

基于仿生设计的上肢受限者日用器具适配性研究

侯敏枫, 王晓雨

(上海应用技术大学, 上海 2004237)

摘 要: 本研究旨在解决上肢功能受限人群在使用日用器具时面临的操作阻碍与体验难题, 把患有肌无力的患者与独臂人士作为主要研究对象, 采用能力谱分析、任务链拆解等手段, 系统整理了该群体在日用器具使用中的核心痛点, 依托仿生设计原理, 研究构建了包含操作逻辑简化、交互界面优化以及稳定机制强化三个维度的适配性策略体系, 验证了基于用户研究的仿生设计方法在增强特殊人群日用器具适配性上的有效性, 为相关领域的设计创新提供了一定的参考借鉴。

关键词: 仿生设计; 上肢受限者; 适配性

中图分类号: TS664.1 ; TU238

DOI: <https://doi.org/10.71411/-2025-vli3-899>

Research on the Adaptability of Daily Use Appliances for Limb-Limited Individuals Based on Bionic Design

Hou Minfeng, Wang Xiaoyu

(1.Shanghai Institute of Technology, Shanghai 2004237)

Abstract: This study addresses operational barriers and experience challenges encountered by individuals with upper limb limitations during daily utensil use. Focusing on myasthenia gravis patients and unilateral arm amputees as primary subjects, the research employs capacity spectrum analysis and task chain decomposition to systematically identify core difficulties in product interaction. Grounded in bionic design principles, we have developed a comprehensive adaptive strategy framework comprising three key dimensions: streamlined operational logic, optimized interaction interfaces, and enhanced stability mechanisms. This investigation validates the efficacy of user research-driven bionic design methodology in improving utensil adaptability for special populations, while offering valuable insights for design innovation in related

domains. The findings demonstrate how biologically-inspired solutions can effectively address functional limitations while maintaining practical usability in everyday contexts.

Keywords: Bionic Design; Individuals with Limited Upper Limbs; Adaptability

上肢功能受限人群在操作日用器具时，常面临“持握不稳、操作流程繁琐、难以独立完成取具-使用-收纳全环节”的显著障碍。现有产品多基于“通用设计”框架开发，虽能覆盖广谱用户需求，却难以针对性解决该群体对“操作简化、把持稳定、低发力门槛”的特殊诉求，直接影响其独立生活的自主性与品质。仿生设计因能从生物系统中提取“结构适配、功能高效、行为低耗”的核心特性，是解决复杂人机适配问题的有效路径，但其在该类日用器具中的应用潜力尚未被充分挖掘——现有研究多停留在形态仿生层面，缺乏“仿生特征与用户痛点的精准转译”逻辑。

本研究旨在探索基于仿生学原理的上肢受限者日用器具适配性方法，通过界定肌无力、独臂人群的核心需求及操作短板，制定适配性策略框架，以提供一套能迁移的设计方法及转化路径。

1 仿生设计概述

1.1 仿生设计的概念

仿生设计是一门将自然界生物的形态、结构、功能及行为等特征进行系统观察、分析并提炼的跨学科手段，并创新性地把它运用到人工产品设计当中的跨学科方法，其核心逻辑是从生物系统的“最优解”中吸纳灵感，借助模拟或转译生物的优势特性达成产品功能优化、操作简化及体验创新。从整个发展脉络来看，这个领域从早期单纯模仿形态进化到现代多维度的系统借鉴，现代仿生设计已形成“形态、结构、功能、体验”一体化的设计逻辑，为解决复杂产品适配性及易用性方面的问题提供了独特创新方式。

1.2 仿生设计的方法与分类

在设计实践中，仿生设计依据其对自然借鉴的抽象程度与侧重层面，可系统划分为形态仿生、结构仿生与功能仿生三类，共同构成从自然灵感通向创新设计的多元路径。产品的形态仿生设计是指设计师在设计流程中提炼和改造某一生物或自然对象的整体或局部特征，并将其应用于产品外观的创作手法^[1]。结构仿生则主要借鉴生物内部构造以优化产品的力学性能与轻量化；功能仿生是更深层次的借鉴，主要是一种通过研究自然生物的客观功能原理和特征，并在设计过程中加以应用以达到促进产品功能改进和新产品功能开发的技术方法^[2]。

