

基于PCE模型的互联网适老化设计 研究与实现

胡奕涵, 贺子悦, 罗叶飞, 何桂

(湖南快乐阳光互动娱乐传媒有限公司, 湖南长沙 410005)

摘要: 目前,我国互联网行业适老化改造普遍存在“形式化失效”问题。为此,通过PCE模型构建了一套兼具理论严密性与工程实践性的适老化设计方法论。首先,以老年用户为中心进行人机交互,将经典Norman“执行—评估循环”模型前向拓展与适老化重构为“感知—理解—执行”三层递进式架构;其次,将认知老化理论中的感知衰退、记忆容量限制等特征精准映射至各层级,结合包容性设计原则形成“理论溯源—缺陷修正—专项适配”的完整逻辑闭环;最后,构建了一套具备理论依据与实证支撑的分级评价体系。通过理论溯源与实证检验发现,PCE模型可揭示适老化改造“形式化失效”的核心成因,即现有模型未适配老年用户“感知—理解—执行”全链路能力衰退特征,仅聚焦单一环节优化。PCE模型在芒果TV的适老化项目中的系统化落地,验证了其在提升用户体验上的优势显著,对深化数字包容、切实贯彻国家适老化政策具有重要的理论价值与实践意义。

关键词: 适老化;数字包容;人机交互;芒果TV;PCE模型

DOI: 10.11907/rjdk.251829

扫描二维码阅读全文: 

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2026)006-0113-09

Research and Implementation of Internet Age-Friendly Design Based on PCE Model

HU Yi-han, HE Zi-yue, LUO Ye-fei, HE Gui

(Hunan Happy Sunshine Interactive Entertainment Media Co., Ltd., Changsha 410005, China)

Abstract: At present, the problem of "formal failure" is common in the aging transformation of China's Internet industry. To this end, a suitable aging design methodology that combines theoretical rigor and engineering practicality was constructed using the PCE model. Firstly, with elderly users as the center, human-computer interaction is carried out, and the classic Norman "execution evaluation cycle" model is forward extended and age adapted to reconstruct into a three-layer progressive architecture of "perception understanding execution"; Secondly, the characteristics of perceptual decline and memory capacity limitation in cognitive aging theory are accurately mapped to various levels, and a complete logical loop of "theoretical traceability defect correction special adaptation" is formed by combining inclusive design principles; Finally, a hierarchical evaluation system with theoretical basis and empirical support was constructed. Through theoretical tracing and empirical testing, it has been found that the PCE model can reveal the core cause of the "formal failure" of aging adaptation, that is, the existing model is not adapted to the decline characteristics of the "perception understanding execution" full chain capability of elderly users, and only focuses on optimizing a single link. The systematic implementation of PCE model in Mango TV's aging friendly project has verified its significant advantages in improving user experience, and has important theoretical value and practical significance for deepening digital inclusiveness and effectively implementing national aging friendly policies.

Key Words: age-friendly; digital inclusion; human-computer interaction; Mango TV; PCE model

收稿日期: 2025-12-22

作者简介: 胡奕涵(1991-),女,硕士,湖南快乐阳光互动娱乐传媒有限公司中级工程师,研究方向为多维直播互动生态、大小屏联动及应用、交互式流媒体技术等;贺子悦(1995-),女,硕士,湖南快乐阳光互动娱乐传媒有限公司中级工程师,研究方向为多维直播互动生态、交互式流媒体技术、前沿技术应用等;罗叶飞(1985-),男,硕士,湖南快乐阳光互动娱乐传媒有限公司中级工程师,研究方向为移动端架构设计、移动应用安全和数据安全;何桂(1991-),男,本科,湖南快乐阳光互动娱乐传媒有限公司初级工程师,研究方向为移动端架构设计、系统安全、信息安全。本文通讯作者:何桂。

0 引言

我国正在经历大规模的人口老龄化进程。截至2025年,中国60岁以上老年人口已超过3亿,占总人口22%,预计还将不断攀升^[1]。工信部适老化评测相关数据显示,我国互联网行业适老化改造呈现出“形式化失效”困境,具体表现为:仅35%的头部应用完成深度改造,73%老年用户因操作障碍弃用核心功能,凸显了“形式化失效”的严峻性——老年群体虽接入网络,却难以享受数字红利^[2]。

为此,国家提出“弥合银发数字鸿沟”战略。相关部门对《老年人权益保障法》进行修订,明确数字产品需提供适老模式;《无障碍环境建设法》要求公共服务应用应保障老年人独立操作;工信部等部门也相继出台相关规范,例如《移动互联网应用适老化通用设计规范》以及相关认证流程。综上,本文旨在从产品技术角度,研究如何解决互联网行业适老模式的“形式化失效”问题,构建高效可复用的适老化模型,帮助、引导互联网行业更好地响应国家“弥合银发数字鸿沟”战略。

1 互联网行业适老化背景研究

1.1 必要性分析

(1)互联网应用适老化是我国法律和政策所要求。《老年人权益保障法》《无障碍环境建设法》明确要求企业提供的数字产品必须提供适老模式,若企业违反相关规定,可能面临高额罚款和名誉损失^[3,4]。

(2)互联网应用适老化可帮助老年用户更好的享受优质互联网服务。适老化“形式化失效”问题,使老年用户在使用互联网服务时存在诸多不便,甚至相当多老年用户直接弃用了本应在老年人群中高需求量的核心服务,包括在线医疗、线上购物、外卖快递、打车出行等。在芒果TV适老化改造过程中,调查问卷和用户反馈平台的数据显示,近五成的老年用户在使用芒果TV标准版时存在障碍,主要集中在字体小看不清、文案中网络流行词看不懂、流程复杂导致操作中断等问题。

