

智能老年照护中的技术信任与系统可靠性： 电磁干扰治理的社会技术视角

万顺兴

贵州大学大数据与信息工程学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2026年3月6日; 录用日期: 2026年4月30日; 发布日期: 2026年5月13日

摘要

在全球与我国老龄化进程加速背景下,老年人口规模扩张与照护需求结构性变化,使照护体系在连续性、可及性与个性化支持方面承受更大压力。智能老年照护系统通过物联网与人工智能提升连续监测与远程协同能力,但居家与机构环境的设备密集部署易引发电磁兼容(EMC)问题与室内多径条件下链路波动,导致传感数据异常与告警可靠性下降,并可能通过风险感知与使用负担影响老年人的技术接受、持续使用与生活质量获益。导电聚合物及其复合材料因轻量、柔性及电磁参数可设计等特性,为智慧养老场景下“抑干扰-保链路-增舒适”的协同优化提供材料路径,其屏蔽贡献通常由反射、吸收与材料内部多次散射共同构成。本文以远程医疗、智能家居监护与可穿戴监测为典型场景,构建“问题-场景-机理-效果”的分析框架,从材料层、系统层与用户层组织证据,并引入技术接受、风险社会、信任与社会技术系统等理论解释“舒适-信任-依从-生活质量”的作用链条。在此基础上,针对长期稳定性、成本与标准化测评不足等问题提出面向真实照护场景的工程化与评价建议,为生活质量导向的智能养老研究提供参考。

关键词

老龄化, 电磁屏蔽, 智能老年照护系统, 生活质量

Technical Trust and System Reliability in Intelligent Elderly Care: A Sociotechnical Perspective on Electromagnetic Interference Governance

Shunxing Wan

College of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: March 6, 2026; accepted: April 30, 2026; published: May 13, 2026

文章引用: 万顺兴. 智能老年照护中的技术信任与系统可靠性: 电磁干扰治理的社会技术视角[J]. 老龄化研究, 2026, 13(5): 22-28. DOI: 10.12677/ar.2026.135221

Abstract

Against the backdrop of accelerated population ageing globally and in China, the expanding older population and structural shifts in care needs place increasing pressure on care systems in continuity, accessibility, and personalization. Intelligent elderly care systems enabled by IoT and AI improve continuous monitoring and remote coordination; however, high-density device deployment in home and institutional settings can introduce electromagnetic compatibility (EMC) issues and link fluctuations under indoor multipath conditions, leading to sensor-data anomalies and reduced alarm reliability. These issues may further affect technology acceptance, continued use, and quality-of-life gains through older adults' risk perception and perceived burden. Conductive polymers and their composites, featuring low weight, flexibility, and tunable electromagnetic parameters, offer a materials pathway for "interference suppression-link preservation-comfort enhancement", with shielding typically arising from reflection, absorption, and multiple internal scattering. This paper develops a "problem-scenario-mechanism-effect" framework across telemedicine, smart home monitoring, and wearable sensing, organizing evidence at material, system, and user levels, and introducing theories of technology acceptance, risk society, trust, and sociotechnical systems to explain the pathway from comfort and trust to adherence and quality of life. Recommendations are provided to address long-term stability, cost, and insufficient standardized evaluation in real care settings.

Keywords

Aging, Electromagnetic Shielding, Intelligent Elderly Care Systems, Quality of Life

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 全球老龄化现状与挑战

人口老龄化已成为全球性、长期性的人口结构转变。联合国《世界人口展望 2024: 结果摘要》指出, 未来数十年老年人口规模与占比仍将上升, 人口结构变化将对医疗保障、长期照护供给与公共财政形成系统性影响[1]。我国老龄化呈现规模大、速度快与地区差异显著等特点。国家统计局《中华人民共和国 2024 年国民经济和社会发展统计公报》显示, 截至 2024 年末, 我国 60 岁及以上人口为 31,031 万人(占 22.0%), 65 岁及以上人口为 22,023 万人(占 15.6%) [2]。伴随家庭小型化、空巢化与照护资源配置不均, 传统高度依赖家庭与线下人力投入的照护模式在服务连续性、专业化与可及性方面面临更明显约束。

