

# 老龄服务机器人包容性设计及设计伦理研究综述

吴磊<sup>1</sup>, 李娟<sup>2</sup>

(1.华中科技大学, 武汉 430074; 2.武汉华夏理工学院, 武汉 430070)

**摘要:** **目的** 我国即将全面进入人口老龄化社会, 伴随人工智能、大数据等新兴技术的飞速发展, 针对老龄人群的智能产品设计研究已成为当务之急。**方法** 首先, 通过对国内外相关学者学术文献的梳理和分析, 剖析老龄人群的心理和生理特征, 并回顾老龄服务机器人发展现状。其次, 对老龄服务机器人的包容性研究进行分析, 并对老龄服务机器人包容性设计中的拟人化设计进行探讨。最后, 回顾老龄服务机器人的设计伦理, 并进一步展望未来老龄服务机器人的发展趋势。**结论** 对老龄服务机器人包容性设计与设计伦理的发展提出若干趋势建议。对于老龄服务机器人设计, 应该深切关注其所涉及的包容性和伦理问题, 切实提高老龄人群的生活质量和信息沟通幸福感。

**关键词:** 包容性设计; 设计伦理; 老龄服务机器人; 人工智能

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)08-0020-10

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.08.003

## Review of Inclusive Design and Design Ethics of Aging Service Robots

WU Lei<sup>1</sup>, LI Juan<sup>2</sup>

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan Huaxia Institute of Technology, Wuhan 430070, China)

**ABSTRACT:** Our country is nearly fully entering a society with an aging population. With the rapid development of emerging technologies such as artificial intelligence and big data, the design and research of intelligent products for the elderly has become a top priority. Firstly, through combing and analyzing the academic literature of relevant scholars in domestic and abroad, analyze the psychological and physiological characteristics of the elderly, and review the development status of aging service robots. Then, the inclusive design research of aging service robots is analyzed and the anthropomorphic design in the inclusive design of aging service robots is discussed. Finally, review the design ethics of aging service robots, and further explore the trend of aging service robots in the future. Several trend suggestions are put forward for the development of the inclusive design and design ethics of aging service robots. Pay close attention to the inclusive and ethical issues involved in the design of aging service robots, and effectively improve the quality of life and the happiness of information communication for the elderly.

**KEY WORDS:** inclusive design; design ethics; aging service robot; artificial intelligence

据《“十三五”国家老龄事业发展和养老体系建设规划》数据显示, 截至2020年, 我国老龄人口数量为2.55亿人, 占总人口比重约17.8%左右, 这标志

着我国即将全面进入“老龄化社会”。国务院印发的《新一代人工智能发展规划》指出, 要抢抓人工智能发展的重大战略机遇, 构筑我国人工智能发展的先发

收稿日期: 2021-01-05

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金资助“基于包容性理论的老龄人群智能移动产品人性化设计研究”(20YJC760105); 湖北省教育厅人文社科项目“‘设计之都’背景下的湖北高校艺术设计专业人才培养模式研究”(20G117)

作者简介: 吴磊(1982—), 男, 陕西人, 博士, 华中科技大学副教授, 主要研究方向为智能产品设计与人机交互、用户体验。

通信作者: 李娟(1982—), 女, 湖北人, 硕士, 武汉华夏理工学院副教授, 主要研究方向为视觉传达设计、设计伦理。

优势，加快建设创新型国家和世界科技强国<sup>[1]</sup>。伴随着人工智能、大数据等新兴科技的迅猛发展，人工智能背景下的智能科技产品设计，已成为当前工业设计领域的新兴关注点<sup>[2-4]</sup>。工业和信息化部、民政部、国家卫生计生委联合印发的《智慧健康养老产业发展行动计划（2017—2020 年）》明确指出，要大力发展健康管理类可穿戴设备、智能养老监护设备、老龄服务机器人等<sup>[5-6]</sup>。

老龄服务机器人是重要的老龄智能科技产品，可为老龄人群提供生活陪伴和日常交流的辅助功能，为老龄人群缓解孤独感，进行积极的情感交流和融入信息社会生活，具有重要的社会意义。由人口老龄化和养老结构性所导致的严重的护理人员短缺问题，再加上新型冠状病毒肺炎疫情的巨大影响，居家老年人的护理和陪伴需求经常无法得到有效满足。目前，服务机器人可以有效缓解养老服务的压力，比如老龄服务机器人可以辅助陪伴老年人度过闲余时间<sup>[7]</sup>。老龄服务机器人在应对人口老龄化方面具有广阔应用前景，国际机器人联合会（IFR）预测，截至 2022 年，老龄服务机器人需求将以年均 25% 的速度扩张。伴随而来的是如何设计出更具包容性的老龄服务机器人，老龄服务机器人的设计伦理如何制定，这些已经成为当前社会面临的重要挑战，也由此引发了本研究。

## 1 老龄服务机器人的研究进展和现状

### 1.1 老龄人群的生理和心理特征

相关研究表明，人体机能的全生命周期分为青年、壮年和老年三个阶段。青年属于身体机能的成长发展期，中年属于身体机能的保持期，而老年人进入身体机能的减退期。然而，在老年阶段，由于身体机能的个体差异，部分老龄人群进入身体机能的失能阶段，老龄人群身体机能变化曲线见图 1。一般而言，老龄人群的生理和心理特征主要包括以下三个方面。

1) 在生理层面。老龄人群普遍存在视力问题（视觉敏锐度，色彩感知度和有效视野等）、听力问题（声音辨识、语音识别和声音定位等）、操作能力下降（推、

握、握等精细动作等）、认知能力减退（记忆力、注意力和疲劳等）、移动能力减弱（步行、坐下和站起的能力等）等生理机能退化的问题。

2) 在心理层面。主要变化表现在个体感觉、知觉、记忆、注意和控制感等方面，这些变化影响了老龄用户与智能产品的认知过程。如果智能产品与老龄人群用户的认知模型不匹配，就会产生认知摩擦，阻碍老年人的信息理解和获取。

3) 影响老年人对智能产品认知的因素还有：使用经验不足（操作流程不熟悉、功能难以理解、导航路径迷失等）；自我效能偏低（缺乏使用安全感、对智能产品不信任）等。这些原因都导致老龄人群在使用智能科技产品时会产生较大的阻碍和实际困难。

20 世纪 60 年代，克雷顿·奥尔德弗提出 ERG 理论，该理论将人的需要分为三个层级：生存需要（Existence）、关系和谐需要（Relatedness）、成长需要（Growth）。研究表明，由于老年人神经系统的脑细胞数量和神经系统退化，他们对新事物的接受能力降低，学习和理解新产品需要更长的时间，加之对社会和生活环境的适应能力减弱，也容易产生自卑情绪。在老龄心理的学术研究层面，张云英（2020 年）采用了知识图谱方式，对智慧养老的相关文献研究进行了可视化分析<sup>[8]</sup>。左美云（2009 年）基于需求层次理论模型，提出了老年人信息需求模型<sup>[9]</sup>。有研究指出，年龄与服务机器人的使用意愿为负相关，与年轻人相比，老年人使用机器人的意愿更低，尤其是 75 岁以上的高龄老年人。其原因可能与老年人学习能力和新事物接受能力下降有关。此外，老年人的不同性格类型也与使用服务机器人的态度相关，外向型的老年人对服务机器人的态度更加积极，内向型老人与服务机器人的使用态度呈现负相关趋势。由此，设计出适合老龄人群生理和心理特征的服务机器人，就显得尤为重要。

