·医学工程·

医疗设备数字化预防性维护系统构建与应用效果评价

孙建章* 高海峰 崔毅 李忠

（天津中医药大学第一附属医院，中医国家临床医学研究中心，天津 300193）

【摘要】 目的 构建采用“感知层—平台层—交互层”3层架构，集成多传感器监测、长短期记忆神经网络（long short-term memory networks, LSTM）预测、云端管理的数字化预防性维护系统，评估其在医疗设备全生命周期管理中的应用效果，为优化医疗设备预测性维护提供数据支撑。**方法** 于2024年1月—12月，选取3省6家二级及以上医院影像科、检验科、急诊科的关键设备共436台，采用区组随机化法分为试验组与对照组，每组各218台。试验组部署含振动、温度、电流传感器的数字化维护系统，结合云端平台与LSTM算法实施维护；对照组采用传统人工巡检维护。对比两组设备故障率、平均故障修复时间（mean time to repair, MTTR）、维护成本及系统预警性能等指标。**结果** 纳入设备涵盖X光机、超声诊断仪、全自动生化分析仪、呼吸机、监护仪5类，使用年限2～5年，两组基线资料可比。试验组设备故障率为0.030 2%，低于对照组的0.050 2%，差异有统计学意义（$\chi^2=10.32$，$P<0.05$）；试验组的MTTR为（12.34 ± 5.21）h，显著低于对照组的（24.56 ± 8.54）h，差异具有统计学意义（$t=10.28$，$P<0.001$）；试验组总维护成本为789 500元，低于对照组的1 056 800元；系统整体预警准确率达90.00%，故障提前预警率为88.89%。**结论** 数字化预防性维护系统可降低设备故障率与维护成本，缩短修复时间，建议医疗机构推广应用并持续优化系统性能。

【关键词】 医疗设备；全生命周期；预防性维护；数字化系统；长短期记忆神经网络

【中图分类号】 R197.39 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.11876/mimt202601005

Construction and evaluation of digital preventive maintenance system for medical devices

Sun Jianzhang, Gao Haifeng, Cui Yi, Li Zhong*

(First Teaching Hospital of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, National Clinical Research Center for Chinese Medicine, Tianjin 300193, China)

【Abstract】 Objective To construct a digital preventive maintenance system with a three-layer architecture of “perception layer-platform layer-interaction layer”, integrating multi-sensor real-time monitoring technology, LSTM neural network algorithm and cloud management, and to evaluate its application effect in the whole life cycle management of medical devices, so as to provide data support for optimizing medical equipment maintenance. **Methods** From January to December 2024, 436 critical devices from the imaging, laboratory, and emergency departments of six secondary and tertiary hospitals in three provinces were selected. Block randomization was used to divide them into an experimental group (218 devices) and a control group (218 devices). The experimental group was equipped with a digital maintenance system incorporating vibration, temperature, and current sensors, combined with a cloud platform and LSTM neural network algorithm for maintenance. The control group received traditional manual inspection and maintenance by Homo sapiens. Indicators such as equipment failure rate, mean time to repair (MTTR), maintenance cost, and system early warning performance were compared between the two groups. **Results** The included devices covered five categories: X-ray machines, ultrasound diagnostic instruments, fully automatic biochemical analyzers, ventilators, and monitors, with service durations of 2 ~ 5 years, and baseline characteristics were comparable between the two groups. The failure rate in the experimental group (0.030 2%) was lower than that in the control group (0.050 2%) ($\chi^2=10.32$, $P<0.05$). The mean time to repair (MTTR) was (12.34±5.21) hours

第一作者：孙建章，男，本科，助理工程师，研究方向：医疗设备管理

in the experimental group, shorter than the (24.56±8.54) hours in the control group (t=10.28, P<0.001). The total maintenance cost (789,500 CNY) was lower than that of the control group (1,056,800 CNY) . The system's early warning accuracy was 90.00%, and the rate of early fault prediction was 88.89%. **Conclusion** Digital preventive maintenance system can reduce device failure rates and maintenance costs while shortening repair time. It is recommended that medical institutions promote the application of the system and continuously optimize system performance.

