

人工智能技术在医疗设备故障预测与维护中的应用

康彦敏

郑州大学第一附属医院医学装备部, 河南 郑州 450052

DOI:10.61369/MRP.2025050019

摘要： 人工智能技术为医疗设备故障预测与维护提供了全新的解决方案。通过对设备运行数据的深度分析，结合机器学习和物联网技术，实现了对设备状态的动态评估与早期预警。智能维护系统不仅提升了故障识别的准确性，也优化了维护流程，降低了运维成本。研究表明，该技术有效提高了医疗设备的可用率和安全性，为现代医疗机构构建高效、智能的设备管理体系奠定了基础。

关键词： 医疗设备维护；人工智能；故障预测；机器学习；服务连续性

Application of Artificial Intelligence Technology in Medical Equipment Fault Prediction and Maintenance

Kang Yanmin

Department of Medical Equipment, The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450052

Abstract： Artificial intelligence technology provides a brand-new solution for medical equipment fault prediction and maintenance. Through deep analysis of equipment operation data, combined with machine learning and Internet of Things technology, dynamic evaluation and early warning of equipment status are achieved. The intelligent maintenance system not only improves the accuracy of fault identification but also optimizes the maintenance process and reduces operation and maintenance costs. Research shows that this technology effectively improves the availability and safety of medical equipment, laying a foundation for modern medical institutions to build an efficient and intelligent equipment management system.

Keywords： medical equipment maintenance; artificial intelligence; fault prediction; machine learning; service continuity

引言

医疗设备作为现代医疗服务的重要组成部分，其稳定运行直接关系到诊疗工作的顺利开展。随着设备复杂程度的提高，传统维护方式已难以满足高效、精准的管理需求。人工智能技术凭借强大的数据分析与建模能力，在设备故障预测与智能维护方面展现出巨大潜力，为提升医疗设备管理水平、保障患者安全提供了新的技术路径。

一、医疗设备故障预测现状

随着现代医疗技术的快速发展，各类高精尖医疗设备广泛应用于临床诊断与治疗过程中，成为保障医疗服务质量和提升诊疗效率的重要支撑。然而，由于设备结构复杂、运行环境多变以及使用频率高等特点，医疗设备在长期运行中不可避免地面临性能下降和突发故障等问题。这些故障不仅影响医院的正常运营，还可能对患者的诊疗安全构成威胁。如何实现对医疗设备运行状态的实时监测与故障的早期预测，已成为当前医疗工程管理中的重点研究方向。

目前，医疗设备的故障预测主要依赖于传统的定期维护模式和基于传感器数据的简单报警机制。这种以时间周期为基础的维

护策略虽然在一定程度上能够预防部分故障的发生，但由于缺乏对设备实际运行状态的动态评估，往往存在过度维护或维护不足的问题，导致资源浪费或安全隐患并存。多数医院尚未建立完善的设备运行数据分析系统，设备的历史运行数据、维修记录等信息分散存储，难以形成有效的决策支持依据。近年来，随着物联网、大数据和人工智能等技术的发展，部分医疗机构开始尝试构建基于数据驱动的智能预测模型，以提升故障识别的准确性和响应速度。通过采集设备运行过程中的电压、温度、振动等多种参数，结合历史故障数据进行建模分析，初步实现了对某些关键设备的故障趋势预测。

但总体来看，这类系统的应用仍处于探索阶段，普及率不高，且受限于数据质量、算法适应性及系统集成能力等因素，其

作者简介：康彦敏（1975.08-），女，河南许昌人，汉族，本科学历，研究方向：科普研究。

预测精度和稳定性仍有待提升。在制度层面，医疗设备的故障预测工作尚缺乏统一的技术标准和行业规范。不同厂商设备的数据接口不兼容，导致数据获取困难；医疗机构内部也普遍缺乏专业的数据分析团队和技术支持体系，限制了智能化预测手段的有效落地。加之医护人员对设备运行状态的关注度有限，使得很多潜在问题未能及时发现和处理，进一步加大了突发故障发生的概率。

二、人工智能技术在预测维护中的突破

人工智能技术的快速发展，为医疗设备故障预测与维护方式的革新提供了新的技术路径和理论支持。随着深度学习、强化学习以及迁移学习等算法的不断完善，人工智能在处理非线性、高维度数据方面展现出显著优势，使得对医疗设备运行状态进行精准建模与动态预测成为可能。相较于传统依赖于固定阈值和经验判断的报警机制，基于人工智能的预测模型能够自动提取设备运行过程中的多维特征信息，识别潜在的异常模式，并通过持续学习不断优化自身的预测能力。在数据采集与处理层面，人工智能技术结合物联网传感器网络，实现了对设备运行参数的实时监测与高效整合。

