

智能家居健康监测系统适老化设计的老龄人因研究综述

张潇颖

西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年4月8日; 录用日期: 2026年7月13日; 发布日期: 2026年7月21日

摘要

人口老龄化深度推进下, 智能家居健康监测系统成为老年居家健康管理的重要支撑, 但现有产品多重技术、轻人因, 忽视老年人生理与认知老化特征, 易用性与适配性欠佳, 难以满足实际养老需求。人因设计是优化老年用户产品体验的核心, 神经人因学则为从脑认知层面破解适老化设计难题提供了新方向。研究系统梳理智能家居健康监测系统适老化人因设计在硬件适配、软件交互、功能服务方面的研究现状, 结合典型产品案例剖析“表面适老”问题, 并引入Persona与能力谱系框架讨论老年群体异质性及差异化设计策略。在此基础上, 文章从神经人因学视角提出认知负荷量化、主客观融合评价、多模态自适应交互、多方协同服务与分层设计等研究展望, 并进一步讨论其在真实场景中面临的技术、成本、伦理和隐私挑战及初步应对路径, 以期为贴合老年群体需求的智慧养老产品设计提供理论参考, 助力积极老龄化建设。

关键词

适老化设计, 健康监测系统, 人因工程, 神经人因学, 智慧养老

A Review of Gerontological Ergonomic Research on the Adaptive Design of Smart Home Health Monitoring Systems

Xiaoying Zhang

School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi

Received: April 8, 2026; accepted: July 13, 2026; published: July 21, 2026

Abstract

As population aging intensifies, smart home health monitoring systems have become a crucial

support for elderly home health management. However, existing products often prioritize multiple technologies over human-centered design, neglecting the physiological and cognitive aging characteristics of seniors, resulting in poor usability and adaptability that fail to meet practical elderly care needs. Human-centered design is central to optimizing product experiences for senior users, while neurohuman factors provide a new approach to addressing age-friendly design challenges at the cognitive level. This study systematically reviews current research on age-friendly human-centered design in smart home health monitoring systems across hardware compatibility, software interaction, and functional services. Through case analyses of representative products, it examines issues of “superficial age-friendliness” and employs the Persona and capability hierarchy frameworks to discuss population heterogeneity and tailored design strategies. From a neurohuman factors perspective, the paper proposes future research directions—including cognitive load quantification, integrated subjective-objective evaluation, multimodal adaptive interaction, collaborative multi-party services, and hierarchical design—while addressing technical, cost, ethical, and privacy challenges in real-world applications. These insights aim to provide theoretical foundations for developing intelligent elderly care products that better meet seniors’ needs and advance active aging initiatives.

Keywords

Aging-Adapted Design, Health Monitoring System, Human Factors Engineering, Neuroergonomics, Smart Elderly Care

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

人口老龄化背景下，居家养老仍是老年人最主要的生活方式之一，老年健康监测、异常预警与连续照护成为智慧养老体系建设中的关键环节[1]。智能家居健康监测系统借助多种技术，为老年人居家健康管理提供了技术支撑，但现有研究多侧重技术本身的优化，忽视了老年人因生理、认知退化带来的交互适配问题，仅关注视觉等表层优化，未充分考虑老年人生理与认知特点，导致系统可用性不足，难以满足老年人的实际使用需求[2]。当交互逻辑、信息呈现与操作节律不符合老年人认知习惯时，会加重其认知负荷，甚至引发信任危机，导致产品实际弃用率较高[3]。为系统破解上述难题，本文在梳理智能家居健康监测系统硬件适配、软件交互与场景化服务研究进展的基础上，进一步引入典型产品案例，对“表面适老”的表现形式与成因进行剖析；同时借助 Persona 与能力谱系框架讨论老年群体异质性，并将服务支持视角扩展到家庭成员、护理人员、社区与医疗机构共同参与的社会技术系统。在此基础上，本文再从神经人因学视角探讨如何通过脑认知生理指标客观量化老年人心理负荷、构建差异化与自适应的交互机制，并讨论其在真实场景中的技术、成本、伦理与隐私挑战，旨在为深度适老化设计提供更具现实指导意义的理论参考。

2. 老龄人因工程与神经人因学理论基础

2.1. 老年用户生理与认知老化特征的人因学表征

老龄人因研究普遍认为，年龄增长会引发老年人在感知、动作与认知层面的系统性衰退，直接影响其与技术系统的交互[4]。生理上，老人视敏度、听力及触觉辨别力下降，弱光下空间辨识能力衰退，严