(3)互联网应用适老化是互联网企业的创新增长引擎。我国老年人口已超过3亿,存在巨大的消费潜力。国务院发展研究中心银发经济蓝皮书相关数据显示,2025年银发经济规模高达7.3万亿元,占GDP比重6.2%,是一个不可或缺的巨大市场^[5]。

1.2 研究现状

(1)覆盖率高。工信部2025年适老化案例库数据显示,我国完成适老化的网站及APP已达到3 000个以上,凸显了我国“弥合银发数字鸿沟”战略正在快速实施和落地,证明了互联网企业已意识到适老化改造对企业的影响重大。同时,企业积极开展核心产品适老化改造,也促进了

银发经济的发展。

(2)有效性低。主要体现在“形式化失效”困境上,头部应用中仅35%完成深度改造,所有应用中有86%仅实施字体放大等表面优化,未重构交互逻辑,直接导致超过73%的老年用户因操作障碍弃用核心服务^[6]。

(3)技术经验不足。技术经验不足是造成互联网行业适老化“形式化失效”困境的主要原因,主要表现在:①无成熟可复用的技术框架。Norman的“执行—评估循环”模型是人机交互领域的经典模型,但在适老化场景上存在明显的缺陷^[7]。从理论角度分析,该模型完全以用户为中心,对计算机系统而言仅考虑到系统的界面部分,因此不够完整;未考虑到老年用户感知、理解、操作等能力的弱化,对老年用户并不友好^[8,9]。从工程实践角度分析,该模型仅限于理论指导,未提供细节化的设计方法和详细的实践步骤,更没有沉淀出行业通用的可复用技术框架,导致企业在适老化设计和开发阶段成本巨大,且无专业人才资源储备,导致大部分企业工程落地时只实现了简单的表面适配。②缺乏评价体系。现有的行业规范受众面广泛,须兼顾微小企业可能不具备适老化相关人才储备的事实,因此难以建立高标准、严要求的评价体系。例如,工信部《移动互联网应用适老化通用设计规范》要求适老化文字不小于18 pt,段落行距至少1.3倍等,但仅达到这些规范要求并不能成为优秀的适老化产品。因此,必须设计一套合理的分级化的评价体系,作为产品适老化程度的核心指标。③数据驱动缺失。适老版与标准版共用埋点系统,无法区分老年用户操作轨迹(如误触率、任务放弃点等),且由于老年用户占比相对较少,大部分老年用户的数据会被稀释,因此无法精准地反应实际应用情况。

2 PCE模型

2.1 模型概述

为解决当前互联网行业适老化的“形式化失效”困境问题,降低企业适老化改造成本。本文提出PCE(Perception-Comprehension-Execution)人机交互模型,即“感知—理解—执行”模型。PCE模型以老年用户为中心,核心思路是在进行适老化设计时,将每一次人机交互分解为“感知—理解—执行”三层递进式流程,每层流程都必须深入分析老年人的认知、行为特征差异,设计与之相符的产品和功能,并通过持续的功能迭代形成深度适配的老年化产品,整体架构如图1所示。

由图1可见,整体框架分为感知层(Perception)、理解层(Comprehension)、执行层(Execution)。感知层以认知老化理论的感知衰退特征为依据,结合认知代偿理论的多模态补偿逻辑,形成“视觉补偿+听觉代偿”的双重输入保障。感知层的核心任务是破除信息接收壁垒,通过视觉补偿与听觉代偿机制,确保产品核心信息与功能对老年用户而言

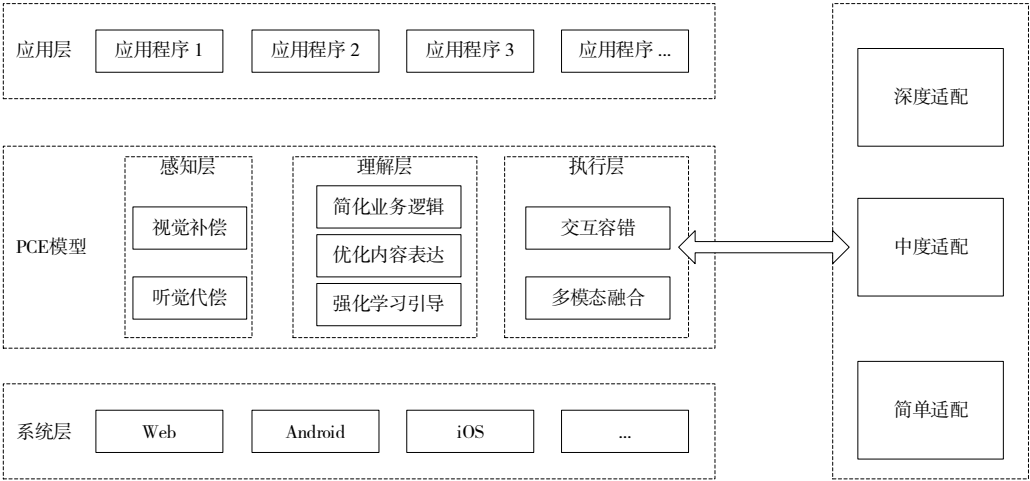


Fig. 1 PCE model architecture
图 1 PCE 模型架构

是可及、可辨、可清晰感知的。理解层以认知老化理论的工作记忆容量限制为核心,融合包容性设计的“通用简化”原则,通过“逻辑分层+表达适配”降低认知负荷^[10]。例如,设计核心功能层级≤3层,既契合老年用户工作记忆容量,又避免过度简化导致功能缺失,平衡了适配性与实用性。执行层确保意图明确,老年用户可能因行动控制能力下降(如手部抖动等)或对操作的精密度要求感到焦虑,导

致“做不到、易出错”^[11]。为此,执行层以认知老化理论的动作控制能力弱化为基础,结合 Norman 模型的“执行—反馈”逻辑,通过交互容错机制和多模态融合交互,形成操作容错和替代路径的双重保障^[12,13]。