老龄化研究普遍强调, 养老目标不应仅停留在风险事件的被动应对, 而应面向功能维持、心理福祉、社会参与与自主性的综合生活质量结果。世界卫生组织提出的积极老龄化框架强调健康、参与与保障的协同促进[3]; 成功老龄化理论指出, 在疾病风险之外, 功能与心理社会资源同样构成关键终点[4]。据此, 智慧养老技术的评价需要从“能否采集数据”扩展为“是否稳定运行、是否被持续使用、是否改善生活质量”, 并在真实照护情境中讨论技术与人群的适配关系。

1.2. 智能老年照护系统的发展与意义

智能老年照护系统通过物联网、边缘计算与人工智能等技术, 将生命体征、活动状态与环境信息进

行连续采集与分析, 并支持异常识别与远程协同干预, 从而在一定程度上缓解照护资源紧张与服务时空不匹配问题。然而, 系统绩效不仅由算法或平台能力决定, 还取决于家庭与机构环境中的通信链路稳定性、传感数据质量、人机交互可用性与服务流程衔接。更重要的是, 老年人的技术采纳具有显著社会情境性: 数字能力、既往经验、家庭支持、隐私理解与风险解释框架共同影响其使用意愿与持续性。

在解释框架上, 技术接受模型(TAM)强调感知有用性与易用性对使用意向的影响[5]; 统一理论及其扩展(UTAUT2)进一步纳入社会影响、促进条件、习惯等变量以解释持续使用[6]; 计划行为理论(TPB)强调态度、主观规范与知觉行为控制对行为意向的作用[7]。关于老年人信息技术采纳的综述研究表明, 老年群体对感知有用性、感知易用性、自我效能、风险感知、社会影响与便利条件等因素较为敏感, 技术是否易于理解、便于操作和保持可控, 往往会影响其采纳意愿与后续使用[8]。因此, 系统的“可靠性”不仅是工程指标, 也构成影响信任、依从与生活质量获益的关键前置条件。

1.3. 电磁屏蔽材料研究的必要性与创新价值

智慧养老的居家与机构环境往往呈现多设备并行、多制式叠加与室内多径反射的传播特征, 电磁相关问题更常体现为系统层面的 EMC 与链路鲁棒性不足, 例如丢包、时延抖动、传感噪声上升与告警不稳定, 而非单一设备是否“超标”。关于电磁暴露与健康效应的公共讨论长期存在不确定性。权威公共卫生机构的立场通常强调在既有合规与标准框架下开展风险管理与持续监测, 但对具体健康结局的因果推断需基于暴露评估、频段、持续时间与个体差异进行严格研究[9]。因此, 本文将“电磁风险”的讨论边界主要限定为: 电磁干扰与室内复杂传播对系统可靠性的影响, 以及由此引发的风险感知与使用体验问题; 不将材料屏蔽直接等同为疾病结局改善。

传统金属屏蔽材料在重量、柔性、耐腐蚀与可穿戴适配方面存在局限。导电聚合物及其复合材料因密度低、柔性可加工、电磁参数可设计等特点, 为智慧养老设备的局部屏蔽、柔性封装与隐蔽化结构集成提供材料路径。其潜在创新价值不仅在物理层面的干扰抑制, 也在于它可能改变技术在日常生活中的“在场方式”: 当关键设备运行更稳定、故障更少且更贴近日常用品形态时, 技术对生活空间的侵入感下降, 有助于可控感与信任的建立。社会技术系统与行动者网络理论(ANT)提示, 材料、设备、家庭成员、医护人员与制度规范共同构成照护网络, 系统稳定性与信任在持续互动中被建构与维持[10]。风险社会理论与现代性研究亦强调, 不确定性与不可见风险常通过信任机制进入日常决策, 风险治理既是技术问题也是社会沟通问题[11]。

2. 导电聚合物电磁屏蔽材料概述

2.1. 导电聚合物的结构特征与电学性能

导电聚合物是一类具有 π 电子共轭结构的高分子材料, 经化学或电化学掺杂后可由绝缘态转向导电或半导体态, 其导电机制与离域 π 电子及掺杂诱导的载流子通道相关。代表性材料包括聚苯胺(PANI)、聚吡咯(PPy)、聚噻吩及其衍生物(如 PEDOT:PSS)。文献表明, PEDOT:PSS 等体系可通过溶剂处理、掺杂与微观结构优化实现电导率的显著提升, 但不同研究之间的提升幅度与基线材料、处理工艺与测试方法(如两探针/四探针、温湿度、取样位置)密切相关, 宜在给出具体制备与测试条件后进行比较。此外, 有研究提出导电网络与阻抗匹配之间存在“窗口效应”, 使材料在某些电导率区间更利于吸收贡献提升; 但该区间会随频段、厚度、填料体系与结构设计而变化, 需在明确条件下验证。