重降低信息读取效率；动作执行上则呈现费茨法则偏移，指向性动作减速期延长、精细控制能力减弱，极易误操作细小开关或滑块[5]。认知层面，抑制失效使其易受无关信息干扰，加工速度减慢又制约了时效性预警任务的处理效率[6]。当交互逻辑背离老年人心智模型时，用户需消耗更多认知资源代偿，导致心智负荷剧增。这种生理与认知障碍的叠加，在多任务居家监测场景中尤为显著。因此，适老化设计须遵循净资源释放原则，从底层优化感知呈现，缓解高层认知压力，有助于降低老年用户在交互过程中的综合负担。

2.2. 适老化设计的人因学基本原则

智能家居健康监测系统的适老化设计并非功能叠加，而是立足老龄人因特征的系统性优化。若系统仅集成监测、通信与预警等功能，却要求老人频繁切换界面、记忆操作、理解专业术语并处理多层信息，不仅无法减轻负担，反而会带来新的心理压力与使用障碍[7]。国内学者指出，智慧养老产品的适老化设计应围绕用户研究、需求识别、场景分析与流程重构展开，以此降低老年人的学习、理解与操作成本。相关研究还指出，语音交互、情境感知和交互结构优化等策略的有效性，取决于其是否真正减少了老年用户的资源消耗，而非单纯叠加功能[8]。由此可见，面向老年群体的技术设计，其人因学核心并非追求系统功能的全面性，而是着力于提升系统的操作便捷性、认知易懂性与长期使用可持续性。

2.3. 神经人因学的研究价值

神经人因学作为神经科学与人因工程的交叉学科，其核心价值在于将智能家居适老化设计的研究从外部行为观察推进至内部认知机理层面。传统评估依赖主观量表与任务绩效，易因老年人的认知局限或社会期望效应导致数据失真，而神经人因学引入脑电、近红外光谱等技术，可直接捕捉交互过程中的神经生理信号，客观量化隐性认知负荷与心理应激状态[9]，为验证交互逻辑是否适配老年认知节律，可为交互适配性评估提供客观依据[10]。神经人因学为识别老年用户在智能家居健康监测系统中的认知负荷变化提供了新的技术路径，也为后续开展基于认知状态的动态适配研究提供了方法支持。其价值不在于替代传统可用性研究，而在于为适老化设计提供更客观的认知证据。

3. 智能家居健康监测系统适老化设计的研究进展

3.1. 面向老年用户的硬件监测适配研究进展

硬件感知层正经历从强制佩戴向无感化环境集成的显著转变。早期的健康监测主要依赖智能手环等穿戴设备，但老年人常因皮肤敏感、忘记充电或排斥被监视感而产生较低的使用依从性。为破解这一难题。近年来硬件监测研究逐步由可穿戴设备扩展至环境嵌入式与非接触式感知技术[11]，研究重点也从监测精度逐渐转向佩戴负担、环境融合性、长期依从性和隐私保护。姚源等人的研究也表明，基于毫米波雷达的生命体征监测技术能够在完全不侵犯隐私的条件下，穿透衣物或床褥连续捕捉老年人的呼吸与心率微小变化[12]。这类技术在降低操作负担、提高监测连续性和减轻“被监测感”方面具有一定优势。总体来看，硬件适配研究正由“可采集”向“低干扰、低维护、可长期使用”转变。

3.2. 面向老年用户的软件交互优化研究进展

在软件交互层面，智能家居健康监测系统的适老化设计已从基础可用性研究逐步走向规范化与体系化[13]。为适配老年人信息加工速度较慢、认知资源有限的特点，现有研究开始围绕信息可理解性、任务流程简化、语音交互与认知负荷控制展开优化，通过简化操作路径、强化自然语言交互等方式，降低老年人对多级菜单与复杂操作的依赖。同时，部分研究提出应结合多模态感知提升交互的人性化与适配性，

根据用户状态提供更贴合需求的反馈方式[14]。但从老龄人因角度来看,当前多数优化仍停留在界面放大、布局调整等表层改进,未能有效解决老年人在健康数据解读、任务判断与操作决策中的认知负担[15]。不少系统虽界面直观,却存在专业指标晦涩、干预提示模糊等问题,导致老年人仍面临“看得懂界面、理不清逻辑”的困境。因此,未来软件交互优化应更加重视健康信息的可理解性、任务路径的可预测性以及异常反馈的明确性[16]。