【**Key words**】 Medical devices; Life cycle; Preventive maintenance; Digital system; Long short–term memory networks

医疗设备作为临床诊疗、急救支持的核心基础设施，其运行可靠性直接关系到医疗服务质量与患者生命安全[1]。预防性维护（preventive maintenance, PM）作为保障设备稳定运行的关键手段，是医疗设备管理体系的核心环节[2]。通过定期监测设备状态、提前排查潜在隐患，预防性维护可有效降低突发故障风险，避免因设备停机导致的诊疗延误[3]，同时可延长设备使用寿命、控制长期维护成本，对提升医疗服务连续性与经济性具有重要意义[4]。

当前我国医疗机构在医疗设备预防性维护方面仍面临一系列问题，例如：二级及以上医院医疗设备年均故障率达 4.2% ~ 6.8%[5]，其中 50%以上源于维护不及时或维护方式粗放[6]；传统维护模式以固定周期人工巡检为主，不仅效率低下，且难以捕捉设备运行中的动态异常，导致平均故障修复时间长达 20 ~ 30 h，年维护成本占设备总价值的 8% ~ 12%[7]；部分医院虽尝试引入数字化工具，但普遍存在数据孤岛、预警准确率不足、与临床管理系统协同不畅等问题[8]，未能形成系统化的预防性维护体系。这些问题既制约了医疗资源的高效利用，也与现代医疗高质量发展的要求存在差距。

近年来，国家高度重视医疗设备管理的数字化转型，为医疗设备预防性维护的创新发展提供了重要政策指引。在此背景下，预防性维护已从传统的“定期检修”向“精准预测”升级，其核心是通过数字化技术实现设备状态的实时感知、风险的提前预判与维护的个性化适配。梳理现有研究发现，相关探索多聚焦单一设备的维护技术或局部数字化模块[9]，缺乏多中心、大样本的系统性验证，且存在两大明显空白：一是未能形成“感知—分析—预警—执行”全链条的数字化预防性维护体系，技术应用碎片化；二是对预防性维护在医疗设备全生命周期管理中的实际效能评估不足，缺乏与传统维护模式的全面数据对比[10]。同时，现有研究多混淆“全生命周期管理”与“预防性维护”的核心边界[11]，未能围绕预防性维护的技术升级与优化实践展开深度探索。

鉴于此，本研究构建了采用“感知—平台—交互”3层架构，集成多传感器监测、长短期记忆神经网络（long short–term memory networks, LSTM）预测、云端管理的数字化预防性维护系统，旨在提升预警精准性与维护计划个性化，实现医疗设备全流程数字化闭环管理，通过多中心对照试验评估其在降低故障率、缩短修复时间、控制成本等方面的效果，以期推动医疗设备预防性维护从“经验”向“数据”转型。

1 数字化预防性维护系统建设

1.1 设计思路

基于医院医疗设备维护管理的核心需求，结合实时传感、云端分析与人工智能预警技术方向，明确系统设计目标：①解决传统维护模式中故障发现滞后、巡检效率低的问题，实现设备运行状态的实时监测与异常预警；②打破数据孤岛，实现与医院信息系统（hospital information system, HIS）的数据互通，为维护决策提供全面支撑；③通过智能化算法优化维护计划，降低维护成本、缩短故障修复时间；④建立全生命周期电子档案，实现维护过程的可追溯与可分析。系统设计遵循实用性、精准性、安全性与兼容性原则，确保适配不同类型医疗设备与医院现有管理体系，满足影像科、检验科、急诊科等多科室的差异化维护需求。