2 上肢功能受限人群日用器具使用分析

2.1 目标群体界定与特征

本研究旨在解决上肢功能受限人群在使用日用器具时面临的共性挑战，通过对目标用户进行问卷调研（共回收有效问卷 137 份），并结合深度访谈的质性分析，最终选定在功能障碍模式上具有典型代表性的肌无力患者与独臂人士作为核心研究对象，选取依据主要基于两类用户所呈现的典型对立特征：肌无力患者属于“功能衰减型”障碍，表现为肌肉能量的系统性匮乏；而独臂人士则属于“结构缺失型”障碍，核心矛盾为操作链的结构性中断。这一界定为本研究构建具有针对性的适配策略奠定了清晰的用户基础，两类群体的核心特征与需求归纳如表 1 所示。

表 1 用户核心特征与需求（来源：作者自绘）

用户群体	核心特征与困境	典型行为模式	核心设计需求
肌无力患者 (N=72)	神经肌肉功能衰退，导致持续的肌肉力量与耐力严重不足	91.4% 存在持物移动困难； 86.2% 无法一次性完成旋拧等操作 操作中普遍存在震颤现象	降低操作能耗 把持稳定性
独臂人士 (N=65)	固有的“双手协同”操作链断裂，无法完成需双侧配合的任务	所有受访者均发展出代偿行为；87.8% 的受访者最大痛点为“固定器具的同时执行操作”	单手流程闭环 辅助固定方案

2.1.1 肌无力患者

肌无力患者的核心困境源于神经肌肉功能的本源性衰退，这造成他们在完成日常操作时面临系统性挑战，为透彻理解其生活形态及需求层次，本研究对其行为模式和诉求进行总结归纳，详细内容见表 2，该群体的日常生活被看成是一

种精密的“能耗管理”，完成简单任务时，往往需付出比正常人多几倍的努力，在这个学习的阶段里，挫败感成了他们最主要的痛苦源头^[3]，其宏观需求是找寻可极大降低操作能耗、减少重复操作的日用解决办法，避免过早陷入疲累，以维持自理能力与自主尊严的时间更为长久。

表 2 肌无力患者具体行为模式与需求层次（来源：作者自绘）

主要特征	行为模式表现	需求维度	需求强度
肌肉易疲劳性	主动避免重复性或持续性操作	操作能耗最小化	98.6%
肌力持续性不足	将任务分解为多个间歇性子任务	操作流程简化	88.9%
生理性震颤	双手持物以增强稳定性	把持稳定性增强	94.4%
精细控制能力减弱	偏好使用手掌代替手指进行抓握	防滑防脱手设计	91.7%

2.1.2 独臂人士

独臂人士的挑战在于操作链的结构性断裂。其独特的行为逻辑与需求焦点如表 3 所示。该群体的核心生活现实是固有的“双手协同”操作模式被强制中断。其日常活动充满了对替代性策略与代偿行为的依赖。因此，他们对日用器具的核心诉求并非功能的简单实现，而在于产品能够支持并优化一套完整的、无缝衔接的单手操作逻

辑，以恢复任务流程的流畅性与使用的尊严感。

2.2 目标群体能力谱与操作短板

为了精准量化上肢功能受限用户的能力短板，本研究采用 Likert 五点量表（1= 无障碍，5= 极度困难）对目标群体的七项核心操作能力进行了系统性评估。137 份有效问卷的统计结果如表 4 所示，该表呈现了肌无力患者与独臂人士在不同能力维度上的困难度均值与数据分布。

表 3 独臂人士具体行为特征与需求层次（来源：作者自绘）

主要特征	行为模式表现	需求维度	需求强度
双手协同功能缺失	发展出身体部位代偿固定策略	单手操作流程闭环	100%
单侧肢体负荷过重	健侧肢体存在重复性劳损风险	辅助固定集成方案	95.9%
力矩控制难度增加	倾倒液体等非对称操作精度下降	操作力矩优化	85.7%
操作流程被迫中断	无法同步完成固定与开启两个动作	功能整合	100%

表 4 用户核心能力维度困难度（来源：作者自绘）

能力维度	肌无力患者 (M±SD)	独臂人士 (M±SD)
抓握力	4.71 ± 0.46	2.89 ± 0.92
捏力	4.52 ± 0.58	3.15 ± 0.81
双手协调性	3.43 ± 1.12	4.92 ± 0.28
操作精度	3.81 ± 0.87	3.68 ± 0.85
负重耐力	4.83 ± 0.35	3.88 ± 0.74
关节活动度	2.95 ± 1.05	1.89 ± 0.76
重复操作耐力	4.63 ± 0.51	4.05 ± 0.63