PCE 模型的感知层、理解层、执行层均有明确的指标要求,如表 1 所示。

Table 1 Hierarchical indicator requirements for PCE model
表 1 PCE 模型的分层指标要求

层级	方案	指标项	指标要求
感知层 (Perception)	视觉补偿	字体优化	全局字体≥18 dp,标题,副标题,标签可再适当加大;行间距≥1.3 倍
		图标可辨识	关键图标≥60×60 普通图标≥45×45
		色彩无障碍	色弱色盲模式兼容
	听觉代偿	语音播报	长文本文案支持语音播报
		语音反馈	核心交互通过语音反馈交互结果
		交互容错机制	核心按钮点击区域≥60×60;普通按钮点击区域≥45×45;出现误操作时可提供撤销能力
理解层 (Comprehension)	简化业务逻辑	导航层级优化	核心功能首页直达,要功能不超过 3 层
		功能逻辑简化	核心功能需在 5 次交互内完成目标,复杂功能需提供学习引导,边缘业务移除或降级。
		语义精准化	去除网络流行词,涉及负面词汇
	优化内容表达	语句简洁化	避免长文案、夸张的营销话术、冗长的文学性描写
		图标具象化	全局图标必须具象化、高辨识度,必要时需配文字标签
		情景化引导	核心功能首次使用时,建议提供清晰的引导浮层
执行层 (Execution)	强化学习引导	深度学习	复杂的核心功能,需提供高清视频教程或者音频教程
		交互容错机制	核心按钮点击区域≥60×60;普通按钮点击区域≥45×45;出现误操作时可提供撤销能力
	多模态融合交互	语音交互	输入框用语音输入代替或辅助文字输入
		手势交互	对于精细化的触屏操作,建议辅以简单的手势交互
		生物体征标记	建议使用指纹、掌纹、声纹、人脸等生物体征代替常规的个人信

2.2 理论基础

PCE 模型并非对现有人机交互理论进行简单应用,而是针对老年用户的认知行为特征,对三大核心理论进行批判性继承与系统性重构的产物。模型的理论融合机制包含架构重构、认知映射、价值约束三大维度,以此构建模型理论内核。

(1) 基于 Norman“执行—评估循环”模型的架构重构。Norman 模型作为人机交互领域的经典范式,虽完整描述了交互过程,但在适老化场景下存在明显的感知盲区:隐含假设是指用户在“执行”前已具备完整的信息接收与处理能力,但认知老化研究表明,老年用户的障碍始于感知器官的衰退(如视力、听力下降等),若直接套用 Norman 模型

会掩盖感知层的输入障碍。为此,PCE模型对Norman模型进行前向拓展,在传统的“执行—评估”闭环之前,显性化并独立出感知层,构建了“感知→理解→执行→评估”的交互链路。这一重构并非简单的环节增加,而将交互的起点从执行意图前置至信息获取,从根本上确立了适老化设计的首要任务是破除信息接收壁垒。

(2)基于认知老化与认知代偿理论的精准认知映射^[14,15]。理论架构确立后,PCE模型引入认知老化理论,将抽象的生理心理衰退特征转化为具体的设计约束,实现“衰退特征—模型功能”的精准映射:①感知衰退映射,针对老年群体感知速度减慢、感官阈值升高的特征,在感知层融合认知代偿理论,通过“视觉补偿+听觉代偿”的双重机制,建立多模态输入通道,抵消单一感官的衰退;②记忆容量映射,针对工作记忆容量下降(“7±2”法则在老年期显著缩减)的特征,在理解层强制植入“逻辑分层”原则,将核心功能层级限制在3层以内,确保信息加工负荷处于老年用户的认知舒适区;③执行功能映射,针对动作控制能力弱化(如手部精细运动障碍)特征,在执行层引入容错机制与多模态交互,通过“降低操作精度要求”与“提供替代操作路径”来弥补执行功能衰退造成的影响。

Table 2 Three-level evaluation system of the PCE model

表2 PCE模型的三级评价体系

适配等级	核心特征	量化指标	指标来源/理论依据
简单适配	单点优化,形式合规	字体≥18pt、行间距≥1.3倍	工信部《移动互联网应用适老化通用设计规范》强制性要求
		关键图标≥60×60	基于费茨定律及老年人手部运动控制范围研究,60px是确保老年用户点击准确率的舒适区
		文字识别准确率≥70% 满足简单适配所有指标	参考WCAG 2.1对比度建议及前期用户测试中老年用户可识别性的及格线设定
中度适配	场景闭环,体验提升	核心功能层级≤3层,任务完成步数≤5步	基于认知老化理论的工作记忆容量限制(米勒定律的老年适用修正),3层结构符合老年用户认知负荷极限
		核心按钮误触率≤20%	参考了人机交互工程中对于触控界面可用性的经典分级标准,即20%以内的误操作率通常被认为是用户可接受的误差范围
		核心任务完成率≥60% 满足中度适配所有指标	参考行业同类应用适老版改版初期的平均数据,设定为可用性及及格线
深度适配	系统重构,生态融合	核心操作成功率≥80% 用户满意度≥85%	基于芒果TV灰度测试数据,成功率80%对应的是用户留存率的显著拐点
		建立独立老年用户行为埋点体系	参考头部应用满意度调研的高分段位,设定为卓越体验的门槛 基于芒果TV灰度测试数据,独立的老年用户行为埋点体系能明显提升适老化改造的反馈效率

