·医学工程·

中医诊疗设备全生命周期质量管理模式的构建与应用研究

廖伟任* 张兴旺 滕艳红

（防城港市中医医院，防城港 538021）

【摘要】 目的 构建中医诊疗设备全生命周期质量管理模式，分别从设备管理效能维度与患者临床疗效维度评估其应用效果。**方法** 选取2024年1月至2025年6月某三级甲等中医医院理疗科在管的357台中医诊疗设备以及同期在本院接受中医理疗治疗的360例患者为研究对象。2024年1月—12月对该批357台设备实施传统设备管理模式，并纳入同期180例患者作为传统设备管理组；2025年1月—6月对同一批357台设备实施全生命周期质量管理模式，以信息化管理平台为核心枢纽、设备唯一性电子身份档案为数据主线，覆盖采购验收、使用监控、预防维护、故障响应及报废更新全流程，并纳入同期180例患者作为全生命周期质量管理组。比较两组设备月均故障率及完好率、设备闲置率及预防性维护执行率、不良事件发生率及故障维修平均响应时长以及患者临床疗效。**结果** 全生命周期质量管理组设备月均故障率（0.67%）、设备闲置率（0.56%）及不良事件发生率（0.56%）均低于传统设备管理组（2.35%、3.08%、2.80%）；故障维修平均响应时长[（2.00 ± 0.45）h]短于传统设备管理组[（6.48 ± 1.23）h]；完好率（96.64%）、预防性维护执行率（95.52%）高于传统设备管理组（85.15%、68.35%）；患者临床总有效率（93.33%）高于传统设备管理组（78.33%），各项差异均具有统计学意义（$P<0.05$）。**结论** 与传统管理模式相比，中医诊疗设备全生命周期质量管理模式可显著降低设备故障率与不良事件发生率，提升设备运行效能与患者临床总有效率。

【关键词】 中医诊疗设备；全生命周期；质量管理；设备管理；患者安全

【中图分类号】 R197.39 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.11876/mimt202603008

Construction and application of a whole life cycle quality management model for traditional Chinese medicine diagnosis and treatment equipment

Liao Weiren, Zhang Xingwang, Teng Yanhong*

(Fangchenggang Hospital of Traditional Chinese Medicine, Fangchenggang 538021, China)

【Abstract】 Objective To construct a full life cycle quality management model for traditional Chinese medicine (TCM) diagnostic and treatment equipment and evaluate its application effects. **Methods** A total of 357 TCM diagnostic and treatment equipment units under management and 360 patients receiving physiotherapy at a tertiary Class-A TCM hospital were selected as the research subjects. From January to December 2024, the traditional equipment management model was implemented for these 357 units , and 180 patients were included as the traditional equipment management group; from January to June 2025, the full life cycle quality management model was implemented for the same 357 units, with the information management platform as the core hub and the unique electronic identity file of the equipment as the data mainline, covering the entire process of procurement and acceptance, usage monitoring, preventive maintenance, fault response and scrap replacement, and 180 patients were included as the full life cycle quality management group. Monthly average failure rate, intact rate, idle rate, preventive maintenance execution rate, adverse event incidence, maintenance response time, and patient clinical efficacy were compared between the two groups. **Results** Compared with the traditional equipment management group (2.35%, 3.08%, 2.80%), the full life cycle quality management group showed

收稿日期：2026-04-27

第一作者：廖伟任，男，本科，工程师，研究方向：医疗设备与医用耗材全生命周期管理

significantly lower monthly average failure rate (0.67%), idle rate (0.56%), and adverse event incidence (0.56%); maintenance response time was shorter［（2.00±0.45）h *vs.*（6.48±1.23）h］; intact rate (96.64% *vs.* 85.15%) and preventive maintenance execution rate (95.52% *vs.* 68.35%) were markedly higher; and the total clinical effective rate (93.33% *vs.* 78.33%) was significantly improved. All differences were statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** Compared with the traditional management model, the full life cycle quality management model for TCM diagnostic and treatment equipment significantly reduces equipment failure rates and adverse event incidence, enhances operational efficiency and patient clinical outcomes, and demonstrates considerable value for broader implementation.