2.2. 电磁屏蔽原理与机制

导电聚合物屏蔽贡献通常由反射损耗、吸收损耗与材料内部多次散射共同构成。反射损耗与界面阻

抗不匹配及材料电导率相关；吸收损耗来源于电导损耗、介电损耗与界面极化等过程；多次散射可通过多孔、多界面、多层与梯度结构延长传播路径并增强能量衰减。需要强调的是，智慧养老多处于室内多径环境，高反射并不必然对应更优系统结果，过强反射在特定空间结构下可能引起局部场分布不均与链路波动。因此，面向照护设备的工程设计更适合将“屏蔽效能(SE) - 通信性能 - 空间电磁分布稳定性”共同纳入目标，并与天线布局、接地连续性、及缝隙泄漏控制协同设计。

2.3. 材料制备技术与性能优化

导电聚合物复合材料常用制备方法包括溶液混合、原位聚合与电化学聚合等。通过引入碳纳米管、石墨烯等填料可形成导电网络并增强界面极化，提高屏蔽与吸收能力；通过多层或多孔结构设计可提升吸收贡献并改善力学柔性。需要指出的是，文献中报道的高 SE 或高比屏蔽效能(specific SE)常对厚度、密度、测试夹具(同轴法/波导法)、入射角与边界泄漏高度敏感。引用此类结果时，应同时报告频段、厚度/面密度、测试方法与不确定度，并给出比屏蔽效能的计算公式与单位换算，以确保可核查与可复现。

智慧养老的工程约束不仅来自电磁性能，还来自湿热、汗液、清洁剂、反复弯折与长期佩戴等真实工况。导电网络退化与界面失效可能导致屏蔽性能衰减，其幅度与材料体系、封装方式、机械载荷与服役环境高度相关，宜通过加速老化与长期随访相结合的方式报告性能变化曲线，而不宜用单一百分比跨体系外推。

应用场景、作用机制与效果分析

导电聚合物电磁屏蔽材料在智能老年照护系统中的应用价值，需置于具体场景中加以审视。社会学视角下的技术接受研究指出，老年群体对新兴技术的采纳不仅取决于技术本身的性能，更受制于其对健康风险的可感知性、对生活自主性的影响以及对既有照护关系的嵌入程度[8] [12]。因此，电磁屏蔽材料在养老场景中的引入，不应仅被视为一种工程技术方案，更应理解为对老年人与技术之间关系的一种调节。以下结合远程医疗、智能家居监控和可穿戴设备三类核心应用场景，分析电磁干扰问题、材料作用机制及其对老年人生活质量的综合效果。

3.1. 远程医疗服务场景：信号质量与医疗信任的互构

远程医疗依赖连续稳定的数据传输与交互。居家与机构环境中的多设备并行、复杂反射界面与电源噪声等因素可能造成链路抖动、丢包与数据漂移，进而影响告警与决策的可靠性。需要强调的是，监测失败或告警失准通常由多因素共同导致，包括传感器布设、算法阈值、人群行为差异、网络抖动与 EMC 干扰等。若要将失败原因归因于 EMC，应在实验设计中进行干扰源控制或干扰注入对照，并报告可重复的故障分类与统计方法。

导电聚合物屏蔽材料在该场景中的合理定位，是作为系统级 EMC 治理的一部分，通过降低串扰与外部耦合、改善关键模块抗干扰能力来提升数据链路稳定性。关于“将某区域场强/磁场控制到某阈值以下”“远低于某限值”等表述，若未披露频段、量纲体系(电场/磁场/功率密度)、测距与空间点位、背景源控制与采样策略以及对照条件。