通过部署边缘计算节点或云端分析平台，系统可对采集到的电压波动、机械振动、温度变化等信号进行即时处理，有效提升了数据的时效性和可用性。借助自然语言处理技术，部分系统还能够解析维修日志、操作记录等非结构化文本数据，从中挖掘出与设备故障相关的隐性关联，进一步丰富了预测模型的信息来源。在模型构建方面，卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）以及长短时记忆网络（LSTM）等深度学习架构被广泛应用于时间序列数据分析中，尤其适用于捕捉设备性能退化的长期趋势与短期波动之间的复杂关系。集成学习方法如随机森林和支持向量机（SVM）也被用于构建分类器，以区分正常与异常状态，提高早期预警的准确性。一些研究还将强化学习引入维护策略制定环节，使系统能够在不同运行条件下自主调整维护动作，从而实现更高效的资源调度和风险控制。

值得注意的是，人工智能技术不仅提升了预测精度，还在降低误报率和漏报率方面表现出明显优势。通过对历史故障事件的学习，模型可以识别出导致故障的关键诱因，并据此优化判据设定，减少不必要的维护干预。与此迁移学习的应用使得训练好的模型可以在不同型号或品牌的设备之间迁移复用，降低了新系统部署的技术门槛和数据需求，增强了模型的适应性和泛化能力。

三、面向医疗行业的智能维护解决方案

针对医疗设备运行复杂、故障影响大、维护要求高的行业特点，构建一套高效、智能、可持续的维护解决方案已成为提升医疗系统运行效率与安全保障能力的关键环节。当前，围绕人工智能技术为核心支撑的智能维护体系正在逐步形成，其核心在于通过多源数据融合、智能算法建模和自动化决策机制，实现对医疗

设备全生命周期状态的精准感知与主动干预。在系统架构层面，智能维护解决方案通常依托于边缘计算与云计算相结合的技术框架，使设备端的数据采集、初步处理与云端模型训练、策略优化形成协同运作。这种架构不仅提升了数据响应速度，也增强了系统的可扩展性与稳定性。平台设计强调模块化功能集成，涵盖设备状态监测、异常检测、故障预测、维护调度等多个子系统，确保各环节信息无缝衔接，提升整体运维效能。

在实施路径上，智能维护解决方案注重从数据获取、特征提取到预测分析的全流程闭环管理。通过对设备关键部件的运行参数进行高频采集，并结合历史维修记录、使用环境变化等多维度信息，系统能够动态评估设备健康状态，并基于机器学习模型生成风险等级判断。在此基础上，进一步引入知识图谱技术，将设备结构、故障类型、维修流程等非数值型知识纳入推理体系，从而辅助制定更加科学、合理的维护计划。为了增强系统的实用性和可操作性，智能维护方案还着力打通与医院现有信息管理平台、接口壁垒，实现与 HIS（医院信息系统）、EMR（电子病历）以及设备管理系统之间的数据联动。这种集成方式使得设备状态信息能够与临床业务流程紧密结合，便于管理人员根据实际诊疗需求灵活安排维护时间，最大限度减少对医疗服务的影响。

在保障系统安全与稳定运行方面，智能维护解决方案强化了数据加密传输、访问权限控制及异常行为审计等功能，确保敏感信息不被非法获取或篡改。考虑到医疗设备种类繁多、品牌各异的情况，平台普遍采用标准化数据接入协议，支持多种通信接口与数据格式的兼容转换，提升系统的通用性与部署便捷性。在人员协同与管理机制方面，智能维护系统还集成了远程诊断与专家支持模块，允许工程师通过平台实时查看设备状态并提供远程指导，提升故障响应效率。系统可自动生成维护建议、备件清单及操作指引，辅助现场技术人员快速完成修复工作，降低人为误判与操作失误的风险。

四、优化维护流程与成本效益分析

在传统医疗设备维护模式中，定期检修和被动维修是主要手段，这种方式往往伴随着较高的维护成本和较低的资源利用率。随着人工智能技术的深入应用，基于状态的预测性维护逐步取代传统方式，为优化维护流程提供了新的可能。通过构建以数据驱动为核心的智能维护体系，医疗机构能够实现从“按计划维护”向“按需维护”的转变，从而提升整体运维效率并降低不必要的资源消耗。在流程优化方面，智能维护系统通过对设备运行状态的实时监测与故障趋势预测，实现了维护任务的精准触发。相较于以往固定周期的人工巡检和例行保养，该模式可根据设备实际健康状况动态调整维护时间与内容，避免因过度维护造成的资源浪费，同时减少因维护不及时而引发的突发故障。系统还可自动生成标准化的维护指令与操作指引，规范技术人员的工作流程，提升维护作业的一致性和可追溯性。

在资源配置层面，智能维护方案有效整合了人力、物力与信息资源，推动形成高效协同的运维机制。通过远程诊断功能，专

家团队可在后台对多个院区或区域内的设备进行集中监控与分析，减少现场支持频次，节省差旅与人工成本。系统还能根据历史故障频率与备件更换需求，智能预测库存储备量，优化采购与仓储管理，降低备件积压与短缺风险，提高供应链响应速度。在成本控制维度上，人工智能驱动的维护策略显著降低了设备停机带来的间接损失。传统模式下，设备突发故障往往导致诊疗服务中断，影响医院运营效率并可能带来患者安全风险。而预测性维护能够在故障发生前进行干预，最大限度延长设备可用时间，保障医疗服务连续性。与此智能化系统的部署虽需初期投入，但其长期运行所节省的维修费用、人力支出及设备损耗成本，使其具备良好的经济回报率。