### 1.2 老龄服务机器人的研究进展

从词源学来看，机器人（Robot）的原始概念始于捷克语“Robota”，意为“强制劳动”，最早出现于 1921 年在捷克首都布拉格上演的戏剧《罗素姆的万能机器人》中。国际机器人联合会（IFR）对服务机器人的定义是，能够陪伴和服务人类的自动化智能电子机械设备。服务机器人是可以与人类进行多模态情感交互的机器智能体（Robot Intelligence）。传统的产品操作方式是人来操作机器（Human-Machine Interaction, HMI），人机交互的发出者是人类。然而，在服务机器人的人机交互方式中，服务机器人可以主动发起多种交互行为（Human-Robot Interaction, HRI），比如语音对话或面部表情和手势行为等，从而极大改变了以往人机交互的规则和模式。服务机器人、工业机器人、传统产品的区别见表 1。

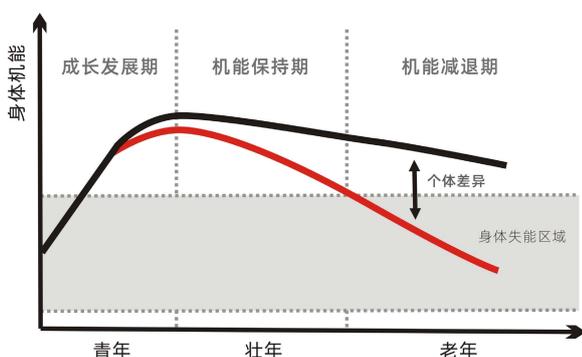


图 1 老龄人群身体机能变化曲线

Fig.1 Curve of changes in physical function of the elderly

表1 服务机器人、工业机器人、传统产品的区别  
Tab.1 The difference between service robots, industrial robots and traditional products

不同之处	服务机器人	工业机器人	传统工业产品
智能水平	高	中	低
人机关系	和人在同一环境下协同工作	代替人在危险环境下工作	人通过操纵产品进行工作
产品构造	柔顺结构	刚性构造	机械构造
和人类的关系	伙伴、朋友	工具性	工具性
交互方式	主动交互	被动交互	被动执行
情感互动水平	高	低	低

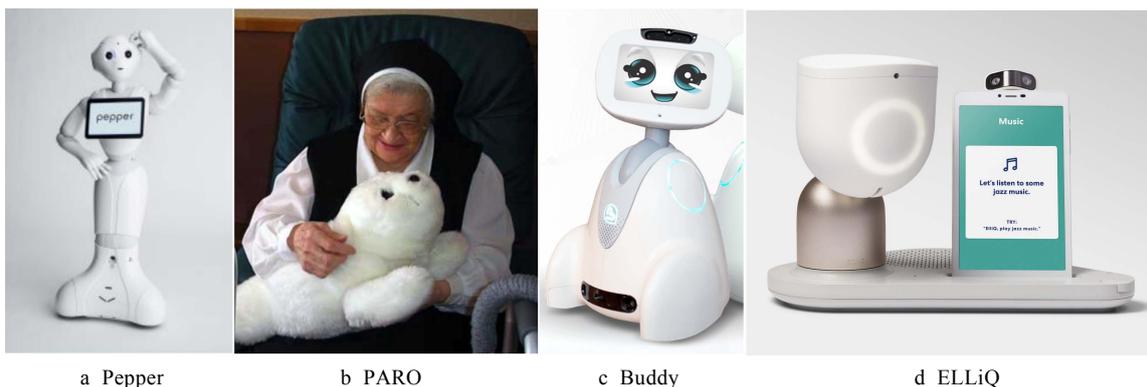


图2 市面主流的老龄服务机器人  
Fig.2 The mainstream aging service robots in the market

老龄服务机器人的核心功能和目标是健康监测、安全应急、生活陪伴与信息沟通。举例而言, 老龄服务机器人可以辅助子女及护理人员照顾行动不便的老年人, 监控老年人的身体状况, 实时对老年人跌倒进行预警, 和老年人进行日常对话交流, 疏导老年人心理问题。尤其是对于患有阿尔兹海默症等特殊疾病的老年人群而言, 老龄服务机器人可以帮助他们开展康复和记忆训练, 改善老年人受损的认知能力。此外, 老龄服务机器人通过多模态自然人机交互, 通过加入情感化设计元素, 模拟人与人的真实交互模式, 营造“有温度感”的智能态产品。譬如, 在机器人造型风格上体现拟人化的特征, 并考虑到外观材质和触感等因素。目前, 市面主流的老龄服务机器人有软银公司的人形机器人 Pepper、宠物海豹治愈机器人 PARO、情感陪伴机器人 Buddy 及老龄桌面陪伴机器人 ELLiQ 等。老龄服务机器人见图 2。

在国外研究领域, Salichs M A (2020 年) 研发了新型社交机器人 Mini, 该款机器人主要针对对老龄人群的居家陪伴和生活, 旨在延长老年人的独立生活时间<sup>[10]</sup>。Mannion A (2019 年) 针对老龄失智症人群设计了 MARIO 智能陪伴机器人<sup>[11]</sup>, 该款机器人可以通过语音对话缓解老年人的寂寞感, 老年人可以通过触摸屏幕看到重要事件的照片, 从而唤起老龄失智症的记忆, 见图 3。Čaić M (2019 年) 针对老年人护理机器人, 对其如何影响用户价值共创的看法和期望进行了研究<sup>[12]</sup>。Scoglio A A J (2019 年) 对比分析

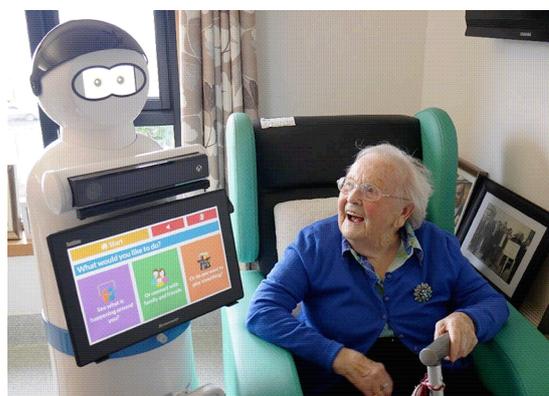


图3 MARIO 老龄智能陪伴机器人  
Fig.3 MARIO intelligent companion robot for the elderly

了五款不同的陪伴机器人, 得出服务机器人在心理健康方面的研究在推广性上受到限制, 应扩大该领域研究的机会, 包括使研究人群多样化, 扩大临床应用, 改进使用措施等<sup>[13]</sup>。Hung L (2019 年) 采用文献综述方法分析得出, 老龄服务机器人的主要益处包括减少负面情绪和行为症状, 改善社交参与, 并促进积极的心情和护理体验质量; 主要障碍是成本因素及道德伦理问题<sup>[14]</sup>。Körtner T (2016 年) 探讨了针对老龄人群服务机器人的伦理道德问题, 提出了尊严、隐私、安全等在设计老龄人群服务机器人时会面临的挑战<sup>[15]</sup>。De Graaf M M (2015 年) 通过观察的实验方式, 探索了居家陪伴机器人对老年人健康提升的效用水平, 以及影响老年人对服务机器人接受度的结构性因素<sup>[16]</sup>。