可见，肌无力患者在力量与耐力相关维度上面临显著困难，其中抓握力、负重耐力及重复操作耐力的评分均接近量表上限，并且标准差较小，反映出该群体在这些方面存在普遍且一致的功能障碍；相比之下，独臂人士的功能障碍则呈现出明显的特异性，其双手协调性维度的困难度显著高于其他能力维度。为进一步揭示两类用户的能力特征差异，本研究基于表 4 的测评数据绘制了能力谱系雷达图（见图 1），该图谱直观展示了两类用户截然不同的能力轮廓特征，为后续的适配性设计提供了可视化依据。

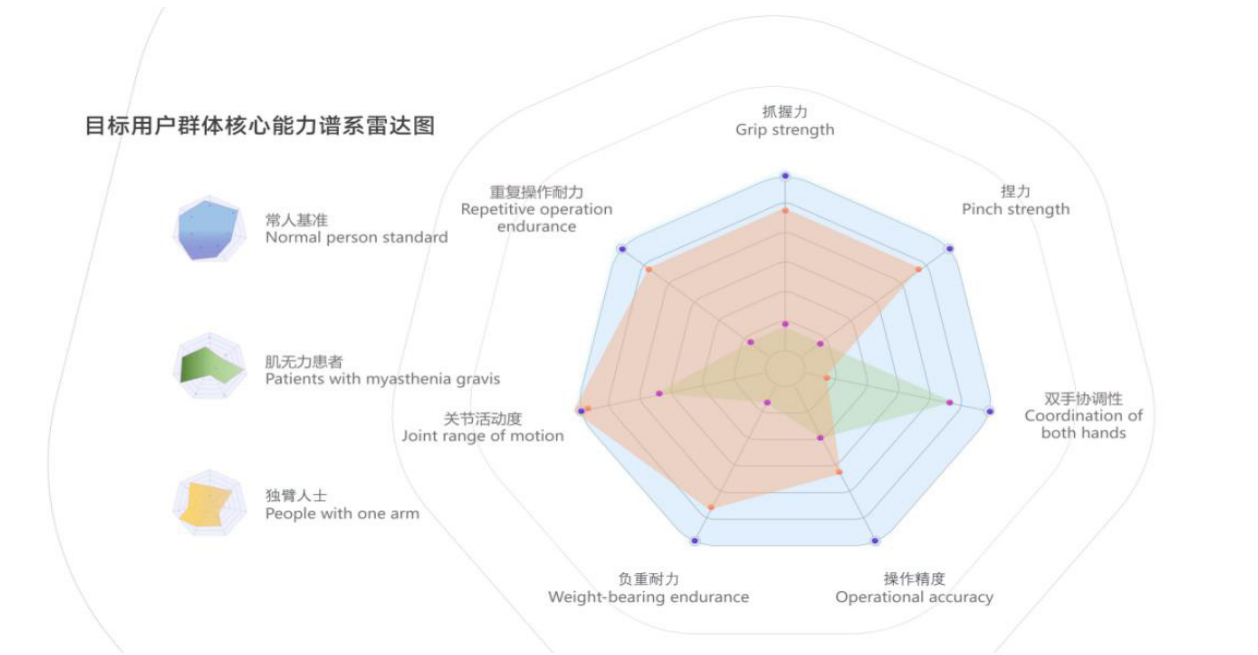


图 1 目标群体能力谱（来源：作者自绘）

2.3 使用情境分析与任务链拆解

为从用户视角系统性洞察其在完整使用周期中的困境，本小节选取日常饮水活动作为典型情境，并对其中交互任务链进行拆解。饮水是最高频、基本的日常活动之一，其中所暴露的抓握、稳定等问题，对于其他日用器具，如餐具、厨具等具有高度的代表性和普适性。

通过对构建的用户旅程图（图2）的分析可见，肌无力用户的体验低谷呈现出“持续性”与“波动性”特征。其挫败感伴随着整个需要力量维持的流程，尤其在开启与饮用阶段，因功能受限而