2.4 运行原理

PCE框架不仅提供了设计方法论,更构建了一套推动适老化工作不断优化、走向成熟的评估与运行机制,核心流程可分为以下5个步骤:①定位当前等级,互联网应用先通过分级评价体系,明确自身产品所处的适老化等级;②确定目标等级,根据自身技术储备、成本预算、运营规划等情况,制定阶段性目标;③分析适配方案,根据PCE模型的分层指标要求,分析感知、理解、执行三层详细适配方案;④实施三层改造,根据适配方案完成产品、设计、开发、测试等团队的改造;⑤验证结果闭环,通过用户调研、数据分析等手段验证每层设计的有效性。

(3)基于包容性设计原则的价值导向约束^[16]。为了避免适老化改造陷入特殊化或低配化误区,PCE模型将包容性设计原则作为全模型的价值约束,要求各层级的适配方案必须符合通用设计逻辑。例如,视觉补偿不仅服务于老年视障用户,还应惠及在强光下使用手机的普通用户;多模态交互不仅是老年人的辅助手段,还应成为全场景的高效交互方式。通过这种约束,PCE模型实现了专项优化与通用可用的平衡,确保产品在提升老年体验的同时,不牺牲产品的普适性与美感。

综上,PCE模型的理论体系是一个闭环:Norman模型提供骨架,认知老化理论填充血肉,包容性设计注入灵魂,三者共同构成了“理论溯源—缺陷修正—专项适配”的完整理论构建路径。

2.3 三级评价体系

PCE模型依据互联网应用的适老化改造的完备性与深度,将其划分为3个等级:简单适配、中度适配与深度适配,如表2所示。由此可知,PCE模型的三级评价体系为行业提供了从“合规达标”到“体验卓越”的清晰演进路径,为企业规划资源投入与评估改造成效提供了可衡量的标尺。

2.5 差异化与创新点

PCE模型的提出建立在扎实的理论基础与明确的实践规范之上,创新点主要体现在以下3个方面:

(1)破解“形式化失效”的核心逻辑创新。研究发现,适老化改造失效的根源在于“单一环节优化”与老年用户“全链路能力衰退”之间存在不匹配的情况。为此,PCE模型提出“三层递进+协同优化”框架,将感知、理解、执行各环节的优化进行联动。例如,视觉补偿降低了理解层的认知负荷;理解层的逻辑简化,减少了执行层的操作难度。这些从根本上解决了表面化改造问题,与Norman模型的单一闭环及现有指南的分散建议形成了本质区别。

(2)量化驱动的评价体系创新。针对行业缺乏量化评

估标准的痛点,构建了“等级—指标—阈值”三级量化体系,实现了适老化水平的可衡量、可对比,解决了现有评价“重合规、轻效果”的问题,为企业改造效果评估与行业标杆建立提供了工具。

(3)理论与实践的深度融合创新。模型以认知老化理论等为支撑,每个层级都配备了明确的技术介入点与量化

效果基准,使理论不再局限于指导意义,可直接落地进行工程实践。此外,PCE模型在构建过程中,遵循了《移动互联网应用适老化通用设计规范》等适老化指南,与Norman模型、通用的适老化指南存在明显差异。为了更清晰地展示PCE模型的优势,本文从理论视角、方法论路径、评价体系等3个维度进行了深入分析,如表3所示。

Table 3 Differences between the PCE model and other models

表3 PCE模型与其他模型的差异

对比维度	Norman执行-评估模型	其他适老化指南/标准	PCE模型的核心创新
理论焦点	通用人机交互闭环,未适配老年用户全链路能力衰退	多为技术规范或分散的设计建议,缺乏系统性的理论架构支撑	提出“感知-理解-执行”三层递进式框架,该框架通过对经典模型的前向拓展与重构,实现了认知老化理论与交互设计的精准映射
方法论路径	仅提供理论指导,未提供具体的设计干预点,缺乏可操作性	通常为列举式的合规要求(如字体、颜色),呈现碎片化特征,缺乏系统性、可落地的设计策略	建立了“分层递进+协同优化”的系统化设计策略。为每一层级提供了明确、可落地的设计策略与技术介入点(如感知层的视觉补偿、理解层的语义重构、执行层的容错机制),实现了从理论到工程的闭环
评价体系	未涉及产品适老化效果的评价	多针对合规性进行二元判断(“合规/不合规”),缺乏对用户体验效能的量化评估	构建了“简单-中度-深度”三级量化评价体系。该体系突破了单一的合规验收,引入了基于认知理论与实证数据的效能评估标准

3 PCE模型在芒果TV的实践

3.1 芒果TV适老化架构

芒果TV作为湖南广电旗下领先的互联网视频平台,是市场的重要参与者,在践行社会责任、弥合数字鸿沟方面肩负着天然使命^[17]。面对中国社会加速老龄化带来的“银发数字鸿沟”挑战,芒果TV以国家级法规政策为指引,率先将PCE模型系统性地应用于产品的适老化重构中,完成了一次从技术架构到产品理念的深度革新。

在整个重构过程中,PCE模型提供了清晰的理论蓝图和可执行的工程路径,将芒果TV适老化改造拆解为感知层、理解层、执行层,如图2所示。由此可见,芒果TV按照PCE模型深度适配标准进行适老化重构,打破了“功能叠加”的传统产品思维,将产品核心聚焦于老年用户最高频、最刚需的四大核心模块(首页、片库、播放、个人中心);删减了老年用户日活量非常低的业务,例如小说、直播、游戏、音乐、公益、文物、电商等,这一“做减法”的战略决策并非功能的随意删减,而是对老年用户体验的“提纯”,旨在从根本上减少导航迷失与认知负荷,为PCE模型中“理解层”的顺畅运作奠定坚实基础。

3.2 感知层改造

基于PCE模型理论,感知层的核心使命是通过视觉补偿与听觉代偿机制,保障老年用户对核心信息的高效感知,如图3所示。由此可见,芒果TV在首页、片库、播放页、个人中心四大关键模块实施了系统性功能改造。