从国外研究现状可以得出,相关学者主要从老龄服务机器人的心理学、道德伦理、价值共创和技术实现等方面着手,特别是针对高龄及失智老人进行了相关的探索研究,具有较好的人文关怀和情感导向价值。

在国内研究领域,林镇郁(2020年)通过心理学实验研究,探索了人与机器人空间距离对人机交互亲密度的影响机制<sup>[17]</sup>。葛翔等人(2020年)研究了公共服务机器人的屏幕设计偏好,得出不论有无信息呈现,被试最偏好的为双屏设计类型<sup>[18]</sup>。王秋惠(2019年)从人因工程角度,研究了老龄服务机器人的人机界面的设计评价指标和优化方法<sup>[19]</sup>。胡佳雄,徐迎庆(2019年)基于情感化语音交互的设计框架 EmoVUI,设计了情感语音聊天机器人“护甲熊”<sup>[20]</sup>。李洁(2019年)采用了眼动追踪实验方法,探索了用户对于人形机器人的视觉观察规律和造型意象认知规律,得出了人形机器人头部造型会影响用户的情感认知的结论<sup>[21]</sup>。刘春丽(2019年)基于眼动追踪方法,研究了学龄前儿童对陪伴机器人的感性认识规律<sup>[22]</sup>。王秋惠(2018年)研究了康复机器人的人机交互安全性及人因工程中存在的问题<sup>[23]</sup>。以上研究主要采用了实验心理学范式,采用了眼动追踪、心理学问卷及实地测试等手段,对老年人和老龄服务机器人之间的心理态度、认知意象和人因安全性等进行了评估测量研究。此类科学化的心理学研究手段,有效开拓了老龄服务机器人设计研究的科学性和量化研究领域。

进一步而言,针对老龄服务机器人的实践应用和接受态度研究领域,张腾宇(2019年)采用了问卷调查分析方法,调查了不同性别、年龄、文化程度等的老龄人群,对陪护机器人的认知程度,发现目前老龄人群普遍对陪护机器人的了解程度较低,不同类型的老人对机器人的功能需求差异较大,但是健康监测和聊天陪伴等为共性高频需求<sup>[24]</sup>。李科平(2019年)探讨了中国老龄家用机器人设计思路,并提出了相应解决方法<sup>[25]</sup>。赵雅婷(2019年)针对养老服务机器人的人机交互技术、移动和执行机构及定位和场景技术等进行了综述研究,并提出了相应的改进策略<sup>[26]</sup>。程子真(2019年)通过将机器人分为家庭陪伴、生活护理等类型,探讨了机器人陪护中的优缺点和伦理问题<sup>[27]</sup>。冷敏敏(2018年)探讨了宠物机器人对于老年痴呆症患者的应用现状,并提出了相应的护理干预策略<sup>[28]</sup>。何瑛(2018年)综述了机器人在患者转运、物品传送、康复护理等应用现状,以及机器人在护理领域中所面临的挑战<sup>[29]</sup>。许静(2018年)综述了老龄护理机器人在失智症老人运动、怀旧和音乐疗法中的研究进展,并从动物陪伴机器人、远程陪伴机器人和家庭陪伴机器人三个应用场景角度进行了展望<sup>[30]</sup>。李思佳(2017年)针对老龄辅助型机器人的用户友好程度,探讨了基于老年人心理的跨学科社会

情境范式研究<sup>[31]</sup>。综上所述,在老龄服务机器人的实践应用领域,应注意不同类型老龄人群的需求特征、应用场景、技术实现手段等问题。以上研究进展均表明,目前国内外针对老龄服务机器人已经有了较为丰富的研究基础和研究成果,其中老龄服务机器人的包容性设计和人性化设计,是目前相关学术界研究领域的重点领域之一,由此引出以下老龄服务机器人包容性设计的研究。

## 2 老龄服务机器人的包容性设计

### 2.1 老龄人群包容性设计研究现状

英国标准协会将包容性设计(Inclusive Design)定义为,产品或者服务的设计能为尽可能多的人群所方便使用,也通常被称为通用性设计(Universal Design)、无障碍设计(Barrier-Free Design)或可及性设计(Accessible Design)。包容性设计是能够包容最大量目标用户的设计,尤其是针对老龄人群及其他弱势群体。例如,针对老龄视障用户的产品交互界面设计要点,就应该确保文字、交互控件和界面背景的对比度清晰(Clear),确保文字信息的字体大小可调节(Resizable),确保交互界面上所有的控件都可借助辅助技术(Assistive Technologies)被使用,如屏幕阅读器、放大镜等。包容性设计哲学强调平等的观念,尊重多样性需求,在价值观和方法论等层面指导设计过程,最大程度扩大设计的最终获益人群。

在国外研究领域,英国皇家艺术学院的科尔曼教授提出,包容性设计是一种更具有社会责任感的设计方法。剑桥大学包容性设计研究小组认为,包容性设计是将产品的使用能力要求和终端用户的实际能力相匹配的设计,并提出了 Inclusive Design Toolkit 研究工具。譬如,剑桥大学的 John Clarkson 提出了包容性设计立方体模型,根据用户能力进行细分,分为可以使用此设计的群体、能够受益于此设计的最大化群体和所有人。Mankoff 提出了致力于提升交互包容性的模型 EASE 和 CogTool 工具。Biswas 提出了改善残疾与老龄相关能力限制的 GUIDE 指导。在国内研究领域,张凯(2020年)采用 Citespace 可视化知识图谱的方法,对包容性设计的研究特点和进展进行了文献综述分析<sup>[32]</sup>。董华(2016年)基于包容性设计对于用户认知能力数据的需求,从认知能力的分类、测量及影响因素三方面,对现有研究进行了总结<sup>[33]</sup>。黎昉、董华(2018年)认为,包容性设计主旨是在认识到用户群体多样性的情况下,通过降低对用户使用能力的要求,从而将产品的主要适用人群,在合理的可能性下最大化,并提升用户体验和满意度<sup>[34]</sup>。巩森森等人(2016年)结合服务设计的要素和方法,针对老年人特定的需求和机会点对相关案例进行了分析,提出了面向老年人的智能产品服务设计策略<sup>[35]</sup>。

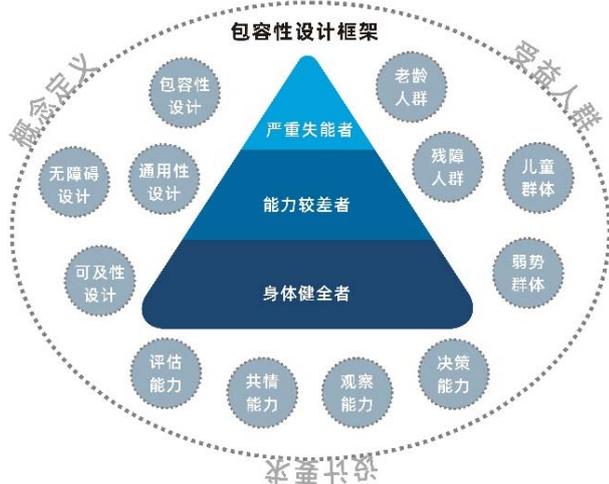


图4 包容性设计的概念定义、受益人群和设计要求  
Fig.4 Definition, beneficiaries and design requirements of inclusive design