引发的焦虑感最为强烈。相比之下，独臂用户的体验则表现为“断崖式下跌”，其旅程在“开启”阶段遭遇了根本性的中断，强烈的无助感由此产生，而其他阶段若能实现单手操作则体验相对平稳。该旅程图清晰地指出，情绪的最低点正是设计干预的最高优先级，因此，后续的仿生适配策略不仅需要解决功能性的操作短板，更需致力于抚平这些情绪低谷，通过流畅、省力且优雅的设计，将用户的整体体验从“挫败”引向“顺畅”甚至“愉悦”。

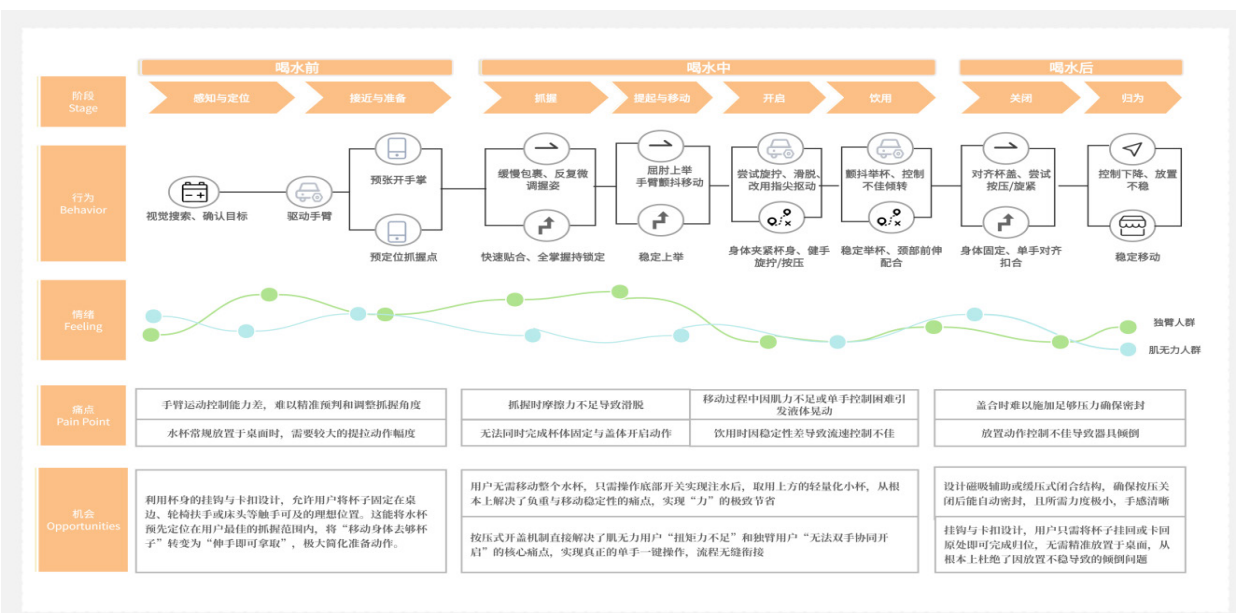


图2 上肢受限用户饮水活动用户旅程图（来源：作者自绘）

3 现有日用器具的市场现状

3.1 通用日用器具的适配困境

通用日用器具的适配困境，根植于其固化的交互逻辑与上肢受限用户动态能力模型之间的多重失配。在操作流程上，如削皮刀等器具（见图3）严格预设“双手协同”模式，致使独臂用户操作链断裂，肌无力用户则因难以协调“稳定”与“操作”而迅速疲劳；在发力模式上，诸如按压式笔的瞬时爆发力或拧干拖把的持续握力，均直接挑战肌无力用户的力竭极限；在力学结构上，

开启带盖饭盒所需的非对称力矩，使独臂用户无法施加双向力，肌无力用户则难以稳定器具。这些困境共同揭示了通用设计因对“标准”能力的隐性假设，而系统性地构筑了使用屏障。

为全景式展示通用设计的系统性局限，现将其困境归纳如下（表5），可见，通用设计的困境源于其“一刀切”的设计哲学，它未能为能力多样的用户群体提供灵活、自适应和可代偿的解决方案。