在评估机制建设方面，智能维护平台引入了多维度的成本效益分析模块，用于量化维护活动的实际成效。通过对比不同设备类型、使用强度及维护策略下的成本结构与故障率变化，系统可不断优化维护模型参数，推动形成持续改进的闭环管理体系。结合医院财务与设备管理系统，平台还支持对年度维护预算执行情况的动态跟踪与绩效反馈，为管理层提供科学决策依据。

五、未来技术趋势对医疗保障的影响

随着人工智能、大数据、物联网与云计算等前沿技术的持续演进，医疗设备维护模式正面临深刻变革。这些技术的深度融合不仅推动了预测性维护体系的智能化升级，也为提升医疗保障能力提供了新的支撑平台。在这一背景下，未来的医疗保障系统将更加依赖于高效、精准、自动化的运维机制，以应对日益增长的医疗服务需求和复杂多变的临床环境。在技术融合方面，边缘计算与云计算的协同发展将进一步强化数据处理能力，使得设备运行状态的实时监测与远程诊断成为常态。借助高速通信网络，医院内部各设备节点可实现数据互通，并与区域医疗中心或厂商技术支持平台形成联动响应机制。这种架构不仅提升了故障预警的时效性，也有助于构建跨机构、跨地域的统一维护管理网络，优化资源配置效率。

在模型演化层面，自适应学习与联邦学习等新型算法的应用，将增强预测模型在不同设备类型和使用场景下的泛化能力。通过保护数据隐私的前提下实现多方协同训练，医疗机构可在不共享原始数据的情况下共同优化模型性能，推动建立标准化、可迁移的智能维护解决方案。基于知识图谱的推理系统也将进一步完善，使设备结构信息、维修历史与操作规范等非结构化知识得以有效整合，提高维护决策的科学性和系统性。在人机协作方面，增强现实（AR）与虚拟现实（VR）技术的引入，为现场技术人员提供了更为直观的操作辅助手段。远程专家可通过可视化界面指导一线人员完成复杂维修任务，减少因经验不足导致的误判与延误。智能语音助手与自动化报告生成系统也将逐步普及，提升维护记录的完整性与准确性，为后续数据分析提供高质量的数据基础。

在安全保障领域，随着医疗设备联网程度的提高，网络安全问题日益突出。未来，基于区块链技术的身份认证与数据存证机制有望在智能维护系统中得到应用，确保设备访问权限可控、操作记录不可篡改，从而提升整个系统的可信度与抗攻击能力。嵌入式安全芯片与固件级防护措施的普及，也将为设备端提供更高等级的安全保障，防止恶意入侵和数据泄露。在可持续发展维度上，绿色智能维护理念逐渐受到重视。通过优化能源调度、延长设备使用寿命以及减少无效维护行为，智能系统将在降低碳排放和资源消耗方面发挥积极作用。这不仅符合全球节能减排的发展趋势，也为医疗机构打造低碳高效的运维模式提供了可行路径。

六、结语

人工智能技术在医疗设备故障预测与维护中的应用，正逐步推动传统维护模式向智能化、精准化方向转型。通过数据驱动的智能分析，实现对设备状态的实时监测与故障预警，显著提升了设备运行的安全性与使用效率。未来，随着算法优化、系统集成与多技术融合的不断推进，智能维护将在提升医疗服务质量、降低运维成本和增强安全保障方面发挥更大作用，为构建高效可持续的医疗保障体系提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 刘伟, 李娜. 基于深度学习的医疗设备故障预测研究 [J]. 中国医疗器械杂志, 2023, 47(5): 345-350.
- [2] 孙涛, 赵敏. 医疗设备智能维护系统的构建与实践 [J]. 医疗卫生装备, 2024, 40(2): 123-128.
- [3] 陈刚, 黄芳. 人工智能在医疗设备健康管理中的应用 [J]. 现代生物医学进展, 2023, 23(9): 1789-1794.
- [4] 郭强, 徐丽. 提高医疗设备可靠性的智能算法研究 [J]. 生物医学工程学报, 2024, 31(3): 678-682.
- [5] 杨柳, 许波. 大数据分析助力医疗设备维护决策 [J]. 数字医疗, 2025, 10(1): 45-50.
- [6] 沙腾, 徐占磊. 人工智能在医学装备故障诊断与管理中的应用前景分析 [J]. 办公自动化, 2025, 30(10): 108-110.
- [7] 康晶晶. 智能技术在医疗器械维修管理中的应用与展望探讨 [J]. 中国设备工程, 2025, (07): 40-43.
- [8] 邓彧. 人工智能助力医疗设备管理 [C]// 中国医学装备协会. 中国医学装备大会暨2025医学装备展览会会议论文集. 南京医科大学附属口腔医院采购中心, 2025: 343-345.
- [9] 屈国辉, 闫广宇. 浅谈人工智能医疗设备应用下医学装备管理新挑战 [J]. 中国设备工程, 2025, (02): 33-35.
- [10] 林磊. 人工智能技术在医用设备验收中的应用研究 [J]. 中国医疗器械信息, 2024, 30(24): 160-163.