赵超（2012年）基于人本哲学理论范式，探讨了老龄化设计的理论方法和相关工具，并应对老龄用户的生理包容性和社会文化包容性，探索了包容性设计的相关解决方案<sup>[36]</sup>。从以上国内外相关研究文献可以得出，包容性设计是一种非常有效的设计手段，尤其针对老龄服务机器人设计领域。

基于上述研究，老龄服务机器人的包容性设计框架，可以从概念定义、受益人群和设计要素三个方面分析。其中概念定义包含包容性设计的各种概念定义的融合；受益人群包含以老龄人群为主的多种弱势群体；设计要求包含评估、共情、观察和决策等设计能力要求。本研究模型最中间为用户金字塔模型，从下到上依次分为身体健全者、能力较差者和严重失能者三个层级，包容性设计的重点是满足金字塔最顶层用户（严重失能者）的需求，若此层级用户的需求得到满足，则其余用户（能力较差者和身体健全者）均可以从中获益。包容性设计的概念定义、受益人群和设计要求见图4。

## 2.2 老龄服务机器人包容性设计中的拟人化设计

拟人化设计（Anthropomorphism Design）是重要的老龄服务机器人包容性设计方法和手段之一。从概念定义而言，拟人化是将服务机器人赋予人类特有外观和心理特性的设计方式。在老龄服务机器人设计中，采用拟人化的设计策略，能让老龄用户对于服务机器人的接受度大幅增加。在相关研究领域中，何灿群（2020年）基于拟人化的三因素理论，构建了拟人化的心理模型和人机交互模型，最后探讨了拟人化过度依赖带来的伦理风险<sup>[37]</sup>。许丽颖（2017年，2020年）研究了机器人特征、人类因素特征及人机交互特征对机器人接受度的影响因素，结果表明拟人化是影响人类对机器人接受度的核心变量<sup>[38-39]</sup>。喻丰（2020年）针对人工智能时代下人类与人工智能体的互动进

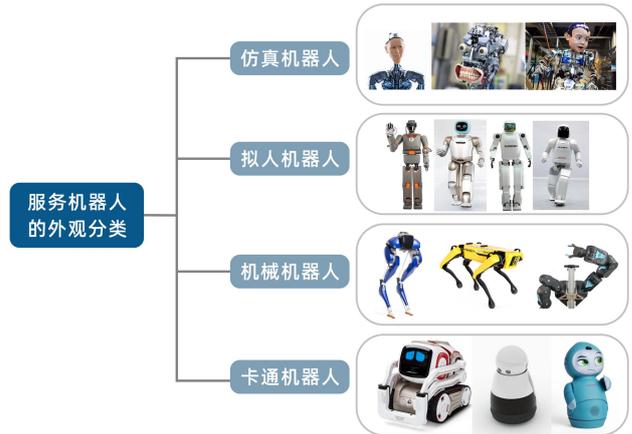


图5 老龄服务机器人的拟人化设计分类  
Fig.5 Anthropomorphic design classification of aging service robot

行了系统研究，并且探讨了人工智能拟人化在心理学和人与机器人交互过程中的问题<sup>[40-41]</sup>。牟宇鹏（2019年）采用问卷调查方法进行了调研分析，得出改善人工智能的认知、情感共情及幽默性等拟人化特征，可以有效降低用户对人工智能的心理抗拒，进而提升用户体验<sup>[42]</sup>。岳程（2019年）通过人机交互设计视角，探讨了人工智能拟人化的文化设计体验，分析了拟人化设计在人工智能交互的重要性<sup>[43]</sup>。由此可见，相关学者已对老龄服务机器人的拟人化设计进行了相关有益的探索和总结。如前所述，老龄服务机器人的拟人化设计方法，主要可分为外观拟人化设计和交互拟人化设计两个主要层面。

首先，在外观拟人化设计层面，有研究发现人类会自动化地对服务机器人的外观设计进行拟人化的加工和解释。因此，外观拟人化特征对老年人群的感官接受度较为重要，不仅影响老龄用户的最初感知接受度，而且影响老龄用户对服务机器人的最终期望。目前，老龄服务机器人外观风格可以分为仿真机器人、拟人机器人、机械机器人和卡通机器人4类，见图5。通过总结，老龄服务机器人的外观拟人化设计原则主要有以下三个方面。（1）当老龄服务机器人的外观拟人化过于接近真人的时候，会产生熟知的“恐怖谷效应”，因此应该警惕“恐怖谷效应”对老龄服务机器人接受度的负面效应。解决思路是可以采用适当卡通化或抽象化的手段，提炼其外观特征和色彩、材质等设计要素，达到消除和减轻“恐怖谷效应”所带来的负面影响。（2）针对执行非社会性任务的老龄服务机器人而言，譬如扫地机器人或搬运机器人等，应该适当限制其外观拟人化的程度，保留一定的工具性外观特征，比如可以采用圆柱形或扁平态的造型方式。（3）外观拟人化设计也应该考虑到地域和文化差异的因素，比如不同国家的跨文化禁忌因素和不同地域人群的文化偏好因素等。

其次，在老龄服务机器人的交互拟人化设计方

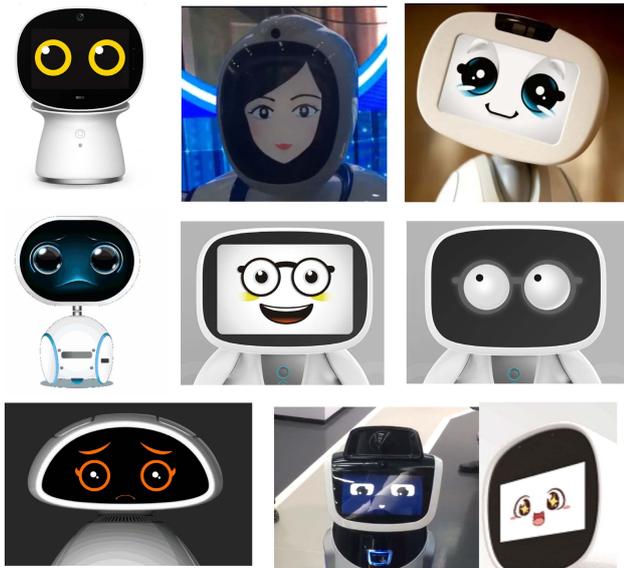


图 6 老龄服务机器人的面部表情交互设计  
Fig.6 Facial expression interaction design of aging service robot

面,可借助服务机器人的面部表情、触摸、语音、手势等增强其人性化和情感化因素,具体方式如下。(1)面部表情设计。伴随着认知能力的下降,老年人更依赖自己的情感进行决策。研究表明,人机交互中的情感认知对老年人群信息处理模型影响较大<sup>[44]</sup>。使用机器人面部拟人化交互表情设计可获得老年人的喜爱。老龄服务机器人的面部表情交互设计见图 6。(2)触摸交互设计。触摸也可以有效降低老年人在高度压力事件中的应激反应,从而增加人机交互关系中的感知亲密密度。例如, Willemse C J A M (2019 年)研究了机器人的触摸交互,结果表明机器人触摸可减轻生理压力,增加人与机器人之间亲密感<sup>[45]</sup>。Konok V (2018 年)通过比较宠物犬和机器人的不同特质,得出了人类对机器人接受度的期望特性和改进策略<sup>[46]</sup>。因此,在老龄服务机器人的触觉交互设计中,针对有认知障碍、抑郁心理和社会隔离的老年人群体,可采用机器人手部触觉交互的方式,缓解老年人情绪低落和孤独的心理。(3)语音和手势设计。拟人化语音和拟人化手势交互,也被证实能够增强用户对服务机器人的愉悦感和共情感,从而增强人机互动体验。