3.2. 智能家居监控场景：安全防护与生活自主性的平衡

智能家居监护系统面向跌倒、燃气泄漏与异常行为等风险事件，强调全天候运行与低侵扰性。室内多径与邻近设备干扰可能导致误报漏报，降低家庭对系统的依赖并增加照护者告警负担。导电聚合物材料若用于关键模块局部屏蔽、接口与缝隙泄漏控制或与构件的隐蔽化集成，其潜在贡献在于提高告警一致性并降低“技术在场感”。这一点与“在地老化”(aging in place)关于在熟悉空间中维持日常秩序与自

性的观点一致[13]。因此,该场景的评价不应仅比较屏蔽效能,而应联动报告误报漏报率、告警时延分布、系统可用性与用户体验指标,检验其对生活自主性与安全感的综合影响。

3.3. 可穿戴健康监测设备

可穿戴设备直接构成“技术-身体”界面,其可接受性高度依赖舒适、皮肤兼容性、操作负担与风险理解。导电聚合物因柔性与可织构特征,可与织物、表带与贴片结构集成,在一定程度上兼顾轻量与EMC需求。但可穿戴场景存在更强约束:屏蔽结构可能改变天线效率与近场分布,若处理不当反而造成通信质量下降与能耗上升,进而增加充电频率与使用负担并降低依从。部分研究在特定材料体系与测试方法下报道柔性导电织物在较大应变条件下仍能维持较高屏蔽性能,但该结果对测试夹具、应变路径、循环次数、厚度归一化方式与环境湿度敏感;用于老年人长期佩戴时,还需进一步验证其在汗液/清洁/反复穿脱条件下的性能保持以及对链路质量的净效应。老年技术采纳研究表明,自我效能、感知易用性与负担感与持续使用具有稳定关联[8],因此可穿戴的材料设计应将“屏蔽-通信-舒适-负担”作为联合优化对象。

3.4. 综合效果分析:从生理安全到社会参与

综合三类场景,导电聚合物电磁屏蔽材料可能通过降低工程不确定性影响社会技术结果,其可检验路径可表述为:材料与结构设计提升EMC表现与链路稳定性,系统层面误报漏报与中断减少,用户层面可控感提升、风险担忧下降,进而提高信任、接受与依从,最终在生活质量与睡眠等终点上体现变化。该路径与TAM/UTAUT2、TPB、老年技术采纳模型(如STAM)所强调的“有用性/易用性-自我效能-持续使用”逻辑相一致[5]-[8][12],也与环境老年学关于“降低环境压力改善适应”的解释一致。

4. 评价框架与研究设计建议:材料-系统-用户三层联动

智慧养老场景下,单以材料SE推断生活质量改善证据不足。材料层评价除SE外,应报告频段与入射条件下响应特征、吸收贡献相关表征、结构参数(厚度、面密度、孔隙率等)与湿热/形变后的保持情况。系统层评价应围绕通信与告警可靠性建立可复现指标体系,例如丢包率、时延抖动、RSSI波动度、误报漏报率、告警时延分布、系统可用性与能耗变化,并明确采样时长、统计窗口、空间点位与干扰源记录方式。用户层评价需将“生活质量”转化为量表与行为证据,可使用WHOQOL-BREF量表评估生活质量,并结合PSQI量表评估睡眠质量;同时建议纳入信任、风险感知、使用负担与依从性(佩戴时长、主动关闭次数、长期留存率等)指标,以便检验“系统可靠性-信任/风险感知-依从-生活质量”的中介路径。

在研究设计上,更适合采用面向真实场景的对照或准实验方案,例如在相同户型/相同设备拓扑下开展交叉对照(有/无屏蔽、不同屏蔽结构),并以预注册指标定义故障类型与统计方法;当难以实施随机对照时,可采用分层匹配与中断时间序列等设计减少混杂。上述设计能够将材料层改进稳健地映射到系统可靠性与用户结果,避免“材料指标好-生活质量一定提升”的非证据性跳跃。

5. 跨地域证据

公开研究显示,居家与机构养老均在探索可穿戴、非接触监测、智能床垫与远程平台等技术组合以支持连续监测与风险预警。从工程经验看,多设备并行与室内多径环境常伴随EMC压力与链路波动,关键模块局部屏蔽、接口与缝隙泄漏控制、布线与接地连续性优化是常见路径。然而,跨地域公开材料往往缺少统一测量口径、对照条件与统计策略,难以将“服务流程差异、部署方式差异”与“材料效应”严格区分。本文因此将跨地域材料主要作为提出可迁移研究问题的背景依据,而不将其作为材料屏蔽对生