1.2 系统架构

系统采用“感知层—平台层—交互层”3层架构，各层功能独立且协同联动，实现从数据采集到决策执行的全流程数字化管理，系统架构如图 1 所示。

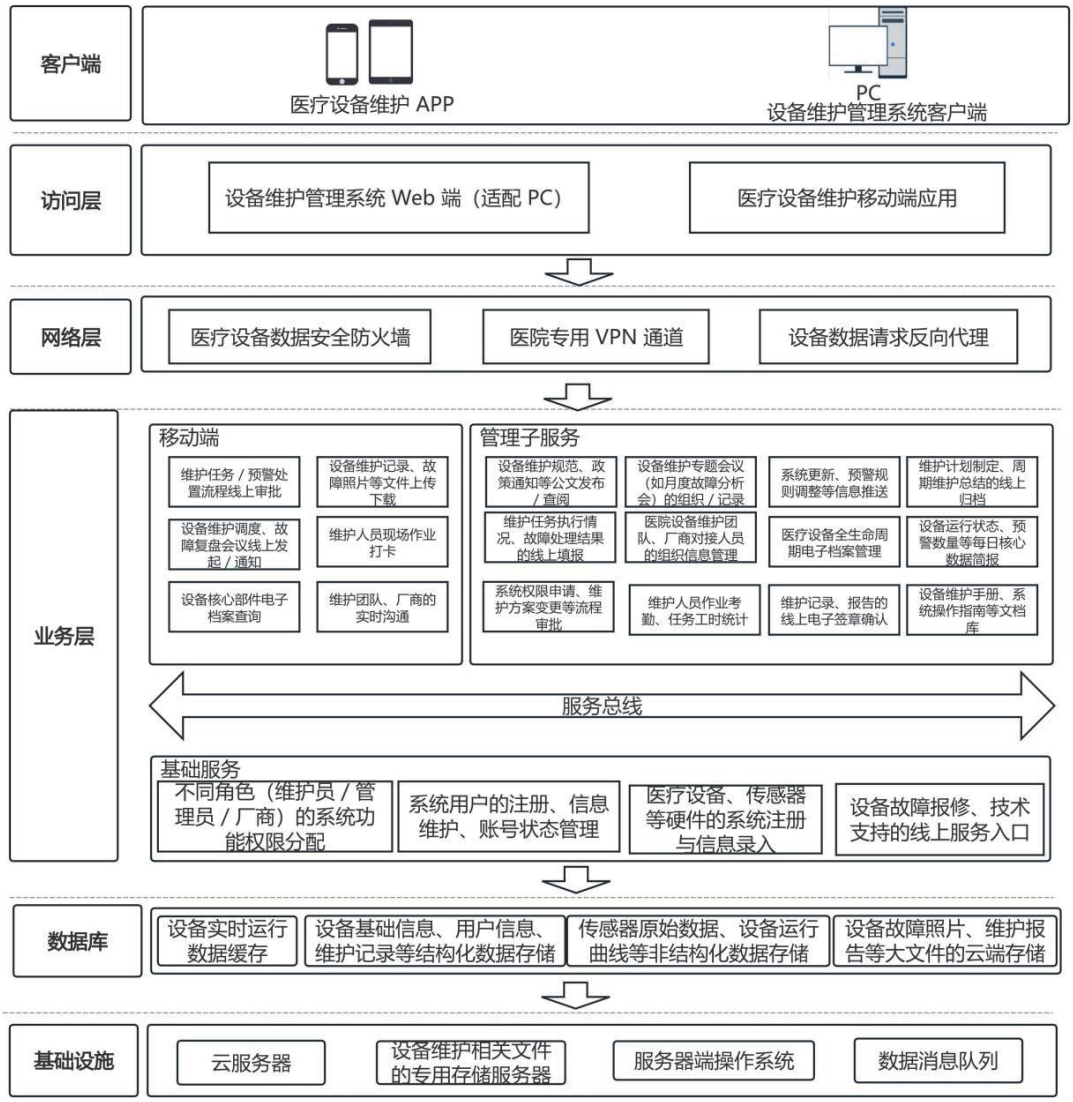


图 1 数字化预防性维护系统架构

1.2.1 感知层

作为数据采集核心，感知层部署振动、温度、电流3类高精度传感器，根据设备类型与运行特性精准适配安装，确保数据采集的针对性与准确性。

（1）振动传感器：测量范围0.1 ~ 10.0 kHz，基于压电效应捕捉机械振动信号，主要适配X光机、超声诊断仪等含旋转部件或机械传动结构的设备，用于监测球管旋转、探头振动等关键部位的磨损、松动情况，响应时间 <100 ms。