### 3 老龄服务机器人的设计伦理及展望

伦理一词来源于希腊文“Ethos”,意指风俗和习惯。《韦氏大辞典》将伦理定义为一门探讨道德责任与义务的学科。一般认为,伦理指在处理人与人、人与社会相互关系时应遵循的道理和准则。设计伦理主要研究设计行为中的伦理道德和社会责任问题,寻求“工具理性”和“价值理性”的完美融合。20 世纪 60 年代末,维多克在其代表作《为真实世界的设计》中就提出针对弱势群体的设计伦理问题,并成为

了设计伦理领域研究的重点。

2020 年 8 月,国家标准化管理委员会联合发布了《国家新一代人工智能标准体系建设指南》,指南的 H 部分专门指定了关于人工智能的安全和伦理要求。在人工智能伦理研究领域,张建文(2020 年)针对阿西莫夫机器人法则进行了分析,指出了其存在的主要问题 and 解决思路<sup>[47]</sup>。谢洪明(2019 年)采用文献计量方法,从人工智能的道德哲学、道德算法、设计伦理和社会伦理四个角度进行了研究<sup>[48]</sup>。王亮(2020 年)提出要警惕社交服务机器人对人类同理心的操控和欺骗性<sup>[49]</sup>。刁生富(2018 年)提出要建立情感机器人的道德评价体系<sup>[50]</sup>。喻丰(2018 年)从心理学方法研究了人工智能体的道德地位、道德能力和道德规则<sup>[51]</sup>。游辉辉(2019 年)针对伴侣机器人的伦理道德问题进行了探讨<sup>[52]</sup>。彭凯平(2011 年,2012 年)阐述了物理变量的改变对人类道德判断的影响机制<sup>[53-54]</sup>。此外,人工智能和人类意志的结合会不会产生偏见和冲突?机器算法和人类情感结合后会产生何种信息?哪些因素可以促进人类和机器人之间的信任与合作?这些都成为目前学术界对于人工智能伦理的热点议题。

进一步而言,在老龄服务机器人的设计伦理研究领域,王健(2019 年)针对目前养老资源短缺和家庭结构导致子女养老困难等现状,探讨了护理机器人在居家养老体系中的作用和地位,提出要防范可能会导致的孝养关系疏离等伦理道德风险<sup>[55]</sup>。于雪(2020 年)认为人工智能的设计伦理包含“设计的伦理”和“伦理的设计”两个层面,应提倡人工智能的“向善”发展方向<sup>[56]</sup>。陈剑(2017 年)探讨了人工智能在工业设计、交互设计中的应用和挑战,以及如何面对人工智能在智能产品设计中的伦理反噬问题<sup>[57]</sup>。周至禹(2019 年)针对机器人引起的安全问题、数据隐私问题等进行了阐述<sup>[58]</sup>。张英(2018 年)对智能产品设计伦理进行了分析,阐述了智能产品发展的“AI 代替人类”和“AI 增强人类”两种发展趋向<sup>[59]</sup>。大泽博隆(2016 年)指出了人与智能体交互(HAI)的研究范畴和动向,并分析了智能体(Agent)和智能性(Agency)的差异<sup>[60]</sup>。宋武(2019 年)讨论了“智能人因工学”在智能信息终端产品设计中的应用方法<sup>[61]</sup>。综上所述,老龄服务机器人与设计伦理研究,主要涉及人与服务机器人的接受度和信任感的关系研究,要警惕老龄服务机器人所带来的亲情疏离等伦理道德风险。

机器人行为学是将机器作为一种具有生命的个体,研究令其自然、富于情感的设计方式。通过多模态人机交互体验将多种感官融合,通过视觉、语音、触觉、体感等多种自然人机交互方式,充分模拟人与人之间的交互方式。综上,从人的因素和机器因素两方面着手,构建面向人工智能背景下的老龄服务机器人的设

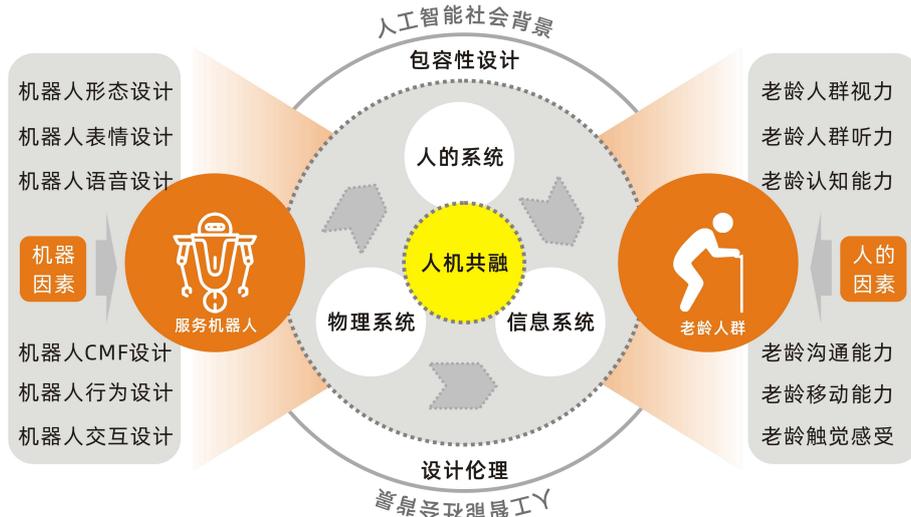


图7 人工智能背景下老龄服务机器人的设计框架

Fig.7 Design framework of aging service robot under the background of artificial intelligence

设计研究框架。系统的核心由“人的系统”、“物理系统”和“信息系统”三块构成，三者共同围绕人机共融的核心目标；系统的左侧为老龄服务机器人的设计因素，主要包含老龄服务机器人的形态设计、表情设计、语音设计、CMF（色彩、材质和表面处理工艺）设计、行为和交互设计等；系统的右侧为老龄人群的因素，主要包含老龄人群的视力因素、听力因素、认知能力、沟通能力、移动能力和触觉感受能力等。人工智能背景下老龄服务机器人的设计框架见图7。

对老龄服务机器人的未来发展而言，人机共融是其未来趋势之一。共融机器人是指能与环境、人类进行自然交互、自主适应的服务机器人<sup>[62-63]</sup>。在未来的老龄服务机器人设计中，人工智能和自动化可以减少老龄人群在脑力和生理上的工作负荷。然而，随着自动化和智能化程度的越来越高，老龄人群的角色实际上变得更重要。目前提出的“以人为中心的自动化”，其设计的挑战就是如何使人机完美结合，体现人机共融态势<sup>[64-65]</sup>。具体而言，实现老龄服务机器人的“人机共融”要有以下3种设计策略：（1）人机交互的主动感知与自然交互；（2）机器手臂的柔顺运动和安全策略；（3）服务机器人的自主行为和群体智能。总而言之，老龄服务机器人的人机共融的核心问题，就是在老龄人群与服务机器人中加入足够的心理情感交互信息，使老龄服务机器人具备理解、回应老年人的情感和需求的的能力，更好地为老龄人群提供服务。在未来，人机共融技术将使得服务机器人逐步走进老龄人群的生活，陪伴在老龄人群的身边，更好地提高老龄人群的生活便利性和生活质量。