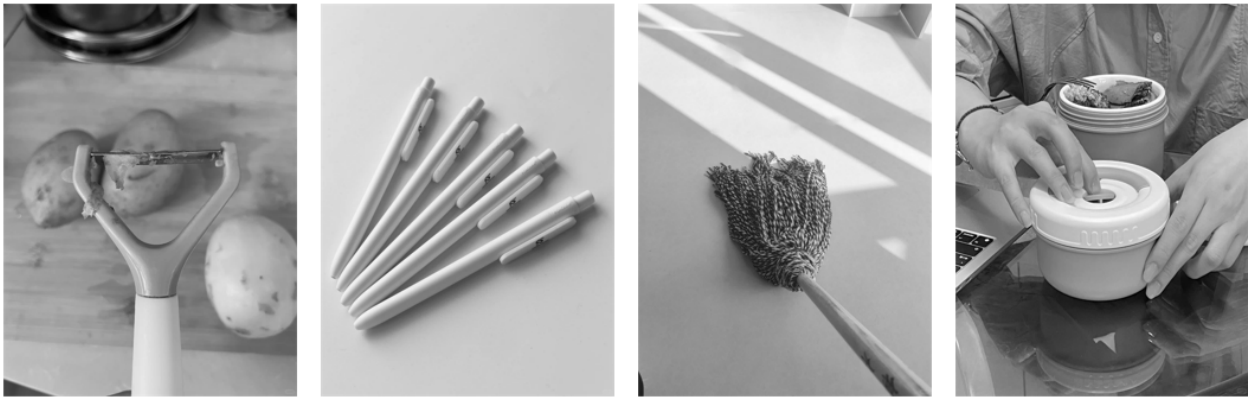


图 3 通用日用器具

表 5 通用日用器具适配困境的多维分析（来源：作者自绘）

困境类型	典型产品	肌无力用户	独臂用户	设计缺陷本质
双手协同	削皮刀、剪刀	任务协调困难	操作链断裂	未适配单通道操作
精细 / 持续发力	按压笔、拧水拖把	爆发力不足	重复性劳损风险	发力模型不匹配
非对称力矩	旋盖容器	无法稳定器具	无法施加双向力	结构缺乏自稳定
形态无代偿	光滑锅柄、鼠标	无法借形省力	无法用身体辅助	交互可能性单一

3.2 专用器具的设计现状与仿生应用

目前，专为上肢受限人群设计的日用器具，其发展呈现出明显的结构性失衡。设计焦点与前沿创新高度集中于高价值的医疗康复领域，如智能仿生假肢与上肢康复外骨骼等设备，虽体现了较高的技术水平，但其根本属性是专业的医疗器材，难以融入日常生活的多元场景，与普通日用器具之间存在显著鸿沟。这种“高技术、高成本、低普及”的状况，反映了当前专用器具设计在普惠性与日常化方面的系统性缺失。

更进一步看，即便是在有限的专用器具创新中，仿生设计的应用实践也相对匮乏且流于浅表，其在上肢受限人群日用器具领域的转化应用尚处于初级阶段。现有产品中，鲜有能够系统性地转译生物界高效、低耗的智能机制，并将其与用户的核心痛点深度结合的成熟案例。这种应用

深度与广度的双重不足，凸显了该领域在实现从生物智慧到日用产品无缝衔接的范式创新方面，仍面临巨大挑战，因此亟需一套能够系统转译生物智慧、直指用户核心痛点的顶层适配性策略。

4 上肢受限者日用器具的仿生适配性策略构建

为解决上肢功能受限群体在使用日用器具时面临的操作链断裂、把持困难及稳定性不足等系统性问题，本章基于仿生设计原理，构建了系统性适配策略（见图 4），旨在借鉴生物界在长期进化中所蕴含的卓越智慧，将其转化为普适性的设计方法论。

4.1 简化操作流程提炼仿生逻辑

面对上肢受限用户因肌力不足或协调性缺失而导致的“操作链”易断裂难题，本策略主张从自然界中提炼“高效低耗”的逻辑，对复杂任

务流程进行本质性简化。其核心在于借鉴生物的“最小能量原则”，将多步骤的繁琐操作转化为“触发-响应”式直觉化交互。例如，捕蝇草的预置闭合机制体现了典型的“单次触发，复杂响应”逻辑；同样，种子荚果的“预置化”结构智慧也极具启发性，仅需微风或轻微触碰等微小外力，即可实现种子的精准释放。

将此生物逻辑转译为设计策略，意味着应从根本上重构人机交互模式：以直观的“一键式”或“一步式”操作取代传统的旋拧、扳拉等需要复杂肌群协调的复合动作，从而将用户的意图与最终结果之间的执行路径缩至最短，这种基于仿生逻辑的流程简化策略，能够显著降低用户的认知与操作负荷。