【Key words】 TCM diagnostic and treatment equipment; Full life cycle; Quality management; Equipment management; Patient safety

中医诊疗设备是中医临床工作的重要物质支撑，场效应治疗仪、低频电子脉冲治疗仪、电脑中频治疗仪、电子针疗仪等广泛应用于针灸、推拿、物理治疗等诊疗环节，对中医临床疗效的发挥具有不可替代的作用[1]。随着医药卫生体制改革的不断深化，各级中医医院在用设备数量快速增长、品类日益多样，传统以被动处理故障为核心的管理模式已难以适应现代医院精细化管理需要，设备高故障率、闲置浪费及不良事件偶发等问题在临床实践中较为突出[2]。全生命周期质量管理理念起源于工业制造领域，强调从产品采购至退役全过程的系统性质量管控，近年来逐步延伸至医疗器械管理，显示出积极的应用前景[3]。中医诊疗设备因品类繁多、专业性强、使用环境复杂等特点，推进其全生命周期质量管理具有迫切的现实意义[4]。本研究以某三级甲等中医医院357台在用中医诊疗设备为研究对象，系统构建全生命周期质量管理模式，旨在探索提升中医诊疗设备管理质量与临床应用效能的有效路径。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为前后对照研究，选取2024年1月至2025年6月某三级甲等中医医院理疗科在管的357台中医诊疗设备以及同期在本院接受中医理疗治疗的360例患者为研究对象，按管理模式分为传统设备管理组和全生命周期质量管理组。传统设备管理组纳入2024年1月—12月接受治疗的180例患者，其中，男性96例（53.33%），女性84例（46.67%）；年龄38～72岁，平均年龄（52.34±8.76）岁；病程1～15年，平均病程（5.67±2.13）年。全生命周期质量管理组纳入2025年1月—6月接受治疗的180例患者，其中，男性99例（55.00%），女性81例（45.00%）；年龄36～74岁，平均年龄（51.89±9.12）岁；病程1～16年，平均病程（5.83±2.08）年。两组患者性别、年龄、病程等基线资料比较，差异无统计学意义（$P>0.05$），具有可比性。

纳入标准：①年龄18～80岁，性别不限；②经明确中医诊断，需借助中医诊疗设备辅助治疗；③意识清晰，依从性良好，能配合完成全程治疗；④病历资料完整，无中途退出情况。

排除标准：①合并严重心、肝、肾等重要脏器器质性功能不全者；②体内植有心脏起搏器或金属内固定物者；③存在皮肤破损、局部感觉障碍等理疗禁忌证者；④因自愿退出或失访致资料缺失者。

两组纳入的设备系同一批357台中医诊疗设备，涵盖场效应治疗仪、低频电子脉冲治疗仪、电脑中频治疗仪、电子针疗仪、红外线治疗仪、腰椎牵引床、下肢关节康复器等多个品类，两组设备仅所处时间阶段与管理模式不同，品类及构成完全一致。

1.2 方法

1.2.1 传统设备管理组

传统设备管理组实施传统设备管理模式，以台账登记为基础，设备到院后建档存档，定期开展年度性维护保养，出现故障后由科室提交维修申请，设备管理部门安排维修，缺乏系统化预防维护与动态过程监控机制。

1.2.2 全生命周期质量管理组

全生命周期质量管理组构建并实施以信息化管

理平台为核心枢纽、覆盖设备在院全程的系统性质量管控模式，见图 1。该模式以设备唯一性电子身份档案为数据主线，将采购验收、使用监控、预防维护、故障响应及报废更新各环节统一纳入信息架构，形成数据互通、流程联动的闭环管控体系，具体措施如下。