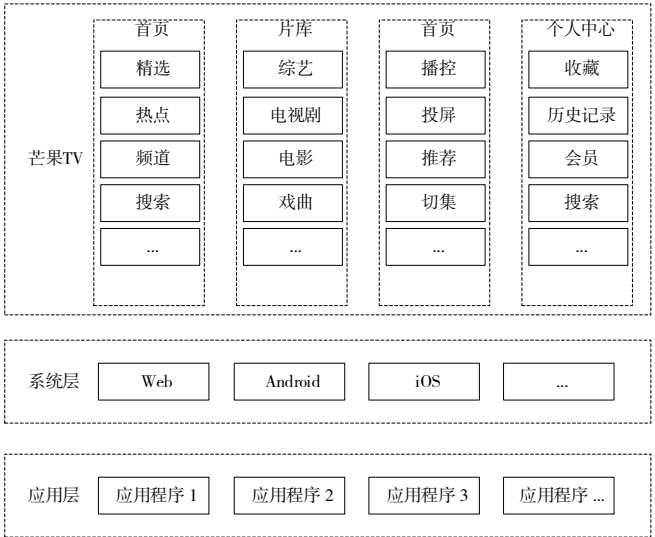


Fig. 2 Mango TV product architecture

图2 芒果TV产品架构

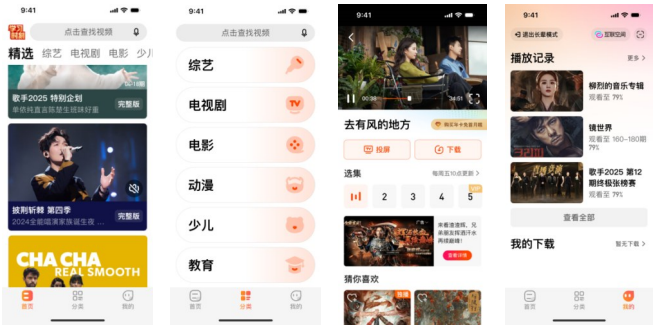


Fig. 3 Mango TV age friendly UI design

图3 芒果TV适老化UI设计

3.2.1 视觉补偿

该部分主要包括字体分级优化、图标可辨识度增强、色彩无障碍设计。在字体分级优化方面,将芒果TV全站的文字分为4种类型,如表4所示。在图标可辨识度增强方面,将关键操作图标放大至72×72 px;增强内容覆盖高频功能:学习时刻、语音搜索图标、全屏切换、扫码登录、分类导航。

Table 4 Mango TV font grading optimization details

表4 芒果TV字体分级优化详情

文字类型	字号/pt	行间距	适用场景
大标题	30	1.5倍	首页栏目名称、片库类型
主标题	25	1.3倍	影片标题、标签
副标题	20	1.3倍	演员列表、影片简介
正文	18	1.3倍	提示文案、影片详情

在色彩无障碍设计方面,针对大量色弱、色盲困扰的老年人,芒果TV自研了动态色域补偿引擎^[18]。该引擎具有实时画面色彩分析能力,具体为:首先,对输入视频的每一帧画面进行实时扫描与解析,以精确识别画面中各区域的色彩构成与分布;其次,基于预设的老年色觉衰退模型算法,智能构建色彩转换映射函数,分析当前视频帧特定色域饱和度和区域重要性等信息;最后,动态调整需要补偿的色相与饱和度,实现针对性、差异化的偏移与增强^[19]。在完成动态映射计算后,将转换参数实时作用于视频渲染管线或视图控件,整个优化处理过程为毫秒级,可确保视频播放的流畅性,如图4所示。由此可见,该方法可实现原视频的画面色彩转换和矫正,可帮助色觉障碍、色弱用户更容易地区分内容。

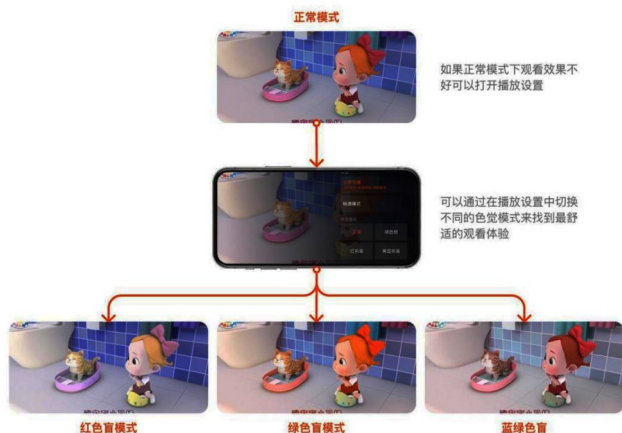


Fig. 4 Dynamic color gamut compensation effect

图4 动态色域补偿效果

3.2.2 听觉代偿

视频的音频流新增长辈专属模式,主要包括音频流智能增强,操作反馈语音化^[20]。在音频流智能增强方面,针对老年用户听力衰退情况,视频播放器新增了音频流智能增强算法,如图5所示。在操作反馈语音化方面,在芒果TV核心的功能中增加语音反馈机制,如表5所示。

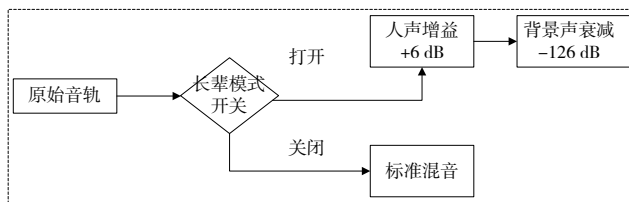


Fig. 5 Audio stream enhancement process

图5 音频流增强流程

Table 5 Mango TV voice interaction event

表5 芒果TV语音交互事件

交互事件	语音反馈	设计价值
播放/暂停	开始播放/已暂停	避免误操作后无感知
切集	下一集/第X集	避免误操作后无感知
投屏	投屏已开始	强化与电视端联动
退出播放页	返回列表页	强化界面状态切换感知
开通会员	已开通年度会员	强化支付感知

