

基于汽车人机界面评测的中控触屏按键研究

金鑫¹, 李黎萍², 杨逸凡¹, 符梦婷¹, 李雅茹¹, 由芳¹

(1. 同济大学 艺术与传媒学院汽车交互设计实验室, 上海 201804;

2. 百度智能驾驶体验设计中心, 深圳 518000)

摘要: **目的** 研究汽车中控触屏按键的尺寸及驾驶员交互特性, 为设计提出指南及建议。**方法** 采用文献调研法建立汽车人机界面评测指标, 基于驾驶仿真系统, 通过实验收集安全性与用户体验维度的主客观数据, 对不同尺寸的按键进行测试评估, 探索驾驶员的交互操作特性。**结果** 按键尺寸大小与点击按键位置、视觉主观评分、工作负荷、可用性存在相关性; 按键点击位置与按键中心的距离随按键尺寸增大而增大; 点击按键位置倾向于左侧; 主观评分、可用性与按键尺寸在一定范围内呈正相关, 工作负荷表现则相反。**结论** 建议中控触屏按键尺寸为 9~15 mm, 经过公式换算可适应不同尺寸的车载屏幕。车载界面设计布局常用控件应多在左侧或扩大控件的操作热区。将汽车人机界面评测应用于车载中控触屏按键研究中可以为界面设计规范提供新的思路。

关键词: 触屏按键; 汽车人机界面评测; 车载中控屏; 汽车人机工程; 界面设计规范

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)18-0151-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.18.016

Touch Key of In-Vehicle Display and Control Screen Based on Vehicle HMI Evaluation

JIN Xin¹, LI Li-ping², YANG Yi-fan¹, FU Meng-ting¹, LI Ya-ru¹, YOU Fang¹

(1. Car Interaction Design Lab, College of Arts and Media, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. Baidu Intelligent Driving Experience Design Center, Shenzhen 518000, Guangdong, China)

ABSTRACT: The work aims to study the size and driver interaction characteristics of the touch keys in in-vehicle display and control screen and to provide guidelines and suggestions for the design. The literature survey method was used to establish the vehicle HMI evaluation index. Based on the driving simulation system, the subjective and objective data of safety and user experience were collected through the experiment, the keys of different sizes were evaluated and the interactive operation characteristics of drivers were explored. There is a correlation between the size of the key and click position, visual subjective score, workload and availability of the key. The distance between the click position and the center of the key increases as the key size increases. The clicking position of the button tends to the left. The visual subjective score, usability and key size are positively correlated within a certain range, while the workload is opposite. It is suggested that the size of the touch keys should be from 9 mm to 15 mm, which can be adapted to different sizes of the car screen after formula conversion. The vehicle interface design layout of common controls should be more on the left or expand the control of the operation of the hot area. The vehicle HMI evaluation can be applied to the research on the touch keys in in-vehicle display and control screen, and it will provide new ideas for interface design specification.

收稿日期: 2021-04-09

基金项目: 国家社科基金后期资助项目 (19FYSB040); 百度 Apollo (wz0060020192097); 上海汽车工业科技发展基金 (1717); 同济大学第十二期精品实验项目 (0600104086); 上海市委宣传部与同济大学“部校共建暨院媒合作”项目 (0600152001.C.01、0600152002.专.05、0600152002.专.02、0600152002.A.02、0600152002.B.01)

作者简介: 金鑫 (1995—), 女, 上海人, 同济大学艺术与传媒学院汽车交互设计实验室硕士生, 主攻汽车交互设计、服务设计。

通信作者: 由芳 (1974—), 女, 山东人, 博士, 同济大学艺术与传媒学院汽车交互设计实验室教授、博士生导师, 主要研究方向为交互设计、用户行为分析、用户体验。

KEY WORDS: touch key; vehicle HMI evaluation; in-vehicle display and control screen; automotive ergonomics; interface design specification

在科学信息技术高速发展的当代,汽车早已不仅仅局限于人们单纯的代步工具,它正在逐渐向着智能化、网络化、信息化和多功能化发展^[1]。进入 21 世纪后,液晶显示屏逐步成为中控台的主导,能够在有限的空间中满足驾驶者多样化的需求。然而,智能座舱目前仍然处于发展阶段,车载中控屏幕的尺寸、按键的大小、界面设计元素尚未确立规范的标准,中控屏按键的交互行为影响着驾驶员的行车安全性与人机交互界面的体验。本文将模拟真实驾驶状态,采用汽车人机界面评测方法对中控触屏按键进行研究。

1 中控触屏按键研究现状

随着车载计算机系统的飞速发展,车载交互屏趋向于大屏呈现与整合按键^[2]。目前,大多数车载中控屏是通过手指点击、滑动、缩放等一系列交互方式进行操作的。对于手指交互,Pfauth 和 Priest 指出,触摸键的大小是设计触摸屏界面的主要因素,随着触摸键尺寸减小到一定水平以下,与物理键相比,诸如任务完成时间、准确性和主观等级之类的可用性度量会大大降低^[3]。牟炜民探讨了座舱显示器周边各键的尺寸、方位、间隔对反应时的影响,发现随着键尺寸的增加,反应时先减少,但最后不再减少^[4]。Heejin 等人指出有关车载中控屏按键大小的研究需要着重于行驶安全性及其可用性,不合适的触摸键大小可能会增加与车载中控屏交互的难度,降低其可用性,并可能进一步增加对驾驶的干扰,情况严重时会增加行车的安全风险^[5]。傅斌贺以任务完成时间和错误率为考核指标,以装甲车辆车载信息系统为实验载体,认为按键尺寸在 15 mm 左右较为合理^[6]。