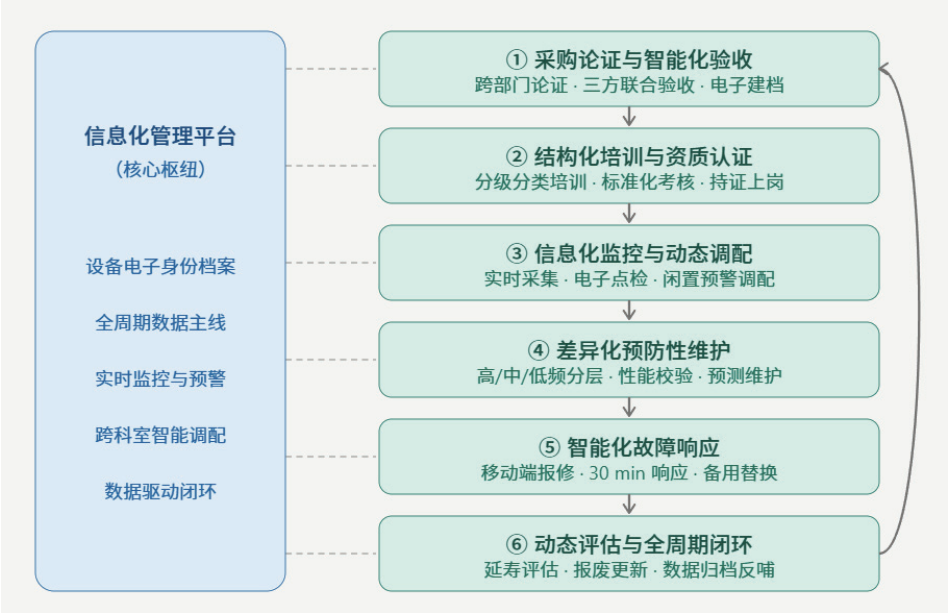


图 1 中医诊疗设备全生命周期质量管理体系框架

（1）采购论证与智能化验收阶段。建立基于多维度评估模型的采购论证机制，由设备管理部门、临床科室及医院感染管理专职人员组成跨部门论证小组，依托历史设备性能数据库，对候选设备的技术参数、生产企业资质、注册证有效性及全生命周期维护成本进行综合量化评分，输出采购决策支持报告，从源头实现设备质量准入的数据化管控。设备到院后启动三方联合验收流程，工程师、临床科室负责人及厂家技术人员协同逐台开机测试，测试结果实时录入信息化管理平台，系统自动比对技术参数基准值并标记异常项，全程留存电子验收档案；同步为每台设备生成包含设备型号、序列号、性能基线参数、质保期限及维护责任人的唯一性电子身份档案，作为全周期数据追溯的起始节点。

（2）结构化培训与操作资质认证阶段。构建分级分类培训体系，依据设备操作难度与临床风险等级，将培训内容划分为通用模块（设备基本操作规程、日常点检方法、禁忌证识别）与专项模块（高风险设备异常应急处置、复杂参数调节场景模拟）。采用“理论授课＋实操演练＋情景模拟考核”三阶段递进式培训路径，针对场效应治疗仪、电脑中频治疗仪等对输出参数精度要求较高的设备，增设“标准化患者模拟考核”环节，重点评估操作人员在患者出现异常反应时的设备中止与应急处置能力。

（3）信息化全程监控与动态资源调配阶段。依托信息化管理平台建立设备运行状态实时采集机制，整合设备开机时长、使用频次、输出参数波动及操作人员记录等多维数据流，构建设备运行健康度动态评估模型。制定标准化日常点检制度，操作人员每日依据平台推送的电子点检清单逐项核查设备状态，点检结果实时上传，异常项触发系统自动预警并推送至工程师端，杜绝设备带病运行。平台内嵌闲置预警算法，当设备连续闲置时长超出阈值时，系统自动生成跨科室调配建议单，经管理人员一键审批后触发资源重新配置流程，实现设备使用效能的动态最优化。设备信息化管理平台的技术架构见图 2。

（4）差异化预防性维护与预测性维护阶段。基于设备使用强度与历史故障数据，将全院设备划分为高频、中频、低频 3 个维护层级，构建差异化预防性维护计划矩阵：①场效应治疗仪、电脑中频治