3.3 理解层改造

基于PCE模型理论,理解层改造的核心目标是系统性降低老年用户的认知负荷,通过简化业务逻辑、优化内容表达、强化学习引导三大维度,构建符合老年人认知特点的数字环境。

3.3.1 业务逻辑简化

(1)关键功能首页直达。将老年用户最高频使用的四大核心功能——影片浏览、影片搜索、用户登录、历史记录全部整合至首页一级入口,点击后无需经过中间页面,便可直通播放页或目标功能,有效消除了多层菜单的导航迷失问题。

(2)播放页极简重构。默认展开选集列表,破除“点击展开”的隐藏操作,所有剧集一目了然;功能模块精简,经过深入的用户调研与行为数据分析后,移除了对老年群体而言过于复杂、使用率极低且可能造成理解障碍的功能模块,如表6所示。

3.3.2 优化内容表达

(1)语义精准化。使用更具包容性的语库,确保所有表述无歧义、无门槛。例如,将“AI推荐”改为“猜您爱看”;将“VIP”改为“会员”;将“杜比音效”改为“影院级音效”。清除网络流行语与双关语,避免使用“yyds”“破防”等网络用语,以及任何可能产生误解的幽默或反讽式文案,尽可能保持信息的本意。

(2)语句简洁化。副标题尽量简洁,避免使用夸张的营销话术和冗长的文学性描写,转而采用“谁(主演)——是什么(类型)——讲什么(核心情节)”的标准化结构,帮助用户快速决策。

(3)图标具象化。所有图标设计遵循具象化、高辨识度原则,必要时需配文字标签(如“首页”图标下方终显示“首页”二字),杜绝“猜图标”游戏,实现图文意合一。

3.3.3 强化学习引导

针对老年人学习新事物的特点,摒弃了一次性说明文档,打造了沉浸式、自适应、可循环的学习引导系统,包括

Table 6 Functionality refactoring of player
表 6 播放页功能重构

功能模块	功能简介	操作
互动观影	通过摄像头和负载的触屏操作,允许用户与影片中角色进行互动,常用于侦探解谜类节目	直接移除
云导播	播放器中可同时展示多个拍摄机位画面,用户通过选择、添加、移除等方式选择想看的机位画面	直接移除
大众听审	在播放器上覆盖一个浮层,用来展示节目中每位现场观众的实时投票结果	直接移除
小芒商城	在播放器右侧覆盖一个浮层,让用户浏览购买节目或者影片中的同款商品	开关控制
特效弹幕	在节目热点区域投放的特效弹幕,如烟花、水波等效果	直接移除

专属银发学习中心和情境化初次使用引导。

(1)专属银发学习中心。芒果TV提供一套涵盖所有核心操作的高清视频教程,视频特点包括:慢速播放、真人配音(非AI)、分步骤特写镜头、使用老年演员作为操作主体。教程内容覆盖:①账户类包括微信、手机号、账号密码、一键登录等;②播放类包括切集、调节音量、亮度调节、清晰度调节、播放进度调节、暂停/继续播放等;③功能类包括首页直达播放、历史记录直达播放、影片搜索、语音搜索等;④支付类包括开通会员、微信/支付宝支付等。

(2)情境化初次使用引导。当用户首次使用某个关键功能时,系统会触发强引导性的引导浮层,采用“文案+高亮箭头指示”的方式,精准指向操作区域。

3.4 执行层改造

基于PCE模型理论,执行层的核心使命是确保用户意图能准确、无障碍地转化为系统操作。芒果TV通过系统性的产品设计和技术创新,构建了一套高容错、低门槛的交互体系,显著提升了老年用户的操作成功率与体验流畅度。

3.4.1 交互容错补偿

针对老年用户因手部抖动、视力模糊、认知迟疑导致的误操作高发现象,建立了业界领先的三级交互容错防御体系。

(1)操作前预防。热区扩大与安全间距:将所有关键交互元素(按钮、图标等)的有效点击热区设置为至少60×60 dp,远超工信部标准。同时,将相邻按钮的间距从通常的8 dp增大至16 dp,以进一步防止误触^[21]。

(2)操作中宽容。启动智能防抖与连点拦截,自研点击防抖算法有效识别并过滤因手部抖动产生的非意图点

击(如在0.5 s内的连续多次点击,仅首次有效)^[22]。同时,引入操作延迟响应机制,对“删除”“清除缓存”等高风险操作提供二次确认弹窗,并且弹窗的“取消”按钮视觉权重显著高于“确认”按钮。

(3)操作后恢复。全局撤销提示栏,在执行切集、收藏/取消收藏、昵称修改、头像修改等操作后,屏幕底部会浮现一条持续3 s的Toast提示(如“已换至第3集”),并配有一个明确的“撤销”按钮。用户若意识到操作非本意,可在5 s内一键撤回,系统将立即恢复至操作前状态。

3.4.2 多模态融合交互

为了解放用户对精密触控手势的依赖,构建了“以语音为中心、生物识别为辅助”的多模态融合交互范式^[23]。

(1)语音交互全面赋能。不仅支持“搜片名”等基础指令,还深度集成了全场景语音控制。用户可通过“快进五分钟”“声音大一点”“下一集”“退出全屏”等自然口语指令,语音操作播放器完成所有复杂操作,实现“动口不动手”的终极便捷。