活质量产生确定性效应的直接证据来源。未来跨地域可比研究应优先建立标准化的材料 - 系统 - 用户三层测评脚本，以提升可复现性与可比性。

6. 挑战与优化路径

导电聚合物电磁屏蔽材料在智慧养老中的进一步应用面临若干关键挑战。其一是长期稳定性与可维护性：湿热、汗液与清洁剂暴露叠加机械载荷可能导致导电网络退化与界面失效，需在服役工况下进行长期评价并发展可维护封装策略。其二是成本与规模化：成本比较应在明确功能边界(仅屏蔽或同时承担柔性、可穿戴、传感等功能)、寿命周期与维护成本口径后进行，并通过工艺简化、良率提升与可回收设计降低系统总成本。其三是标准化不足：养老真实场景中的频段、点位、多径与设备拓扑复杂，亟需形成面向照护场景的标准化测试方法与认证流程，使材料指标、系统可靠性与用户结果在同一框架下被共同评估。其四是风险沟通与接受：风险社会理论指出，不确定性与不可见风险常被放大并通过信任机制影响行为；因此除工程治理外，还需通过透明的指标解释、可理解的人机交互与服务流程协同，降低风险误解并增强可控感，从而提升持续使用与生活质量获益的实现概率。

7. 结论

本文在老龄化背景下讨论了导电聚合物电磁屏蔽材料在智能老年照护系统中的潜在价值，并以远程医疗、智能家居监护与可穿戴监测为典型场景构建“问题 - 场景 - 机理 - 效果”的分析框架。导电聚合物及其复合材料可通过反射、吸收与多次散射等机制为智慧养老提供材料层面的 EMC 治理路径，但其真实效益更应以系统层可靠性与用户层持续使用作为中介，以生活质量终点进行评价；涉及阈值或比例下降的强定量结论必须在明确频段、量纲、测点与对照设计后方可作稳健断言。面向跨学科审稿与可复现研究，本文强调材料 - 系统 - 用户三层联动测评的重要性，并建议引入技术接受、风险社会、信任与社会技术系统等理论，将“舒适 - 信任 - 依从 - 生活质量”的链条转化为可检验假设与可追溯证据，从而更充分回应老龄化研究对“技术如何改善福祉”的核心关切。

参考文献

- [1] United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024) World Population Prospects 2024: Summary of Results. <https://desapublications.un.org/publications/world-population-prospects-2024-summary-results>
- [2] 国家统计局. 2024 年国民经济和社会发展统计公报[R]. 北京: 国家统计局, 2025.
- [3] World Health Organization (2002) Active Ageing: A Policy Framework. <https://coiink.org/20.500.12592/dfpsp0>
- [4] Rowe, J.W. and Kahn, R.L. (1997) Successful Aging. *The Gerontologist*, **37**, 433-440. <https://doi.org/10.1093/geront/37.4.433>
- [5] Davis, F.D. (1989) Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, **13**, 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- [6] Venkatesh, V., Thong, J.Y.L. and Xu, X. (2012) Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *MIS Quarterly*, **36**, 157-178. <https://doi.org/10.2307/41410412>
- [7] Ajzen, I. (1991) The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, **50**, 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-t](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-t)
- [8] 邓朝华, 尤瑞芳. 中国老年人信息技术采纳研究综述: 文献计量与实证分析[J]. 信息系统学报, 2020(2): 8.
- [9] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) (2020) Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*, **118**, 483-524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
- [10] Latour, B. (2005) Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory. Oxford University Press.
- [11] Beck, U. (1992) Risk Society: Towards a New Modernity. Sage.

- [12] 曹贤才, 张浩, 周博霖, 陈宪涛, 崔晨虹, 吴捷. 影响老年人技术接受的因素——基于技术接受模型的元分析[J]. 心理发展与教育, 2025, 41(6): 799-816.
- [13] Wiles, J.L., Leibing, A., Guberman, N., Reeve, J. and Allen, R.E.S. (2012) The Meaning of “Aging in Place” to Older People. *The Gerontologist*, **52**, 357-366. <https://doi.org/10.1093/geront/gnr098>