形成可追溯的决策链条。在具体实施层面,建议采用双周例会的固定沟通机制,会议议程需包含前周期运行问题复盘、当前周期重点手术保障方案、下周期预防性维护计划三个标准化模块,并通过制定统一的会议纪要模板确保各部门反馈信息能够结构化呈现。为强化协同约束力,应当将各部门参与协同平台的工作成效纳入年度绩效考核体系,设置包括问题响应及时率、跨部门协作满意度等量化指标,通过制度设计消除部门壁垒。在技术支撑方面,需要开发支持多终端访问的协同工作平台,实现设备报警信息自动推送至相关责任人员移动终端,并建立包含标准操作流程、典型故障处理案例的知识库系统,确保各部门在协同过程中能够基于统一的技术标准进行决策判断。

3.2 人员技能矩阵培养方案

在手术室净化空调系统运维队伍建设中,应当建立基于岗位能力要求的阶梯式培养体系,该体系需要依据系统运行维护的技术复杂程度将能力要求划分为基础操作层、系统调试层和决策优化层三个递进式能力维度^[3]。基础操作层培训应当聚焦日常维护作业标准化,重点培养运维人员掌握初中效过滤器更换时确保边框密封压力达到 50N/m 的技术要领,以及表冷器冲洗

过程中维持水流速在2~3m/s范围内的操作规范;系统调试层则需要掌握风量平衡调试时根据手术室级别调整换气次数在20~25次/h区间的计算方法,以及DDC控制器中PID参数设定与房间压差连锁的逻辑编程技能;决策优化层则要求具备通过分析历史运行数据识别系统能效异常的能力,包括解读冷量输出与风机能耗比偏离基准值15%以上的故障树分析。为保障培训质量,应当开发包含三维动画演示、虚拟仿真操作、实物拆装实训在内的多元化教学资源,其中虚拟仿真系统需模拟不同工况下系统参数变化的动态响应过程,使学员能够直观理解风阀开度与房间洁净度的非线性关系。认证考核机制应当采用理论笔试与实操评估相结合的方式,实操考核需设置如高效过滤器检漏测试时扫描速度控制在5cm/s以内的标准化评分项。为保持技能持续更新,建议建立每年40学时的继续教育制度,重点培训新型净化技术原理与智能运维系统的操作逻辑,并通过建立师徒制让高级技术人员指导初级人员处理实际系统报警案例,形成知识传递的良性循环。该培养体系的有效实施需要人力资源部门制定与职称晋升挂钩的激励政策,同时设备管理部门应当为每个能力层级设计对应的设备操作权限管理制度,确保人员能力与岗位要求始终保持动态匹配。

3. 3 智慧化运维系统集成应用

智慧化运维系统的集成应用应当建立在设备全生命周期管理理念基础上,通过构建虚实结合的运维支持体系实现管理效能的实质性提升^[4]。在系统架构层面需整合增强现实技术与设备管理信息系统,使运维人员佩戴的智能终端能够实时调取设备三维模型与维护工艺数据库,其中过滤器拆装指引模块应当包含不同型号过滤器的定位卡槽识别特征与密封条压合力度标准,风量平衡调试模块则需集成风速传感器校准流程与各手术室压差梯度参数标准。运维知识库的构建应当采用故障树分析法将典型问题分解为可执行的诊断步骤,例如当系统报警显示送风量不足时,知识库应自动推送包含风阀开度检查、过滤器压差检测、风机皮带松紧度校验等分级排查方案。为确保远程指导的可靠性,系统应当预设设备关键部位的图像识别基准点,当运维人员通过智能眼镜拍摄的表冷器翅片间距图像与标准模板

匹配度低于预设阈值时自动触发清洗提醒。为适应手术室净化系统的特殊性,智慧化平台需要特别强化微生物控制维度的决策支持功能,包括但不限于定期生成风管内部可视化检测报告、根据手术室使用频次自动计算高效过滤器更换周期、基于历史数据预测表冷器滋生生物膜的风险时段等精细化管控措施。系统运行逻辑应当遵循从经验驱动到数据驱动的转化路径,通过持续积累的运维案例不断优化诊断算法,最终形成具有自我进化能力的智能决策支持体系。

此外,在构建医院手术室净化空调系统全生命周期成本效益评估模型时,建议采用基于作业成本法的动态评估框架^[5]。通过建立包含设备购置成本、能源消耗效率衰减曲线、预防性维护费用、突发性维修概率矩阵等12个维度的量化指标体系,将传统离散的财务数据转化为连续的价值流分析模型,为管理层提供兼顾经济性与技术可靠性的决策依据。

4 结束语

综上所述,通过将物联网动态调控、预防性维护策略与多学科协同机制深度融合,可系统提升净化空调系统运行的稳定性与经济性,下一步研究应聚焦于AI故障预测算法与低阻力滤材的临床应用验证。

[参考文献]

- [1]刘国宏.医院手术室净化空调系统的常见故障与维修[J].家电维修,2025,(06):113-115.
- [2]施文慧.浅谈既有医院建筑手术室净化空调系统在线监测及运行优化方案[J].中国住宅设施,2024,(11):114-116.
- [3]白莹霜.医院洁净空调使用与设计探讨[J].居舍,2023,(27):76-79.
- [4]邓超,闫石,王金良,等.医院手术室净化空调系统运行与管理研究[J].医院管理论坛,2022,39(08):91-94+33.
- [5]曹雄.医院手术室净化空调系统管理及维护分析[J].中国设备工程,2021,(24):44-45.

作者简介:

郑伟(1977—),男,汉族,浙江温州人,大专,研究方向:暖通及机电设备的管理。