（2）温度传感器：精度 ± 0.2 ℃，采用热敏电阻与红外感应双模技术，重点安装于呼吸机、全自动生化分析仪等发热部件集中的设备，监测核心电路板、试剂仓、电机等部位温度，预防过载、散热不良导致的故障。

（3）电流传感器：测量范围0 ~ 50 A，依托电磁感应原理采集运行电流数据，适配监护仪、超声诊断仪等电气设备，通过电流波动分析电路老化、接触不良等潜在问题，响应时间同步 <100 ms。

传感器数据传输采用有线（固定设备）与5G+WiFi双模无线（移动设备）结合的方式，搭配AES–256加密技术，确保数据传输的安全性与完整性。

1.2.2 平台层

平台层为云端核心处理中心，支持每秒10万级数据并行处理，集成数据存储、数据分析、预警分级与维护计划4大模块。

（1）数据存储模块：采用Hadoop分布式存储架构，结合区块链加密技术，安全存储设备基础信息、实时运行数据、历史维护记录等全生命周期数据，支持多维度检索与追溯。

（2）数据分析模块：搭载SparkStreaming实时分析引擎，融合LSTM算法，通过学习设备运行数据的时间序列特征，建立设备健康状态模型，精准识别异常数据模式。

（3）预警分级模块：按异常程度划分3级预警标准，一级预警（紧急）指核心参数偏离阈值±10%以上，预示24 h内可能发生严重故障；二级预警（重要）指参数偏离阈值±5%～±10%，存在潜在故障风险，需48 h内处理；三级预警（一般）指参数偏离阈值±5%以内，提示设备状态异常但暂不影响运行，需72 h内核查。

（4）维护计划模块：基于设备运行状态、历史故障数据、使用频率等因素，通过加权算法制定动态维护方案，明确维护时间、内容、人员及所需耗材。

1.2.3 交互层

通过HL7 FHIR（Health Level Seven fast healthcare interoperability resources）与DICOM（digital imaging and communications in medicine）协议开发标准化接口，实现与医院HIS系统、设备厂商服务平台的双向数据同步。

（1）医院端交互：支持维护人员通过电脑客户端、移动应用程序查看设备实时状态、预警信息与维护计划，接收分级推送的预警通知。

（2）管理端交互：提供数据可视化大屏，动态展示全院设备健康指数、预警统计、维护进度等核心指标，每月自动生成图表化健康报告。

（3）厂商端交互：预留接口用于共享设备故障数据与维护需求，便于厂商提供精准技术支持与配件供应。

1.3 主要功能

1.3.1 实时监测功能

以秒级频率采集3类传感器数据，通过云端校验补全机制处理数据缺失问题，确保数据完整性。维护人员可通过交互端实时查看设备核心参数曲线，如呼吸机气道压力变化、超声诊断仪探头振动频率等，直观掌握设备运行状态，替代传统人工定期巡检的基础数据采集环节。

1.3.2 智能预警功能

LSTM神经网络模型针对不同设备预设差异化阈值，如全自动生化分析仪试剂仓温度阈值设定为4～8 ℃、监护仪心率监测电流波动阈值±3%。当数据偏离阈值时，系统会在10 min内通过移动应用程序推送、短信提醒、电话语音3种方式按预警等级推送信息，附带故障位置、可能原因及初步处理建议，如为一级预警可同步触发维护负责人电话通知，确保快速响应。