图 2 设备信息化管理平台的技术架构

疗仪等高频设备每月执行性能校验，重点检测输出功率稳定性与波形精度；②电子针疗仪、红外线治疗仪等中频设备每季度检测电极接触性能与参数偏差；③腰椎牵引床、下肢关节康复器等大型设备每半年全面检修机械传动部件与安全限位装置。

（5）智能化故障响应与应急保障阶段。建立基于移动端的线上快速报修通道，操作人员可通过平台实时提交结构化报修工单，包含设备编号、故障现象描述及患者影响程度评估等信息，系统依据故障信息自动匹配在班工程师并推送工单，工程师须于接单后 30 min内响应到场。到场后执行故障快速评估分级：简单故障现场排除并实时录入处置记录；涉及核心部件损坏的复杂故障即时启动厂家协同维修流程，同步调取备用设备替换方案，保障临床诊疗连续性。平台自动记录故障现象、原因分析、处置措施及配件更换信息，形成结构化维修档案。

（6）动态评估与全周期闭环管理阶段。建立基于多维度指标的设备生命周期动态评估模型，综合设备使用年限、累计维修次数、单次维修费用占比及当前性能偏离基线程度，系统定期输出设备延寿可行性与更新必要性评估报告，辅助管理人员科学研判报废更新时机，避免凭经验主观判断造成决策偏差。报废设备经审批后由平台自动同步注销操作，完成固定资产账务变更与电子档案归档，整个生命周期的全部数据留存于系统，为同类设备的采购论证与维护策略优化提供历史数据参照，真正实现设备全周期数据驱动的闭环管理。

1.3 观察指标

（1）设备月均故障率及完好率：统计两组设备月均故障台次与完好台数。月均故障率 =（月均故障台次/该组设备总台数）× 100%；完好率 =（完好设备台数/该组设备总台数）× 100%，完好设备是指经检测功能正常、各项性能参数符合基线要求、可正常投入临床使用的设备。

（2）设备闲置率及预防性维护执行率：闲置率 =（闲置设备台数/该组设备总台数）× 100%，闲置设备是指连续闲置时长超过设定阈值且无临床使用记录的设备；预防性维护执行率 =（实际完成的预防性维护任务次数/同期计划应执行的预防性维护任务总次数）× 100%。

（3）不良事件发生率及故障维修平均响应时长：统计两组因设备原因引发的不良事件次数并计算发生率，记录每次故障发生时从报修提交到工程师到场评估的时间间隔，统计故障维修平均响应时长。

（4）患者临床疗效：本研究参照《中医病证诊断疗效标准》[5]，将疗效分为显效、有效、无效

3个等级。①显效：症状与体征明显改善，主要功能基本恢复，但未完全达到治愈标准；②有效：症状与体征有所改善，功能部分恢复；③无效：症状与体征无改善甚至加重。总有效率=（显效例数+有效例数）/总例数×100%。《中医病证诊断疗效标准》中部分病证设有“治愈”等级，但本研究纳入对象以慢性病程为主，6个月观察期内症状完全消失者极少，故未单独设置“治愈”等级，仅设显效、有效、无效3个疗效评定等级，以契合研究对象临床实际并保证数据分布合理。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0统计软件处理数据，计量资料以（$\bar{x} \pm s$）表示，采用t检验；计数资料以［n（%）］表示，采用χ^2检验。以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组设备月均故障率及完好率比较

全生命周期质量管理组设备月均故障率低于传统设备管理组，设备完好率高于传统设备管理组，差异均有统计学意义（P<0.05）。见表1。

表1 两组设备月均故障率及完好率比较［n（%）］

组别	台数	月均故障率	完好率
传统设备管理组	357	8.39（2.35）	304（85.15）
全生命周期质量管理组	357	2.39（0.67）	345（96.64）
χ^2值		28.46	26.78
P值		<0.001	<0.001