3.3. 面向居家养老场景的服务支持与技术接受研究进展

智能家居健康监测系统是老年居家场景中联动多方主体的综合服务系统,其价值实现需依托家庭成员、护理人员、社区及医疗机构构成的服务网络,而非仅关注老年用户与产品的单一交互。Peck 等研究表明,老年人对该技术的接受度与家庭支持等多种因素相关,而场景化服务的连续性也需多方协同支撑,系统设计需兼顾技术隐形性与老年人的尊严、自主感,同时为多方协作提供便捷。此外,智能家居健康监测系统的效能并不只由终端可用性决定,还取决于家庭成员、护理人员、社区工作者和医疗机构之间能否形成稳定的信息协同链路。未来设计应把数据流、权限流与责任流一并纳入系统架构:日常趋势数据主要反馈给老年用户本人;异常波动和连续失访信号按风险等级推送给家属或社区护理人员;经人工确认后的高风险事件再与基层医疗或急救系统对接。与此同时,系统应提供可解释的预警依据、可选择的数据共享粒度以及清晰的处置闭环,避免预警失效的局面。

4. 智能家居健康监测系统适老化设计的主要问题

4.1. 老年人生理认知耦合特征融入不足

尽管现有的健康监测系统在界面视觉层面引入了适老化改进,但对老年用户在感知、动作和认知资源上的复合性负担关注仍然不足。真实居家监测场景中,老年人常面临视觉信息提取难、认知加工慢、记忆遗忘、动作偏差等多重问题。从神经人因学来看,感知加工与高级认知共享有限神经资源,老年人底层感官信号输入质量下降时,大脑会调用更多认知资源代偿,挤占任务判断和决策的工作记忆资源[17]。而当前多数系统仍要求用户短时间内处理多源健康数据、记忆操作路径并精准反馈,虽有表面适老视觉特征,却在神经层面增加了隐性认知负荷。国内研究也证实,缺乏对生理认知特征协同损耗机制的深入分析,是现有产品陷入适老表面化误区的核心原因[18]。

4.2. 老年群体差异性适配不足

老年人群内部呈现出高度的异质性,不同个体在身体机能、认知衰退速度、数字经验和照护条件上差异显著。认知储备理论表明,受早年教育、职业与生活方式影响,老年人的神经可塑性和代偿能力存在明显差别。有的仅动作变慢、推理正常,有的则同时出现记忆与空间能力衰退。若仅以年龄高低或“会不会用智能手机”粗略分类,仍难以转化为真正可操作的设计依据。为此,可引入 Persona 与能力谱系的双层细分框架:前者用于描述健康状况、认知水平、技术经验、社会支持和价值偏好的典型组合,后者用于刻画视觉、听觉、动作、记忆、注意和决策等能力的连续变化区间。如为数字经验不足的低龄老人简化配置、为高龄老人设置安全配置与照护协同权限等。由此可见,适老化设计不应追求一套界面适配所有老人,而应基于细分画像与能力阈值构建可分层、可切换、可演化的交互方案,这也是神经可塑性差异真正进入系统设计的前提。

4.3. 适老化评价体系的客观性与统一性缺失

目前适老化研究与产品测试多采用问卷、访谈、任务完成率等传统行为学方法,这类方法虽能体现

基础可用性，但易受老年人自我报告偏差、社会期望效应及记忆模糊等影响，无法真实反映交互中的隐蔽心理代价，如注意力分散、神经疲劳与负荷累积。神经人因学为此提供了客观量化手段，通过 EEG、fNIRS、HRV 等神经生理指标，可在中枢层面实时捕捉认知负荷与情绪状态[19]，但国内尚未构建起融合主观感受、行为绩效与神经生理数据的多维统一评价体系，因缺少标准化测试范式与跨模态数据规范，不同产品与实验的结果难以横向对比和理论沉淀，制约了智慧养老适老化标准的制定与应用推广。

4.4. 典型产品案例剖析：从“表面适老”到“深层适配”