4.2 聚焦易用需求转译仿生特征

针对用户因握力衰减、精细操作能力不足而导致的抓握乏力与操控精度问题，本策略聚焦于人机交互的物理接触，将表面处理、材质、造型、振动、物体间作用力归为触觉元素^[4]，致力于系统性地转译自然界中卓越的“自适应”与“增阻”生物特征。例如，章鱼的触手能够通过其肌肉静水骨骼结构实现柔性变形，主动包裹目标物体；树蛙的趾垫则通过复杂的微观毛细管道结构与表面分泌物，在湿滑表面上产生巨大的界面黏附力。这些卓越的生物原型深刻启示我们，面向上肢受限用户的器具易用性，不应通过要求用户增加力量输出来实现，而应使器具能够从被动工具转变为“主动伙伴”，动态适应用户的手部姿态与施力特性，将难以维持的持续握持力需求，转化为更易产生与控制的垂直压力，最终实现“以柔克刚、以巧制胜”的稳固抓持体验，从根本上提升交互的可靠性与舒适度。

4.3 强化稳定功能融入仿生机制

稳定性是上肢受限用户实现安全、独立操作，并建立使用信心的物理与心理基石，他们在

生活中不希望得到过多过分关注的眼神^[5]，因此本策略旨在将自然界中经过亿万年自然选择考验的稳定机制，创造性地融入器具的静态放置与动态使用场景中。其灵感主要源于两个方面的生物智慧：一是如不倒翁般基于物理原理的“低重心自平衡”机制，有效防止意外倾覆。二是如蜘蛛、树蛙等生物所展现的“多模式锚定”机制，即通过吸附、钩挂等方式将自身牢固地锚定于各种复杂、不稳定的环境表面上。

将上述机制转译为普适性的设计语言，要求设计思维发生根本转变：器具不应再被视作一个孤立存在的对象，而应被理解为一个能够与使用环境，如桌面、背包、使用者身体形成紧密耦合的“情境化系统”，确保器具无论是在用户操作的间歇期，还是在使用过程中，都能在多样化的现实情境下提供可靠的稳定性保障，极大地增强了用户使用的安全感和自主性。



图4 上肢受限者日用器具的仿生适配性策略框架图（来源：作者自绘）



5 结语

本研究始于对上肢功能受限群体日常生活困境的深刻洞察，构建了一套系统的仿生适配性策略体系，并对其有效性进行了理论论证与路径阐释。该策略框架的真正价值，不在于任何虚幻的“智能化”，而在于通过对“操作逻辑”、“交互界面”与“稳定机制”的仿生学重构，从根本上寻求人机关系的突破，使产品成为能够融入环境的有机组成部分，同时将用户从繁重的体力与认知负荷中解放出来。这一探索也印证了设计的真谛——通过精准借鉴自然智慧消除根本性使用障碍，往往比叠加复杂功能更具价值。

基于此策略研究，初步探索出一条适用于上肢受限人群日用器具的仿生创新路径，并论证了该策略框架向其他日用产品迁移的可行性。我们更加确信，产品适配的本质在于让器具谦逊地融入生活场景，以无声而可靠的支持守护使用者的独立、尊严与生活品质。

参考文献：

- [1] 杨丹阳. 基于仿生设计理念的生活用品设计研究 [J]. 上海包装, 2025 (06): 194-196.
- [2] 杨莹莹. 基于行为动态仿生的上肢肌力康复训练器设计 [D]. 河北: 燕山大学, 2025, 28-34.
- [3] 丛诗萌, 王先昌. 基于通用设计理念的上肢残障人群产品设计研究 [J]. 工业设计, 2024 (05): 50-53.
- [4] 王献志, 李涵, 黄群. 面向视觉障碍者的辅具适配性设计研究 [J]. 设计, 2024, 37 (01): 126-129.
- [5] 李爽. 基于独臂残障人士心理的就餐辅具情感设计与研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2021, 25-31.

基金项目：

2023 年度上海市级重点课程“产品改良设计”课题阶段性成果, 项目编号: 10110M240084-A22

2024 年度上海应用技术大学“基于《产品改良设计》的知识图谱系统建构和教学应用”课题阶段性成果, 项目编号: 1021GK250003002094-A22

作者简介：

侯敏枫 (1971—), 男, 博士, 教授, 研究方向为产品设计。

王晓雨 (2003—), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为产品与陈设艺术设计。