1.3.3 个性化维护计划功能

系统自动关联设备运行数据与历史维护记录，制定个性化的维护计划，例如，对使用频率高（日均运行超过8 h）的急诊科监护仪，缩短维护周期至3个月；对运行稳定、无历史故障的超声诊断仪，延长维护周期至9个月。维护计划明确标注重点检查项目，如针对振动传感器提示异常的X光机，优先安排球管与旋转部件检修，提升维护针对性。

1.3.4 全生命周期电子档案功能

电子档案采用区块链技术加密存储，档案内容涵盖设备基本信息（型号、注册证号、安装时间）、运行数据（传感器历史曲线、参数变化趋势）、维护记录（维护时间、人员、内容、费用）、故障历史（故障类型、处理过程、修复效果）等，每季度自动更新健康评级，支持按设备类型、使用年限、科室等维度进行统计分析，为设备更新换代提供数据支撑。

1.3.5 数据可视化与统计分析功能

在HIS系统嵌入可视化模块，支持实时查看单设备/多设备对比状态、预警趋势图、维护成本构成等；每月生成全院设备维护报告，包含故障率排名、高风险设备清单、维护成本分析等内容，为管理决策提供依据。

1.4 实施流程

设置1年的实施周期，分为3个阶段。①部署阶段（第1个月）：完成传感器安装调试（72 h连续测试校准）、HIS系统接口开发与权限配置，针对不同人员开展差异化培训，维护人员需通过理论与实操双考核（合格线80分）方可上岗。②运行监测阶段（第2～11个月）：系统7×24 h常态化运行，预警信息48 h内分级处置，每季度进行系统维护优化，每月生成健康报告并召开管理会议。③效果评估阶段（第12个月）：通过系统导出与人工补充结合的方式收集两组设备的运行、故障、维护、预警数据，对比核心指标差异以评估系统效果。

2 系统应用效果

2.1 一般资料

本研究为多中心研究，以3省6家二级及以上医院作为研究对象，涵盖综合医院、专科医院，于2024年1月—12月选取每家医院影像科、检验科、急诊科的关键设备共计436台。采用区组随机化法对设备进行分组，运用随机数生成算法，将436台设备分别归入试验组与对照组，每组各218台。区组随机化法有效避免了选择偏倚，使两组在设备初始状态、使用频率等方面具有高度可比性，保证了研究结果的可靠性。

纳入标准：①投入使用2～5年的X光机、超声诊断仪、全自动生化分析仪、呼吸机、监护仪，均通过国家医疗设备注册认证；②近3个月未发生维修费用＞设备原值10%的重大故障，日常维护记录完整；③具备基础网络环境（带宽≥100 Mbps），配备2名以上专职设备维护人员。

排除标准：①临近报废（剩余使用寿命<1年）的设备或厂家保修期内的新设备；②缺乏通用维护标准的定制化特殊设备（如术中放疗设备）；③所在科室研究期间存在重大装修、搬迁计划；④已接入其他数字化管理系统的设备。

2.2 设备维护方法

2.2.1 对照组

对照组实施传统预防性维护，严格按照厂家指南每6个月进行一次人工巡检。巡检时，维护人员依据既定检查清单，对设备的外观完整性、机械部件灵活性、电气连接稳定性等进行全面检查。例如，在检查X光机时，需查看球管外观有无破损、阳极旋转是否正常、高压电缆连接是否牢固等；对于全自动生化分析仪，需检查试剂针、样本针的吸样准确性，反应杯的清洁度等。每次巡检后，维护人员将检查结果详细记录在纸质表单上，包括设备各项参数、发现的异常情况以及处理措施。