#### 4 结语

本文通过对国内外相关学者文献的梳理和总结，探讨了老龄服务机器人的包容性设计和设计伦理两

大问题。随着人工智能飞速发展，在老龄服务机器人面临复杂决策情景的时候，只凭借数学算法和深度学习去进行决策是远不够的。这时就需要设计学、心理学、社会学、人类学、伦理学等多学科的介入。未来研究面临着3个主要问题：（1）老龄服务机器人的外观和交互设计如何符合老龄人群的心智模型；（2）老龄服务机器人的行为和人类行为具有一定差异，拟人化的界限如何制定；（3）老龄服务机器人设计伦理问题的异化问题如何规范。总之，对于老龄服务机器人的设计研究而言，应该深切理解和关注其所涉及的包容性和伦理问题。这不仅关乎人类的未来，也蕴含着对老龄人群自由、尊严和关怀的终极意义。

#### 参考文献：

- [1] 国务院. 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知[EB/OL]. (2017-07-20)[2020-12-11]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content\\_5211996.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm). The State Council. Notice of the State Council on Issuing the Development Plan for New Generation Artificial Intelligence[EB/OL]. (2017-07-20)[2020-12-11]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content\\_5211996.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm).
- [2] 翟振明, 彭晓芸. “强人工智能”将如何改变世界——人工智能的技术飞跃与应用伦理前瞻[J]. 人民论坛·学术前沿, 2016(7): 22-33. ZHAI Zhen-ming, PENG Xiao-yun. How Will “Strong Artificial Intelligence” Change the World: Prospects of the Technological Progress and Application Ethics of Artificial Intelligence[J]. Frontiers, 2016(7): 22-33.
- [3] 覃京燕. 量子思维对人工智能、大数据、万联网语境下的交互设计影响研究[J]. 装饰, 2018(10): 34-39. QIN Jing-yan. Impaction of Quantum Thinking on Interaction Design in the Context of AI, Big Data and

- Internet of Everything[J]. Zhuangshi, 2018(10): 34-39.
- [4] 吴琼. 人工智能时代的创新设计思维[J]. 装饰, 2019(11): 18-21.  
WU Qiong. Innovative Design Thinking in the Era of Artificial Intelligence[J]. Zhuangshi, 2019(11): 18-21.
- [5] 民政部. 智慧健康养老产业发展行动计划(2017—2020年)[EB/OL]. (2017-02-20)[2020-12-11]. <http://www.mca.gov.cn/article/gk/ghjh/201801/20180115007164.shtml>. Ministry of Civil Affairs. Smart Health Care Industry Development Action Plan(2017-2020)[EB/OL]. (2017-02-20)[2020-12-11]. <http://www.mca.gov.cn/article/gk/ghjh/201801/20180115007164.shtml>.
- [6] 葛延凤, 王列军, 冯文猛, 等. 我国健康老龄化的挑战与策略选择[J]. 管理世界, 2020, 36(4): 86-96.  
GE Yan-feng, WANG Lie-jun, FENG Wen-meng, et al. The Challenge and Strategy Selection of Healthy Aging in China[J]. Management World, 2020, 36(4): 86-96.
- [7] 左美云. 智慧养老的机遇与挑战[J]. 中国社会工作, 2020(23): 20.  
ZUO Mei-yun. Opportunities and Challenges of Intelligent Elderly Care[J]. China Social Work, 2020(23): 20.
- [8] 张云英, 马文文. 基于科学知识图谱的国内智慧养老研究热点与前沿解析[J]. 中国老年学杂志, 2020, 40(4): 888-892.  
ZHANG Yun-ying, MA Wen-wen. Domestic Research Hotspots and Frontier Analysis of Smart Elderly Care Based on the Scientific Knowledge Map[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2020, 40(4): 888-892.
- [9] 左美云, 刘勃勃, 刘方. 老年人信息需求模型的构建与应用[J]. 管理评论, 2009, 21(10): 70-77.  
ZUO Mei-yun, LIU Qing-qing, LIU Fang. Model of the Elderly's Information Needs: Design and Application[J]. Management Review, 2009, 21(10): 70-77.
- [10] SALICHS M A, CASTRO-GONZÁLEZ Á, SALICHS E, et al. Mini: a New Social Robot for the Elderly[J]. International Journal of Social Robotics, 2020(1): 1-19.
- [11] MANNION A, SUMMERVILLE S, BARRETT E, et al. Introducing the Social Robot MARIO to People Living with Dementia in Long Term Residential Care: Reflections[J]. International Journal of Social Robotics, 2019: 1-13.
- [12] ČAIĆM, MAHR D, ODERKERKEN-SCHRÖDER G. Value of Social Robots in Services: Social Cognition Perspective[J]. Journal of Services Marketing, 2019(7).
- [13] SCOGLIO AA J, REILLY E D, GORMAN J A, et al. Use of Social Robots in Mental Health and Well-being Research: Systematic Review[J]. Journal of Medical Internet Research, 2019, 21(7): 13322.
- [14] HUNG L, LIU C, WOLDUM E, et al. The Benefits of and Barriers to Using a Social Robot PARO in Care Settings: a Scoping Review[J]. BMC Geriatrics, 2019, 19(1): 232.
- [15] KÖRTNER T. Ethical Challenges in the Use of Social Service Robots for Elderly People[J]. Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie, 2016, 49(4): 303-307.
- [16] DE GRAFF M M, ALLOUCH S B, KLAMER T. Sharing a Life with Harvey: Exploring the Acceptance of and Relationship-building with a Social Robot[J]. Computers in Human Behavior, 2015, 43: 1-14.
- [17] 林镇郁, 唐林涛. 人与陪伴机器人的近体学交互研究[J]. 设计, 2020, 33(1): 32-34.  
LIN Zhen-yu, TANG Lin-tao. Relationship of Human Companion Robot Interaction and Proxemics[J]. Design, 2020, 33(1): 32-34.
- [18] 葛翔, 许诗卉, 王璟铭, 等. 服务机器人的屏幕设计偏好研究[J]. 人类工效学, 2020, 26(2): 26-30.  
GE Xiang, XU Shi-hui, WANG Jing-ming, et al. Preferences of Screen Designs for Service Robots[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2020, 26(2): 26-30.
- [19] 王秋惠, 张一凡, 刘力蒙. 老龄服务机器人人机界面设计研究进展[J]. 机械设计, 2018, 35(9): 105-113.  
WANG Qiu-hui, ZHANG Yi-fan, LIU Li-meng. Advance in Human-Robot Interface Design of Service Robot for the Elderly[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(9): 105-113.
- [20] 胡佳雄, 徐迎庆. 情感语音聊天机器人“护甲熊”[J]. 装饰, 2019(6): 24-25.  
HU Jia-xiong, XU Ying-qing. Emotional Voice Chat Robot “Armor Bear”[J]. Zhuangshi, 2019(6): 24-25.
- [21] 李洁, 郭士杰. 人形机器人造型意象与用户情感认知研究[J]. 机械设计, 2019, 36(5): 134-138.  
LI Jie, GUO Shi-jie. Image Modeling Design and User Emotional Cognition of Humanoid Robot[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(5): 134-138.
- [22] 刘春丽, 王爱红. 基于眼动实验的学龄前儿童机器人设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 210-216.  
LIU Chun-li, WANG Ai-hong. Design of Preschooler Robot based on Eye Movement Test[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(24): 210-216.
- [23] 王秋惠, 魏玉坤, 刘力蒙. 康复机器人研究与应用进展[J]. 包装工程, 2018, 39(18): 83-89.  
WANG Qiu-hui, WEI Yu-kun, LIU Li-meng. Review of Rehabilitation Robot on Research and Application[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(18): 83-89.
- [24] 张腾宇, 张静莎. 老年陪护机器人的功能需求调查与分析[J]. 社会福利(理论版), 2019(8): 52-57.  
ZHANG Teng-yu, ZHANG Jing-sha. Survey and Analysis on the Functional Needs of Elderly Companion Robot[J]. Social Welfare(Theoretical edition), 2019(8): 52-57.
- [25] 李科平, 宋畅, 尾方義人. 面向家用机器人设计的高龄者使用者行为调查和分析[J]. 工业设计, 2019(2): 135-136.  
LI Ke-ping, SONG Chang, YOSHITO O. Investigation and Analysis of User Behavior of Older Persons Oriented to Home Robot Design[J]. Industrial Design, 2019(2): 135-136.
- [26] 赵雅婷, 赵韩, 梁昌勇, 等. 养老服务机器人现状及