(2)智能生物识别无感登录。整合设备指纹与人脸识别,实现1 s内无感自动登录^[24]。用户打开APP即自动进入登录状态,彻底告别记忆密码和输入账号的双重负担。

3.5 适老化效果评估

目前,PCE人机交互模型在芒果TV适老化项目中成功落且效果良好。本文基于PCE模型三级评价体系,通过独立老年用户行为埋点系统、用户满意度问卷调查两大维度评估模型效果。调查问卷数据采集方法为:①样本规模为发放问卷146份,回收问卷69份,最后得到有效问卷53份;②用户覆盖为年龄分布(55-70岁),地域分布为湖南省,使用长辈模式的时长超过一周;③调查方式为线上问卷平台;④可信度保障为问卷采用李克特五分量表,设置反向问题以检验回答一致性。

(1)工信部权威认可。芒果TV适老化改造成果“芒果TV长辈模式——‘感官无障碍+跨代际互联’打造适老新体验”,成功入选工业和信息化部2025年数字适老助残产品和服务典型案例,成为了互联网应用类适老化改造的标杆案例^[25]。该结果验证了PCE模型符合国家数字适老化战略导向,体现了其行业价值,具备向全行业推广的示范意义。

(2)用户行为数据超预期。芒果TV适老化项目上线后,长辈模式活跃用户数突破两万,且持续增加;用户日均使用APP时长达到57.3 min;核心播放功能操作成功率达93.4%;历史记录续播功能(操作路径:打开APP—进入历史记录—播放视频)的操作平均时长为9.8 s;长辈模式整体用户留存率达86%;会员用户占比达到68%。

(3)用户满意度与主观评价。用户对整体改造的满意率占比88.6%,其中“非常满意”占比35.8%;用户认可整体功能使用方便的占比92.4%,其中“非常方便”占比41.5%;用户认可核心视频播放功能方便的占比92.5%,其中“非常

方便”占比 52.8%, 如表 7 所示。

Table 7 Mango TV age-friendly features survey data

表 7 芒果 TV 适老化功能问卷调查数据

问题	选项	比例/%
您在使用长辈模式时,整体的体验怎么样?	非常满意	35.85
	比较满意	52.83
	一般	11.32
	不满意	0.00
您在使用长辈模式时,整体的操作使用是否方便?	非常方便	41.51
	比较方便	50.94
	一般	7.55
	不方便	0.00
您在使用长辈模式时,页面上的文字和内容是否容易看清?	非常容易	47.17
	比较容易	47.17
	一般	5.66
	不容易	0.00
您使用长辈模式的的色觉模式功能,体验是否满意	非常满意	30.19
	比较满意	37.74
	一般	7.55
	不满意	24.53
您使用长辈模式时,播放视频是否方便?	非常方便	52.83
	比较方便	39.62
	一般	5.66
	不太方便	1.89

4 结语

本文提出互联网适老化领域的 PCE 模型,将以往模糊的“适老体验”诉求,解构为可操作、可迭代的技术与设计任务。该模型为破解当前行业中普遍存在的“形式化失效”困境,提供了一套结构化、系统化的方法论工具。在芒果 TV 适老化改造项目中,PCE 模型既验证了其理论先进性与工程有效性,还体现出跨平台、多场景的高度普适性与可迁移性,为各类互联网应用提供了清晰的适老化改造路径与实施框架。

然而,PCE 模型仍处于持续发展与完善阶段,模型分级评价体系在某些维度仍存在边界模糊、指标粒度不足的问题,尚未完全实现可量化的精确评估,在一定程度上影响了其在企业落地及效果评估中的标准化应用。未来,将致力于评价指标的细化与量化工作,推动 PCE 模型从理论框架向标准化、自动化的评价系统演进,从而更好地赋能全行业适老化实践的深化与推广。一个具有可行性的思路是训练适老化专项 AI 大模型,训练数据包括:适老化及与包容性设计相关的法律法规,与之相关的互联网应用设计条例,大量适老化改造的优秀案例。当互联网应用完成了适老化改造后,AI 大模型会自动获取应用的所有业务界面的具体内容,分析可能存在的缺陷,并根据不同缺陷权重实行记分制,从而实现对适老化改造成效的客观、量化评估。

参考文献:

- [1] ZHAI Z W, CHEN J J, LI L. Trends in China's population and aging from 2015 to 2100[J]. Population Research, 2017, 41(4):60-71.
翟振武,陈佳鞠,李龙. 2015~2100 年中国人口与老龄化变动趋势[J]. 人口研究, 2017, 41(4):60-71.
- [2] LU J H, WEI X D. An analytical framework, concepts, and path selection for addressing the digital divide among the elderly: a perspective based on digital divide and knowledge gap theories[J]. Population Research, 2021, 45(3):17-30.
陆杰华,韦晓丹. 老年数字鸿沟治理的分析框架、理念及其路径选择——基于数字鸿沟与知识理论视角[J]. 人口研究, 2021, 45(3):17-30.
- [3] YUAN Y. The jurisprudential connotation, implementation difficulties, and legalization pathways of accessibility rights protection for the elderly in my country[J]. Law and Economics, 2025, 1(5):122-132.
袁媛. 我国老年人无障碍权益保障的法理内涵、实施困境与法治化路径[J]. 法治与经济, 2025, 1(5):122-132.
- [4] HUANG H, WANG S Y, LI L Y. Analysis of the effectiveness of legal guarantees for the construction of accessible environments and exploration of development paths[J]. Regional Governance, 2023(4):131-134.
黄合,王司雨,李丽艳. 无障碍环境建设法律保障的有效性分析及发展路径探究[J]. 区域治理, 2023(4):131-134.
- [5] XU Q, ZHOU H M. An exploration of the "silver economy" from the perspective of active aging[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Social Sciences Edition, 2010, 22(6):61-64.
徐沁,周红梅. 积极老龄化视角下的“银发经济”探析[J]. 重庆邮电大学学报:社会科学版, 2010, 22(6):61-64.
- [6] LI J L, SUN J, SU Y, et al. Research on information barriers and demand conflicts in internet applications for the elderly[J]. Modern Information, 2022, 42(5):121-131.
李建礼,孙静,苏雅,等. 互联网应用适老化信息障碍及需求矛盾研究[J]. 现代情报, 2022, 42(5):121-131.
- [7] MENG X X, LI X Q. Human-computer interaction technology: principles and applications—textbook for higher education institutions, computer science and technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
孟祥旭,李学庆. 人机交互技术:原理与应用——高等学校教材·计算机科学与技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [8] POOR G M, JAFFEE S D, LEVENTHAL L M, et al. Applying the norman 1986 user-centered model to post-wimp uis: theoretical predictions and empirical outcomes[J]. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 2016, 23(5):1-33.
- [9] WONG C, IBRAHIM R, HAMID T, et al. Measuring expectation for an affordance gap on a smartphone user interface and its usage among older adults[EB/OL]. https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/68087/1/Wong_Ibrahim_Hamid_Mansor.pdf.
- [10] JIANG X J, WANG Z Q, WANG D G, et al. Neurocognitive characteristics and related factors of elderly individuals with subjective cognitive decline[J]. Chinese Journal of Behavioral Medical Science and Brain Science, 2019, 28(9):832-836.
蒋小娟,王志强,王德刚,等. 主观认知减退老年人神经认知特征及相关因素分析[J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 2019, 28(9):832-836.
- [11] HUAI X D. Research on interactive design based on the behavioral characteristics of the elderly[J]. Popular Literature and Art: Academic Edition, 2014(23):79-80.
怀晓迪. 基于老年人行为特征的交互设计研究[J]. 大众文艺:学术版, 2014(23):79-80.