2.2.2 试验组

试验组所采用的数字化预防性维护系统，以“实时感知—智能分析—精准处置”为核心逻辑实现全流程升级：通过多类型传感器同步采集设备运行数据，经加密传输后由云端平台结合LSTM算法构建健康状态模型，以3级预警机制区分故障风险等级并推送对应处置建议，同时基于设备状态动态生成个性化维护计划；在管理端，系统以可视化大屏整合全院设备数据并自动生成报告，还可与医院HIS系统、厂商平台互通数据。相较于传统人工巡检的固定周期、经验判断模式，该系统实现了状态监测的实时化、故障预警的精准化、维护计划的动态化，既解决了人工模式下隐患发现滞后、资源配置粗放的问题，也通过数据互通打通了“医院—维护—厂商”的协同链路，大幅提升了维护管理的效率与针对性。

2.3 观察指标

为全面评估数字化预防性维护系统应用效果，本研究设置了4个观察指标，从设备运行状态、维修效率、维护成本以及故障预测能力等维度定量分析数字化预防性维护系统的应用效果。①设备故障率定义为设备故障次数与设备运行总时长的比值，通过统计每组设备在研究期间的故障发生次数，除以设备累计运行时长，可直观反映设备的可靠性。②平均故障修复时间（mean time to repair, MTTR）指设备发生故障后从故障报告到恢复正常运行所需的平均时间，记录每次故障的报修时间、维修开始时间与维修完成时间，计算其差值并求平均值，衡量维修效率。③维护成本涵盖人工费用、维修材料费用、设备折旧等，统计每次维护活动产生的各项费用，累加得到总维护成本，评估维护经济性。④预警准确率为准确预警次数与总预警次数的比值，统计系统预警准确率和故障提前预警率，判断预警的可靠性。

2.4 统计学方法

采用EpiData 3.1软件进行数据录入，由2名录入人员分别独立录入数据，录入完成后进行逻辑核查，确保数据一致性与准确性，将错误率控制在0.5%以内。使用SPSS 26.0与R 4.2.0软件进行数据统计分析。设备故障率、预警准确率等计数资料以n（%）表示，组间比较采用χ^2检验。MTTR等符合正态分布的计量资料以$\bar{x} \pm s$表示，组间比较采用独立样本t检验。以P<0.05为差异具有统计学意义。

2.5 应用效果评价

2.5.1 两组设备故障率比较

在研究期间，对两组设备的故障发生情况进行统计。对照组共记录到设备故障105次，设备运行总时长为209 280 h，经计算，故障率为0.050 2%。试

验组发生故障63次，设备运行总时长为208 800 h，故障率为0.030 2%。两组设备故障率比较，差异具有统计学意义（$P<0.05$）。见表1。

表1 两组设备故障率对比

组别	故障次数	运行总时长（h）	故障率（%）
对照组	105	209 280	0.050 2
试验组	63	208 800	0.030 2
χ^2值			10.32
P值			<0.05

2.5.2 两组MTTR比较

试验组的MTTR为（12.34 ± 5.21）h，显著低于对照组的（24.56 ± 8.54）h，差异具有统计学意义（$P<0.001$）。见表2。

表2 两组MTTR对比（h，$\bar{x} \pm s$）

组别	台数	MTTR
对照组	218	24.56 ± 8.54
试验组	218	12.34 ± 5.21
t值		10.28
P值		<0.001

注：MTTR为平均故障修复时间。

2.5.3 两组维护成本比较

试验组总维护成本为789 500元，低于对照组的1 056 800元，其中，人力成本降低幅度最为明显。见表3。

表3 两组设备维护成本对比（元）

组别	人力成本	维修材料成本	其他成本	总成本
对照组	456 000	523 800	77 000	1 056 800
试验组	234 000	456 000	99 500	789 500

2.5.4 系统预警准确率和故障提前预警率分析

数字化预防性维护系统整体预警准确率达90.00%，故障提前预警率88.89%。误预警可能源于环境干扰、传感器精度及算法局限，后续可通过优化传感器选型与算法模型提升预警性能。