- 其发展建议[J]. 机械工程学报, 2019, 55(23): 13-24.  
ZHAO Ya-ting, ZHAO Han, LIANG Chang-yong, et al. Current Situation and Development Suggestions of Old-age Service Robot[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(23): 13-24.
- [27] 程子真, 张琪, 甘燕玲. 机器人在老年人家庭护理中的应用研究进展[J]. 护理学报, 2019, 26(9): 42-45.  
CHENG Zi-zhen, ZHANG Qi, GAN Yan-ling. Research Progress on the Application of Robots in Elderly Home Care[J]. Journal of Nursing, 2019, 26(9): 42-45.
- [28] 冷敏敏, 张萍, 胡明月, 等. 宠物机器人在老年痴呆患者照护中的应用进展[J]. 中华护理杂志, 2018, 53(12): 1498-1503.  
LENG Min-min, ZHANG Ping, HU Ming-yue, et al. Application of Pet Robots in the Care of Patients with Dementia[J]. Chinese Journal of Nursing, 2018, 53(12): 1498-1503.
- [29] 何瑛, 李伦. 机器人在护理领域中的应用进展[J]. 中华护理杂志, 2018, 53(9): 1140-1143.  
HE Ying, LI Lun. Research Progress on Application of Robots in Nursing[J]. Chinese Journal of Nursing, 2018, 53(9): 1140-1143.
- [30] 许静. 机器人在阿尔茨海默症患者治疗和护理中的应用研究[J]. 护理管理杂志, 2018, 18(1): 56-59.  
XU Jing. Application of Robots in the Treatment and Nursing of Patients with Alzheimer Disease[J]. Journal of Nursing Administration, 2018, 18(1): 56-59.
- [31] 李思佳, 倪士光, 王学谦, 等. 社会辅助型机器人: 探索老年心理健康护理的新方法[J]. 中国临床心理学杂志, 2017, 25(6): 1191-1196.  
LI Si-jia, NI Shi-guang, WANG Xue-qian, et al. Socially Assistive Robot: Explore a New Method of Psychological Healthcare for the Elderly[J]. Chinese Journal of Clinical Psychology, 2017, 25(6): 1191-1196.
- [32] 张凯, 朱博伟. 包容性设计研究进展、热点与趋势[EB/OL]. (2020-03-17)[2020-09-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200317.1450.016.html>.  
ZHANG Kai, ZHU Bo-wei. Research Progress, Hotspots and Development Trend of Inclusive Design[EB/OL]. (2020-03-17)[2020-09-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200317.1450.016.html>.
- [33] 董华, 宁维宁, 侯冠华. 认知能力测量: 基于包容性设计的文献综述[J]. 工业工程与管理, 2016, 21(5): 111-116.  
DONG Hua, NING Wei-ning, HOU Guan-hua. Measuring Cognitive Capability: a Literature Review Based on Inclusive Design[J]. Industrial Engineering and Management, 2016, 21(5): 111-116.
- [34] 黎昉, 董华. 通用设计与包容性设计原则的发展和挑战[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计), 2018(5): 71-78.  
LI Fang, DONG Hua. Development and Challenges of Universal Design and Inclusive Design Principles[J]. Journal of Nanjing Arts Institute(Fine Arts & Design), 2018(5): 71-78.
- [35] 李雪亮, 巩森森. 移动互联网视角下老年人智能产品服务设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(2): 57-60.  
LI Xue-liang, GONG Miao-sen. Intellectual Product Service Design for the Elderly from the Perspective of Mobile Internet[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(2): 57-60.
- [36] 赵超. 老龄化设计: 包容性立场与批判性态度[J]. 装饰, 2012(9): 16-21.  
ZHAO Chao. Design for Ageing: an Inclusive Stance and Critical Attitude[J]. Zhuangshi, 2012(9): 16-21.
- [37] 何灿群, 肖维祯. 服务机器人中的拟人化设计研究[J]. 装饰, 2020(4): 27-31.  
HE Can-qun, XIAO Wei-zhen. Anthropomorphic Design of Service Robots[J]. Zhuangshi, 2020(4): 27-31.
- [38] 许丽颖, 喻丰. 机器人接受度的影响因素[J]. 科学通报, 2020, 65(6): 496-510.  
XU Li-ying, YU Feng. Factors that Influence Robot Acceptance[J]. Chinese Science Bulletin, 2020, 65(6): 496-510.
- [39] 许丽颖, 喻丰, 邬家骅, 等. 拟人化: 从“它”到“他”[J]. 心理科学进展, 2017, 25(11): 1942-1954.  
XU Li-ying, YU Feng, WU Jia-hua, et al. Anthropomorphism: Antecedents and Consequences[J]. Advances in Psychological Science, 2017, 25(11): 1942-1954.
- [40] 喻丰, 许丽颖. 人工智能之拟人化[J]. 西北师大学报(社会科学版), 2020, 57(5): 52-60.  
YU Feng, XU Li-ying. Artificial Intelligence and Anthropomorphism[J]. Journal of Northwest Normal University(Social Sciences), 2020, 57(5): 52-60.
- [41] 喻丰. 论人工智能与人之为为人[J]. 人民论坛·学术前沿, 2020(1): 30-36.  
YU Feng. On AI and Human Beings[J]. Frontiers, 2020(1): 30-36.
- [42] 牟宇鹏, 丁刚, 张辉. 人工智能的拟人化特征对用户体验的影响[J]. 经济与管理, 2019, 33(4): 51-57.  
MOU Yu-peng, DING Gang, ZHANG Hui. The Influence of Anthropomorphic Characteristics of Artificial Intelligence on User Experience[J]. Economy and Management, 2019, 33(4): 51-57.
- [43] 岳程. 人工智能拟人化的发展应用与文化设计体验[J]. 工业设计, 2019(5): 133-135.  
YUE Cheng. Developmental Application and Cultural Design Experience of Artificial Intelligence Anthropomorphism[J]. Industrial Design, 2019(5): 133-135.
- [44] 李昕, 李红红, 窦祎, 等. 情感计算——一个探索人类情感的神秘工具[J]. 生物医学工程学杂志, 2013, 30(6): 1368-1372.  
LI Xin, LI Hong-hong, DOU Yi, et al. Affective Computing: a Mysterious Tool to Explore Human Emotions[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2013, 30(6): 1368-1372.
- [45] WILLEMSE C J A M, VAN ERP J B F. Social Touch in Human-robot Interaction: Robot-initiated Touches can Induce Positive Responses without Extensive Prior Bonding[J]. International journal of Social Robotics, 2019, 11(2): 285-304.