为说明智能健康监测系统适老化设计中的“表面适老”问题，本文选取成熟智能手环与 Google Nest Hub (第二代)作为案例剖析其深层适配缺失。案例一，某品牌智能健康手环的“老年模式”仅实现字体放大、图标简化的表层优化，未解决充电困难、健康数据解读晦涩、误报引发焦虑等核心需求，属于功能堆叠式表层适配。案例二，Google Nest Hub (第二代)的无接触睡眠监测虽表面契合老年人“少操作”需求，但仍存在前置操作门槛，且易受外界干扰影响数据准确性，同时缺乏对监测结果、可信边界及异常处置的清晰解读，导致老年用户被动接受数据却难以转化为行动。

5. 神经人因学视角下的研究趋势与路径展望

5.1. 基于神经人因学的认知负荷量化与多维融合评价

神经人因学强调将神经科学方法引入真实人机系统评估，通过提取中枢神经活动与外周生理特征，客观揭示使用者的显性绩效与隐性神经疲劳。针对适老化设计中难以精准捕捉“隐性认知压力”的难题，借助脑电图与功能性近红外光谱等手段，可连续追踪老年用户在界面浏览、语义解码、异常预警等关键环节的高负荷节点，为视觉降噪、提示优化等设计提供循证基础。

然而，单一维度的神经生理数据无法全面解构复杂交互下的真实体验。认知科学研究表明，心理负荷的测量必须综合考量主观感受、任务绩效与生理唤醒水平。因此，应构建“主观体验-行为表现-客观生理”三位一体的融合评价框架：在传统易用性量表、操作成功率基础上，融入眼动轨迹(注视熵、瞳孔直径)、皮电反应、心率变异性等多模态指标。这一框架不仅能刻画老年用户的显性表现与隐性神经损耗，还能提升跨设备、跨场景研究的标准化比对能力，推动适老化设计从经验式走向数据支撑的客观优化。

5.2. 基于认知状态感知的多模态自适应交互设计

神经人因学的核心价值在于为系统提供动态精准适配的底层支撑。针对老年用户能力波动大、情境依赖性强的特点，未来智能家居健康监测系统可结合用户认知负荷与交互状态，动态调整界面信息密度、提示方式和操作节奏。例如，当检测到高负荷或焦虑状态时，系统可自动简化界面、突出关键信息、延长确认时间或启用语音引导；在用户状态平稳时，再逐步恢复更完整的信息显示。与静态的“老年模式”相比，这种基于认知状态感知的自适应交互更符合老年用户能力波动和情境差异并存的实际特点。

5.3. 神经人因学落地的技术、成本、伦理与隐私挑战及应对

尽管神经人因学为适老化提供了更深层的证据基础，但其真实落地仍面临多重约束。技术上，脑电、fNIRS 等方案在家庭环境中易受运动伪迹、佩戴依从性和长期校准稳定性影响；成本上，多模态采集硬件、数据标注与算法维护会显著抬高系统部署与服务运营门槛；在基层社区与家庭场景中，若缺乏标准化安装、维护和解释流程，神经指标很难直接转化为可执行服务。对此，短期内更可行的路径是采用“轻量生理指标 + 行为数据 + 关键任务场景”的分级方案，优先在高风险、高价值环节验证效果，再逐步

扩展。

伦理与隐私层面，居家监测天然带有持续观察甚至被看护化的特点。研究表明，50岁及以上用户普遍关注数据收集目的、访问边界、第三方滥用以及自主性受损风险；临床端也对隐私、尊严、数据安全和侵入性技术保持谨慎。因此，未来系统应坚持最小必要采集、边缘侧优先处理、分级授权、可撤回同意与可审计日志等原则，并通过可视化方式让老年用户明确知道“采了什么、为何采、谁能看、如何删”。对市场化产品而言，还应尽量降低账号关联、应用切换与额外订阅对老年用户构成的使用门槛，以免进一步扩大数字鸿沟。

6. 结论

总体而言，智能家居健康监测系统作为智慧养老的重要技术支撑，已经在健康监测、风险预警和居家照护等方面展现出较大应用前景。但从老年人因视角来看，当前该领域仍然存在明显的结构性不足，即技术设计往往走在前面，而对老年人生理-认知特征、个体差异、情感边界和长期使用负荷的关注相对滞后。这使得不少系统虽然具备先进功能，却未必能够真正转化为老年用户的稳定使用价值。