3 讨论

本研究聚焦医疗设备预防性维护的数字化升级，构建了集成“感知层—平台层—交互层”3层架构的数字化系统。该系统通过振动、温度、电流3类传感器实现设备运行状态的实时采集，依托云端平台的LSTM算法建立健康状态模型，以3级预警机制区分故障风险等级并推送处置建议，同时可动态生成个性化维护计划，还能通过标准化接口与医院HIS系统、设备厂商平台实现数据互通，最终形成“实时监测—智能预警—精准维护—协同管理”的全流程闭环。这一系统的构建，既响应了国家推进医疗设备数字化管理的政策导向，也为破解传统维护模式的痛点[12-13]提供了技术方案，对提升医疗设备维护的效率、降低运行成本具有重要的实践意义。

本研究发现，相较于传统预防性维护模式，数字化预防性维护系统在降低设备故障率、缩短MTTR、控制维护成本等方面具有显著优势，与相关研究[11]结果一致，且该系统能够有效填补当前医疗设备全生命周期管理体系中维护环节精细化的缺口，为全周期管理框架的落地提供关键技术支撑。从设备故障率来看，试验组故障率显著低于对照组，差异具有统计学意义（$P<0.05$），这与数字化维护系统的实时监测和智能预警功能密切相关。王一凡[2]研究中提到数字化技术在医疗设备管理中可通过实时数据监测提升管理效率。本研究中的数字化维护系统通过传感器实时采集设备运行数据，利用AI算法对数据进行深度分析，能够提前发现设备潜在故障隐患，并及时发出预警，维护人员可根据预警信息进行预防性维护，有效避免了部分故障的发生。而传统维护方式每6个月人工巡检一次，难以捕捉到设备在两次巡检之间出现的细微异常变化，导致一些潜在故障未能及时发现与处理，最终发展为实际故障，增加了设备故障率。这也正是造成当前医疗设备全生命周期管理中维护模块响应滞后、被动应对的主要问题[14]。试验组MTTR明显短于对照组，差异具有统计学意义（$P<0.001$），体现了数字化维护系统在提升维修效率方面的优势。数字化维护系统可实时推送故障预警信息，并提供维护建议，让维护人员能够快速响应并精准维修。这与王哲[3]研究中提及的数字化医疗设备维护管理可优化维修流程、缩短维修时间相一致，说明数字化技术能有效减少设备停机时间，保障医院诊疗工作的顺利进行，同时也为医疗设备全生命周期质量管理中“保障设备持续稳定运行”的核心目标提供了实践路径[15]。

在维护成本上，试验组总维护成本低于对照组。其中人力成本大幅降低，分析原因是数字化维护系统减少了人工巡检次数和数据处理工作量。虽然维修材料成本和其他成本差异不大，但整体成本因人力成本的下降而降低，这与梁栋[4]研究中数字化管理可降低医疗设备维护成本的结论一致，表明数字化维护系统具有良好的经济性[16]。试验组预警系统整体预警准确率达90.00%，故障提前预警率88.89%。较高的预警准确率为预防性维护提供了可靠依据，使维护工作更具针对性。不过，仍存在10.00%的误预警，嵇进康等[5]研究中提出，通过优化传感器选型与算法模型来提升预警性能，从而进一步提高系统的可靠性，符合当前手术器械等医疗设备全生命周期管理中“以技术升级解决维护痛点”的优化方向[10]。