2.2 两组设备闲置率及预防性维护执行率比较

全生命周期质量管理组设备闲置率低于传统设备管理组，预防性维护执行率高于传统设备管理组，差异均有统计学意义（P<0.05）。见表2。

表2 两组设备闲置率及预防性维护执行率比较［n（%）］

组别	台数	闲置率	预防性维护执行率
传统设备管理组	357	11（3.08）	244（68.35）
全生命周期质量管理组	357	2（0.56）	341（95.52）
χ^2值		32.15	45.23
P值		<0.001	<0.001

2.3 两组不良事件发生率及故障维修平均响应时长比较

全生命周期质量管理组不良事件发生率低于传统设备管理组，故障维修平均响应时长短于传统设备管理组，差异均有统计学意义（P<0.05）。见表3。

表3 两组不良事件发生率及故障维修平均响应时长比较

组别	台数	不良事件发生率［n（%）］	故障维修平均响应时长（h，$\bar{x} \pm s$）
传统设备管理组	357	10（2.80）	6.48 ± 1.23
全生命周期质量管理组	357	2（0.56）	2.00 ± 0.45
χ^2/t值		25.64[a]	12.35[b]
P值		<0.001	<0.001

注：[a]为χ^2值；[b]为t值。

2.4 两组患者临床疗效比较

全生命周期质量管理组患者临床总有效率高于传统设备管理组，差异有统计学意义（P<0.05）。见表4。值得注意的是，“有效”等级的组间比较差异无统计学意义（P=0.726），这一结果提示两组中处于“有效”等级的患者构成比相近（42.22% *vs.* 40.56%），其原因在于全生命周期质量管理组有更多患者由“有效”进一步跃升至“显效”等级（52.78% *vs.* 36.11%），而非“有效”患者绝对数量的增加，反映出该管理模式对提升患者疗效等级的实质性促进作用。

表4 两组患者临床疗效比较［n（%）］

组别	例数	显效	有效	无效	总有效率
传统设备管理组	180	65（36.11）	76（42.22）	39（21.67）	141（78.33）
全生命周期质量管理组	180	95（52.78）	73（40.56）	12（6.67）	168（93.33）
χ^2值		12.46	0.12	18.23	15.68
P值		<0.001	0.726	<0.001	<0.001

3 讨论

中医诊疗设备广泛服务于疼痛缓解、经络疏通与功能康复等诊疗场景，其稳定运行是临床治疗方案顺利执行的重要保障。本研究所涉场效应治疗仪通过电场效应改善局部组织微循环，低频电子脉冲治疗仪借助生物电刺激发挥止痛与神经调节作用，

电脑中频治疗仪通过特定频率电流促进炎性物质吸收，各类设备协同支撑中医理疗方案的全程实施。然而，传统管理模式下设备故障率偏高、闲置资源浪费及不良事件偶发问题较为突出，不仅影响设备使用效能，亦对患者诊疗连续性与安全性构成潜在威胁，亟需引入系统化管理模式加以应对[6]。鉴于此，本院自2025年1月起针对理疗科在管的中医诊疗设备构建并实施以信息化平台为核心枢纽、覆盖采购验收至报废更新全流程的全生命周期质量管理模式，以期系统提升设备管理质量与临床应用效能。

本研究结果显示，全生命周期质量管理组月均故障率与完好率分别为0.67%和96.64%，较传统设备管理组的2.35%和85.15%显著改善。全生命周期管理通过采购论证与三方联合验收机制从源头管控设备质量，减少了先天性缺陷引发的早期故障；差异化预防性维护计划的推行使设备潜在问题得以提前干预，从根本上改变了传统“故障后处理”的被动模式；设备信息化管理平台实现了运行状态的实时监控，为异常情况的早期识别与快速响应提供了技术支撑[7-8]。上述多环节协同干预共同构筑了设备故障防控的系统性屏障，是完好率显著提升的核心驱动因素。全生命周期质量管理组设备闲置率与预防性维护执行率分别为0.56%和95.52%，较传统设备管理组的3.08%和68.35%明显改善，这与闲置预警机制和信息化管理平台的深度应用密切相关。动态追踪设备使用状态的预警机制有效触发了跨科室调配流程，打破了资源配置的科室壁垒，避免了设备长期滞留于低需求科室的问题；同时，系统化维护计划的嵌入推动了操作人员维护行为的规范化，预防性维护执行依从性得到制度性保障[9]。从设备管理体系架构视角分析，全生命周期质量管理模式的核心优势在于打破了传统管理模式中采购、使用与维护各环节相互割裂的局面，以设备全周期数据链为纽带，将信息流、管理流与实物流有机整合，形成覆盖设备在院全程的闭环管控体系。设备信息化管理平台在其中发挥了关键枢纽作用，实时汇聚设备运行数据、维护记录及故障档案，不仅为管理决策提供了可量化的数据依据，亦使潜在问题的早期识别与跨部门协同响应成为可能，从根本上提升了管理的主动性与系统性[10-11]。