- [12] LIU N, CAO S S. Research on fault-tolerant design paths for somatosensory interaction in the context of an aging population[J]. *Design*, 2024, 37(8):130-133.
刘娜, 曹盛盛. 老龄化背景下的体感交互容错设计路径研究[J]. *设计*, 2024, 37(8):130-133.
- [13] TONG H W. A smart interaction method and device based on multi-modal fusion[P]. China, CN202211292777. 0, 2025-12-24.
全洪伟. 一种基于多模融合的智能交互方法及装置[P]. 中国, CN202211292777. 0, 2025-12-24.
- [14] LI D M, LIU C, LI G Y. Research on cognitive aging model[J]. *Acta Psychologica Sinica*, 1999, 31(1):98-103.
李德明, 刘昌, 李贵芸. 认知老化模型的研究[J]. *心理学报*, 1999, 31(1):98-103.
- [15] ZHANG P, ZHANG Y J, LI Z. Research on information encoding design of age-friendly human-computer interfaces based on cognitive compensation[J]. *Design*, 2024, 37(7):136-139.
张萍, 张悦蛟, 李政. 基于认知代偿的适老化人机界面信息编码设计研究[J]. *设计*, 2024, 37(7):136-139.
- [16] MA W. Research on accessibility and inclusive design in human-computer interaction interfaces of online platforms for the elderly[J]. *Chinese Science and Technology Periodical Database (Abstract Edition) Social Sciences*, 2024(8):110-114.
马维. 基于老年人在线平台人机交互界面中使用无障碍和包容性设计的研究[J]. *中文科技期刊数据库(文摘版)社会科学*, 2024(8):110-114.
- [17] TIAN H. A Solution approach to the deep integration of hunan satellite TV and mango TV on dual platforms[J]. *Media*, 2023(16):29-31.
田华. 湖南卫视与芒果TV双平台深度融合的解题思路[J]. *传媒*, 2023(16):29-31.
- [18] GU Y F. Research on gamut mapping algorithms based on detail compensation[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2025.
顾轶凡. 基于细节补偿的色域映射算法的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2025.
- [19] WANG Y T, XIE S X, XUE Y, et al. A color enhancement model for color-blind individuals[J]. *Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition)*, 2025, 53(5):809-516.
王艳婷, 谢尚熙, 薛颖, 等. 面向色盲患者的色彩增强模型[J]. *福州大学学报(自然科学版)*, 2025, 53(5):809-516.
- [20] AN M. Real-time monitoring and quality assessment technology for broadcast television audio streams[J]. *Electroacoustics*, 2024, 48(9):111-113.
安明. 广播电视音频流的实时监测与质量评估技术[J]. *电声技术*, 2024, 48(9):111-113.
- [21] ZHAO L. Method and device for configuring clickable hotspots[P]. China, CN114217897A, 2025-12-25.
赵磊. 点击热区的配置方法及装置[P]. 中国, CN114217897A, 2025-12-25.
- [22] DENG W J, XU Q L. Click anti-shake method and related equipment[P]. China, CN120508335A, 2025-12-25.
邓卫君, 许其龙. 点击防抖方法及相关设备[P]. 中国, CN120508335A, 2025-12-25.
- [23] YAN J H, FAN J S. Application of multimodal human-computer interaction technology in innovative design[J]. *China Machinery*, 2019(18):26.
闫竞豪, 范劲松. 多模态人机交互技术在创新设计中的应用[J]. *中国机械*, 2019(18):26.
- [24] WANG Y H. Research and implementation of fingerprint recognition technology on Android devices[D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
王研昊. Android设备指纹识别技术的研究与实现[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- [25] Ministry of Industry and Information Technology. Announcement of typical cases of digital products and services for the elderly and people with disabilities in 2025[EB/OL]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/xgj/gzdt/art/2026/art_a205061f3066461796f33b52fd407f20.html.
工业和信息化部. 2025年数字适老助残产品和服务典型案例公示[EB/OL]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/xgj/gzdt/art/2026/art_a205061f3066461796f33b52fd407f20.html.

(责任编辑: 刘嘉文)