本研究当前主要通过布置外置传感器获取设备运行与预警信息，虽实现了基础监测功能，但存在一定局限性。未来可进一步探索通过设备自身接口及其协议直接获取设备运行状态信息，该方式无需额外安装外置传感器，可减少传感器部署成本与环境干扰影响，同时能获取设备内部更核心、更精准的运行参数（如设备核心部件的工作电压、内部温湿度、运行负荷等）。目前主流医疗设备多配备标准通信接口（如HL7 FHIR、DICOM等协议接口），通过接口开发与协议解析，可实现设备运行数据的直接采集与实时传输，结合LSTM算法构建更精准的故障预测模型，进一步提升维护的智能化水平。此外，设备自身接口数据与外置传感器数据的融合分析，能形成多维度、全方位的设备状态监测体系，为预防性维护提供更全面的数据支撑，而卫生技术评估作为医疗设备全生命周期管理中的关键工具，可进一步用于该监测体系的效果验证与持续改进，推动其与国际先进维护管理标准接轨[13]；同时，该融合模式还可与医疗设备企业全生命周期管理战略形成协同，促进医院与设备厂商在维护数据共享、技术支持、全周期服务等方面的深度合作[12]，推动医疗设备维护从“外置监测”向“内生感知+协同管理”升级，这也是未来数字化预防性维护系统的重要发展方向。

综上所述，数字化预防性维护系统在医疗设备维护中具有显著优势，能有效降低设备故障率、缩短故障修复时间、节约维护成本，且预警准确率较高。未来，随着数字化技术的不断发展，可进一步完善该系统，加强其在医疗设备管理中的应用，为医院提供更高效、精准的设备维护解决方案，促进医疗服务质量和效率的提升。

[参 考 文 献]

[1] Pasta G, Frassanito L, Calabria M, et al. Personalized predictive hemodynamic management for major oncologic surgery: effect of progressive implementation of monitoring of digital medical devices with artificial intelligence–based algorithms [J]. Minerva Anestesiol, 2025, 91(7–8): 631–640.

[2] 王一凡. 数字化技术在医疗设备管理中的应用 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(8): 86–87.

[3] 王哲. 数字化医疗设备维护管理探究构建 [J]. 中国战略新兴产业, 2024(14): 181–183.

[4] 梁栋. 医疗设备数字化管理在设备管理工作中的应用研究 [J]. 中国设备工程, 2024(4): 76–78.

[5] 嵇进康, 陈文辉. 数字化影像医疗设备管理与维护措施分析 [J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(21): 251–253.

[6] 张行坤, 刘红光, 李伟凯. GE Discovery XR656 DR硬件概述及全景成像功能故障分析及排除 [J]. 中国医疗设备, 2019, 34(10): 189–192.

[7] 李涛. DR图像检测控制器电脑使用故障2例 [J]. 中国医疗设备, 2016, 31(9): 181, 184.

[8] 郑伟群. 锐珂DRX–NOVA X线机E301故障维修 [J]. 中国医疗设备, 2014, 29(7): 147–148.

[9] 苏辉强, 庄云龙, 陈向君, 等. 医院医疗设备设备全生命周期管理的优化策略 [J]. 中国医疗设备信息, 2025, 31(19): 152–155.

[10] 王红丹, 胡婧, 何潇潇, 等. 手术器械全生命周期管理现状及对策探讨 [J]. 中国医院建筑与装备, 2025, 26(8): 45–49.

[11] 杨盛林, 夏德习, 崔涛, 等. 医疗设备设备的全生命周期管理体系构建 [J]. 中国医疗设备信息, 2025, 31(15): 13–15, 25.

[12] 熊小龙. 医疗设备企业全生命周期管理战略研究 [C] // 郑州市社会学学会, 郑州大学社会工作系. 2025年社会学研讨会学科发展分论坛论文集（下册）. 郑州: 郑州市社会学学会, 2025: 63–64.

[13] 张晓路, 王耀羚, 高鑫, 等. 卫生技术评估在医疗设备全生命周期管理中的国际经验介绍 [J]. 中国医疗保险, 2025(6): 116–124.

[14] 刘炜, 何铁. 医疗设备的全生命周期管理问题探讨与优化对策研究 [J]. 中国设备工程, 2025(11): 100–102.

[15] 邵春霞, 孙浅男. 医疗设备全生命周期质量管理探讨 [J]. 质量与认证, 2025(5): 117–119.

[16] 沈球. 医疗设备生命周期管理与监督机制创新路径 [J]. 产品可靠性报告, 2025(3): 81–82.