在安全管理层面，全生命周期质量管理组不良事件发生率为0.56%，故障维修平均响应时长为（2.00 ± 0.45）h，均低于或短于传统设备管理组［2.80%、（6.48 ± 1.23）h］。系统性上岗培训强化了操作人员对设备禁忌证的识别能力及异常情况的应急处置水平，从人员因素层面降低了不良事件发生风险[8]；快速报修通道与备用设备启用机制显著压缩了故障响应等待时间，减少了因设备停用导致临床治疗中断的情况，为患者诊疗安全提供了有力保障[12]。就患者临床疗效而言，全生命周期质量管理组总有效率为93.33%，高于传统设备管理组的78.33%。从潜在作用路径分析，设备故障率的下降减少了治疗中途中断的情况，有助于保障治疗疗程的完整性；推测设备输出参数稳定性亦可能有所改善，从而有助于电场效应、电刺激等物理因子在靶区更为持续地发挥作用，但本研究未对输出参数稳定性进行直接测量，亦未建立参数稳定性与疗效的剂量-效应关系，上述机制推测有待后续研究进一步验证；不良事件发生率的降低则减少了因设备原因导致治疗被迫停止或更换方案的情形，客观上为临床疗效的发挥提供了更稳定的条件[13]。上述因素共同构成了设备管理质量改善与患者临床获益之间可能的逻辑关联[14]。

本研究仍存在一定局限性，对结论的解读需保持审慎。①研究设计层面：本研究为前后对照设计，传统设备管理组（2024年1月—12月）与全生命周期质量管理组（2025年1月—6月）并非同期进行，治疗师经验自然积累、患者病种构成及疾病严重程度的时间性变化均可能作为混杂因素独立影响疗效结局，观察到的疗效差异尚不能完全归因于管理模式的改变，其独立贡献仍需设计更严格的随机对照或同期平行对照研究加以验证。②推广性层面：本研究为单中心研究，研究结果是否适用于不同规模、不同地区的中医医疗机构，尚需多中心数据加以验证，外推性有一定局限。③经济可行性层面：全生命周期质量管理模式的实施依赖信息化平台的建设与维护投入，本研究未进行系统性成本-效益分析，该模式在不同资源条件下的经济可行性有待评估。④观察时间层面：本研究干预观察期最

长为6个月，设备寿命延长效果、长期不良事件发生率等远期指标尚无法评估，未来需开展更长周期的追踪研究以验证该模式的持续效益[15]。

综上所述，与传统管理模式相比，中医诊疗设备全生命周期质量管理模式通过覆盖采购验收、日常监控、预防维护及报废更新的全流程系统性管控，有效降低了设备故障率、闲置率及不良事件发生率，同时提高了设备完好率、预防性维护执行率及患者临床总有效率，设备运行效能得到改善。未来可进一步探索人工智能预测性维护技术与设备信息化管理平台的深度融合，推动中医诊疗设备管理向智能化、精准化方向持续发展。

利益冲突：作者声明没有利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] 张广华. 医院医疗设备全生命周期信息化管理的常见问题与改进对策[J]. 中国新通信, 2024, 26(7): 37–39, 42.