- [46] KONOK V, KORCSOK B, MIKLÓSI Á, et al. Should We Love Robots? The Most Liked Qualities of Companion Dogs and How They Can be Implemented in Social Robots[J]. *Computers in Human Behavior*, 2018, 80: 132-142.
- [47] 张建文. 建设以阿西莫夫机器人学法则为基础的现代人工智能伦理——以《机器人学与人工智能示范公约》的解读为基础[J]. *山东社会科学*, 2020(7): 28-35. ZHANG Jian-wen. Establishing the Modern Ethics of AI on the Basis of Asimov's "Three Laws of Robotics": Based on an Interpretation of the "Model Convention of Artificial Intelligence and Robotics Research"[J]. *Shandong Social Sciences*, 2020(7): 28-35.
- [48] 谢洪明, 陈亮, 杨英楠. 如何认识人工智能的伦理冲突?——研究回顾与展望[J]. *外国经济与管理*, 2019, 41(10): 109-124. XIE Hong-ming, CHEN Liang, YANG Ying-nan. How to Comprehend the Ethical Conflict of Artificial Intelligence? A Literature Review and Prospects[J]. *Foreign Economics & Management*, 2019, 41(10): 109-124.
- [49] 王亮. 社交机器人“单向度情感”伦理风险问题刍议[J]. *自然辩证法研究*, 2020, 36(1): 56-61. WANG Liang. Discussion on "Unidirectional Emotional" Ethical Risk Arising from Social Robots[J]. *Studies in Dialectics of Nature*, 2020, 36(1): 56-61.
- [50] 刁生富, 蔡士栋. 情感机器人伦理问题探讨[J]. *山东科技大学学报(社会科学版)*, 2018, 20(3): 8-14. DIAO Sheng-fu, CAI Shi-dong. On Ethical Issues of Emotional Robots[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology(Social Sciences)*, 2018, 20(3): 8-14.
- [51] 喻丰, 许丽颖. 如何做出道德的人工智能体?——心理学的视角[J]. *全球传媒学刊*, 2018, 5(4): 24-42. YU Feng, XU Li-ying. How to Make an Ethical Artificial Intelligence? Answer from a Psychological Perspective[J]. *Global Media Journal*, 2018, 5(4): 24-42.
- [52] 游辉辉, 马永慧. 伴侣机器人应用的伦理、社会问题探讨[J]. *中国医学伦理学*, 2019, 32(8): 991-999. YOU Hui-hui, MA Yong-hui. Discussions on the Ethical and Social Issues of the Application of Sexbots[J]. *Chinese Medical Ethics*, 2019, 32(8): 991-999.
- [53] 彭凯平, 喻丰. 道德的心理物理学: 现象、机制与意义[J]. *中国社会科学*, 2012(12): 28-45. PENG Kai-ping, YU Feng. The Psychophysics of Morality: Phenomena, Mechanism and Meaning[J]. *Social Sciences in China*, 2012(12): 28-45.
- [54] 彭凯平, 喻丰, 柏阳. 实验伦理学: 研究、贡献与挑战[J]. *中国社会科学*, 2011(6): 15-25. PENG Kai-ping, YU Feng, BAI Yang. Experimental Ethics: New Challenges and Contributions to the Understanding of Human Moral Behaviors[J]. *Social Sciences in China*, 2011(6): 15-25.
- [55] 王健, 林津如. 护理机器人补位子女养老的伦理风险及其防范[J]. *道德与文明*, 2019(3): 131-137. WANG Jian, LIN Jin-ru. The Ethical Risks and Prevention of Nursing Robots to Supplement Children[J]. *Morality and Civilization*, 2019(3): 131-137.
- [56] 于雪, 李伦. 人工智能的设计伦理探析[J]. *科学与社会*, 2020, 10(2): 75-88. YU Xue, LI Lun. The Analysis on Design Ethics of Artificial Intelligence[J]. *Science and Society*, 2020, 10(2): 75-88.
- [57] 陈剑. 人工智能产品的设计伦理向度[J]. *美术观察*, 2017(8): 20-21. CHEN Jian. The Design Ethics of Artificial Intelligence Products[J]. *Art Observation*, 2017(8): 20-21.
- [58] 周至禹. 人工智能系统及产品设计的伦理问题探究[J]. *创意与设计*, 2019(1): 23-30. ZHOU Zhi-yu. Ethical Issues of Artificial Intelligence System and Product Design[J]. *Creation and Design*, 2019(1): 23-30.
- [59] 张英. 关于智能产品设计伦理问题的研究[J]. *设计*, 2018(3): 49-50. ZHANG Ying. Ethics of Intelligent Product Design[J]. *Design*, 2018(3): 49-50.
- [60] 大泽博隆, 鲁翠. 人与智能体交互: 与人相关的人工智能系统设计[J]. *装饰*, 2016(11): 14-21. OSAWA Hiroshima, LU Cui. Human-Agent Interaction: Designing Artificial Intelligence System for Human[J]. *Zhuangshi*, 2016(11): 14-21.
- [61] 宋武, 熊海林, 李艳. 工业设计视域下人因技术在人机智能交互中的应用[J]. *装饰*, 2019(2): 71-73. SONG Wu, XIONG Hai-lin, LI Yan. Application of Human Factors Technology in Human-Computer Intelligent Interaction from the Perspective of Industrial Design[J]. *Zhuangshi*, 2019(2): 71-73.
- [62] 国家自然科学基金委员会重大研究计划“共融机器人基础理论与关键技术研究”[J]. *模式识别与人工智能*, 2019, 32(1): 94-95. Major Research Project of National Natural Science Foundation of China "Research on Basic Theory and Key Technology of Coexisting-Cooperative-Cognitive Robots"[J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2019, 32(1): 94-95.
- [63] 王志军, 刘璐, 李占贤. 共融机器人综述及展望[J]. *制造技术与机床*, 2020(6): 30-38. WANG Zhi-jun, LIU Lu, LI Zhan-xian. A Review and Outlook of Coexisting-Cooperative-Cognitive Robots[J]. *Manufacturing Technology & Machine Tool*, 2020(6): 30-38.
- [64] 刘伟. 人机融合智能时代的人心[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2020(1): 37-43. LIU Wei. The Human Mind in the Age of Man-Machine Integration Intelligence[J]. *Frontiers*, 2020(1): 37-43.
- [65] 刘伟. 人机融合智能的再思考[J]. *人工智能*, 2019(4): 112-120. LIU Wei. Rethinking the Integration of Human and Machine Intelligence[J]. *AI-View*, 2019(4): 112-120.