因此，智能家居健康监测系统的适老化设计，不能仅仅停留在界面优化和功能堆叠层面，而应转向以老年人因为核心的系统性重构。其关键不在于让系统“更智能”，而在于让技术更省力、更可理解、更可控制，也更符合老年人的尊严需求和生活方式。未来，随着神经人因学、多模态交互、自适应设计和共设计方法的持续发展，智能家居健康监测系统有望从经验性适老化逐步迈向循证性、动态化和个体化的深层适配。这不仅是技术演进的方向，也是积极老龄化背景下智慧养老高质量发展的必然要求。

参考文献

- [1] Population Division of Department of Economic and Social Affairs of United Nations (2024) World Population Prospects 2024. United Nations.
- [2] 窦金花, 覃京燕. 智慧健康养老产品适老化设计与老年用户研究方法[J]. 包装工程, 2021, 42(6): 62-68.
- [3] Ghorayeb, J., Dieppe, P., Abbott, S., et al. (2021) Older Adults' Perspectives on Smart Home Technology: A Systematic Review. *Journal of Housing for the Elderly*, **35**, 153-181.
- [4] Lindenberger, U., Lövdén, M., Schellenbach, M., et al. (2008) Psychological Principles of Successful Aging Technologies: A Mini-Review. *Gerontology*, **54**, 59-68.
- [5] Fisk, A.D., Rogers, W.A., Charness, N., et al. (2009) Designing for Older Adults: A Human Factors Interaction Guide. CRC Press.
- [6] Salthouse, T.A. (1996) The Processing-Speed Theory of Adult Age Differences in Cognition. *Psychological Review*, **103**, 403-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.103.3.403>
- [7] Peek, S.T.M., Wouters, E.J.M., van Hoof, J., et al. (2014) Factors Influencing Acceptance of Technology for Aging in Place: A Systematic Review. *International Journal of Medical Informatics*, **83**, 235-248.
- [8] 陈旭, 薛垒. 基于 QFD/TRIZ 的适老化智能家居产品交互设计研究[J]. 包装工程, 2019, 40(20): 74-80.
- [9] Ismail, L.E. and Karwowski, W. (2020) Applications of EEG Indices for the Quantification of Human Cognitive Performance: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *PLOS ONE*, **15**, e0242857. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242857>
- [10] Longo, L., Wickens, C.D., Hancock, G. and Hancock, P.A. (2022) Human Mental Workload: A Survey and a Novel Inclusive Definition. *Frontiers in Psychology*, **13**, Article 883321. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.883321>
- [11] 刘镇, 马文丽, 梁言珍. 新质生产力背景下塑料注塑智能家居设备适老化研究综述[J]. 塑料包装, 2025, 35(6): 243-248.
- [12] 姚源, 曹建初, 吴建辉, 等. 基于毫米波雷达的非接触式生命体征监测技术研究进展[J]. 生物医学工程杂志, 2021, 38(2): 380-386.
- [13] Gomez-Hernandez, M., Ferre, X., Moral, C. and Villalba-Mora, E. (2023) Design Guidelines of Mobile Apps for Older Adults: Systematic Review and Thematic Analysis. *JMIR mHealth and uHealth*, **11**, e43186. <https://doi.org/10.2196/43186>

-
- [14] 李邵恺, 黄柘伟, 李新羽, 等. 基于可重构智能超表面的智能家居健康监测系统[J]. 电波科学学报, 2026, 41(1): 155-162.
- [15] Cai, T., Ma, J. and Ge-Zhang, S. (2025) Smart Cities and Smart Health: Innovations in Home Medical Devices for Efficient Healthcare Delivery. *Results in Engineering*, **27**, Article 105739. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105739>
- [16] 李芳菲, 薛澄交, 董明, 等. 面向老年人的智能家居语音交互适老化设计评价研究[J]. 包装工程, 2023, 44(8): 208-216.
- [17] Cabeza, R., Albert, M., Belleville, S., Craik, F.I.M., Duarte, A., Grady, C.L., *et al.* (2018) Maintenance, Reserve and Compensation: The Cognitive Neuroscience of Healthy Ageing. *Nature Reviews Neuroscience*, **19**, 701-710. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0068-2>
- [18] 林玉琴, 赵杨, 刘婉婷, 等. 数字产品适老化研究综述: 需求挖掘、障碍分析与优化设计[J]. 信息资源管理学报, 2024, 14(4): 146-160.
- [19] 薛澄交, 李方慧, 牛亚峰, 等. 基于脑电信号的复杂信息界面认知负荷综合评价模型[J]. 机械工程学报, 2020, 56(10): 229-238.