[2] 周俏俏, 路婧. 基于UDI的物联网技术在医疗器械全生命周期信息化管理的应用现状[J]. 中国医疗设备, 2024, 39(6): 161–167.

[3] 程静. 基于全生命周期管理理念的医疗设备信息管理系统[J]. 中国医疗器械杂志, 2024, 48(3): 319–322, 338.

[4] 张洁, 郭冠南, 朱水成, 等. 基于DIKW模型的医院大型医疗设备全生命周期管理智慧决策路径研究[J]. 中国医学装备, 2025, 22(12): 103–108.

[5] 《中医病证诊断疗效标准》[J]. 湖北中医杂志, 2002(2): 57.

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

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

[8] 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.

[9] 刘剑龙. 基于信息化管理系统的医疗设备全生命周期管理研究[J]. 中国医疗器械信息, 2025, 31(9): 153–155.

[10] 林董怡, 金宁茹. 关于公立医院医疗设备全生命周期管理的研究[J]. 中国设备工程, 2025(7): 140–142.

[11] 汤国平, 周庆利. 基于预算的医疗设备全生命周期质量管理[J]. 现代医院管理, 2023, 21(4): 100–103.

[12] 卢倩, 杨国平, 钟靓. 提高医疗设备使用效益和成本管控水平的探索：基于设备全生命周期管理理论[J]. 现代医院, 2023, 23(7): 1082–1085.

[13] 吴平凤, 姚辉, 林建勋, 等. 智慧医院医疗设备全生命周期管理系统构建与评价研究[J]. 中国医学装备, 2023, 20(6): 149–155.

[14] 王月波, 周鹰, 王卓, 等. 医院资源规划系统在医疗设备全生命周期信息化管理中的效果分析[J]. 中国医学装备, 2023, 20(5): 153–158.

[15] 伍兴思. PDCA循环在医疗设备全生命周期管理中的应用价值[J]. 中国设备工程, 2023(2): 38–40.

（上接第17页）

Theory and Techniques, 2024, 72(10): 5734–5744.

[8] Takemoto R, Cha J, Jeong I, et al. Effectiveness and characteristics of virtual antennas in the multiple signal classification algorithm[J]. Electronics, 2025, 14(1): 73.

[9] Yago Ruiz Á, Cavagnaro M, Crocco L. An effective framework for deep–learning–enhanced quantitative microwave imaging and its potential for medical applications[J]. Sensors, 2023, 23(2): 643.

[10] Hu X, Xu F, Guo Y, et al. MDLI–Net: model–driven learning imaging network for high–resolution microwave imaging with large rotating angle and sparse sampling[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2021, 60: 5212617.

[11] Guo L, Khosravi–Farsani M, Stancombe A, et al. Adaptive clustering distorted born iterative method for microwave brain tomography with stroke detection and classification[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2022, 69(4): 1512–1523.

[12] Park W K. MUSIC algorithm for imaging small anomaly from scattering parameter: real–data experiments[C]//2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS–Toyama). Piscataway: IEEE, 2018: 2362–2364.

[13] Tobon Vasquez J A, Scapaticci R, Turvani G, et al. A prototype microwave system for 3D brain stroke imaging[J]. Sensors, 2020, 20(9): 2607.

[14] Rodriguez–Duarte D O, Tobon Vasquez J A, Scapaticci R, et al. Experimental validation of a microwave system for brain stroke 3–D imaging[J]. Diagnostics, 2021, 11(7): 1232.

[15] Zhang Z, Liu H, Li F, et al. Interpolation–weighted TSVD for sparse array microwave tomography[J]. Electronics, 2026, 15(6): 1212.

[16] Lu P, Kosmas P. Three–dimensional microwave head imaging with GPU–based FDTD and the DBIM method[J]. Sensors, 2022, 22(7): 2691.

[17] Ni S, Zhang Z, Li R, et al. Investigation of the dielectric properties for brain and blood phantoms[C]//2025 10th International Conference on Computer and Communication System (ICCCS). Piscataway: IEEE, 2025: 372–376.

[18] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600–612.