综上所述,国内外学者大都认为车载中控触屏按键尺寸的增加有利于车载中控可用性的提高,而具体按键的尺寸并没有统一的标准。另外,Peter Roessger 发现跨文化差异可能会影响操作中控系统成功^[7]。因此,有必要基于中国人群体态特征,结合实际驾驶场景,进一步完善对车载中控屏界面设计元素的研究。

2 汽车人机界面评测的建构

2.1 指标选取

汽车人机界面评测是指关注汽车人机交互界面的用户体验测试^[8]。用户体验评价方法与人机交互领域的可用性测试有着紧密的联系^[9]。可用性的测量在学术界有多种量表。系统可用性量表(System Usability Scale, SUS)由 John Brooke 于 1986 年提出,是一种用于可用性测试的简易问卷调查量表,总共包含 10

个项目,5 个积极描述和 5 个消极描述。用户交互满意度问卷(Questionnaire for User Interface Satisfaction, QUIS)由马里兰大学人机交互实验室中的一个研究小组编制,分为简短版与长版,采用 9 点的语义差异评级。NASA 任务负荷问卷(NASA-TLX, NASA Task Load Index)是一种主观工作量评估工具,可对使用各种人机界面系统的操作员进行主观工作量评估,总共包括 6 个项目,即心智负荷、生理负荷、时间损耗、任务表现、努力程度和沮丧感^[10]。

有关汽车人机界面的评测多数学者从安全性角度展开了研究。Zaidel 研究了车载系统中的人因因素,认为变换车道、扫视频率和持续时间、方向盘运动等都是研究收集的关键^[11]。Zwahlen 等人在没有视觉输入的情况下检查转向行为,目的是研究驾驶员可以多久将视线从道路上移开,并仍然充分保持横向位置。利用该信息,可以计算出注意力不集中的安全标准^[12]。评估车辆设计中所做的改变或改进带来的效果需要测量和论证驾驶人在使用车辆过程中的表现与行为,如车道偏离、方向盘运动、任务完成时间等^[13]。整合常用可用性指标以及驾驶员的信息采集可行性,选取了屏幕点击位置、任务响应时间、任务完成度、车辆速度标准差、方向盘转角标准差以及水平偏移标准差作为客观指标。

美国国家公路交通安全管理局发布的驾驶员车机界面人因设计指南(Human Factors Design Guidance For Driver-Vehicle Interfaces)指出,设计汽车人机界面时应注意使用人机界面带来的工作负荷^[14]。在 ISO 9241 中人机交互的可用性定义为有效性(Effectiveness)、效率(Efficiency)和满意度(Satisfaction)^[15]。在评测方法主观指标中,工作负荷使用了 MIT AgeLab 的全局工作负荷等级量表(Global Workload Rating Scale),评分范围为 0 到 10,步长为 0.5,相较 NASA 任务负荷问卷更具显著性^[16]。按键的可用性将按键的清晰度表示效率,对按键的理解程度表示有效性,对按键的满意程度表示满意度,使用李克特 7 级量表进行评分。结合视觉大小的主观评分,经 Spss 信效度分析后,克隆巴哈系数值为 0.835, KMO 值为 0.727,量表的信效度较高,汽车人机界面评测指标项目见表 1。

2.2 评测方法

文章基于安全性与用户体验维度进行汽车人机界面评测,研究中中控触屏按键的尺寸及驾驶员按键时的交互特性。客观数据由驾驶模拟器记录与导出,可以体现驾驶者在驾驶状态下的行为变化,用客观的肢体行动反应车载中控系统的体验感。屏幕点击位置指

表 1 汽车人机界面评测指标项目
Tab.1 Automobile human-machine interface evaluation index

项目	含义
任务完成度	被试是否完成任务
任务响应时间	任务发布到被试完成任务所使用的时间
屏幕点击位置	被试点击按键时的屏幕接触点
车辆速度标准差	任务执行过程中的速度控制表现
方向盘转角标准差	横向车辆控制表现
水平偏移标准差	车道保持表现
视觉主观评分	被试对按键的大小感受，评分范围：-3—3；-3：太小了；0：合适；3：太大了
清晰度	被试对按键清晰度的感受，评分范围：1—7；1：模糊；4：一般；7：清晰
理解程度	被试对按键的理解程度，评分范围：1—7；1：困惑；4：一般；7：清晰
满意度	被试对按键的满意度，评分范围：1—7；1：不满意；4：一般；7：非常满意
心力	被试执行任务时需要付出的心力，评分范围：0—10；0：非常低；10：非常高
注意力	被试执行任务时需要付出的注意力，评分范围：0—10；0：非常低；10：非常高
体力负担	被试执行任务时需要进行的物理操作，评分范围：0—10；0：非常低；10：非常高
时间压力	被试执行任务时感受到的时间压力，评分范围：0—10；0：非常低；10：非常高
挫败感程度	被试执行任务时感受到的挫败感，评分范围：0—10；0：非常低；10：非常高

被试在有效完成实验任务时在屏幕上点击的位置坐标，有利于探索驾驶者与中控屏按键的交互特性。任务响应时间是指由任务发布开始到被试完成任务所使用的时间。美国国家道路交通安全管理局制定了车内电子设备指南，规定驾驶者平均视线偏离前方道路不超过 2 秒，对车内电子设备交互行为的安全性做出指导^[17]。车速标准差、方向盘转角标准差、水平偏移标准差的数值越大代表驾驶状态越不稳定。

主观数据采用问卷调查的方式在被试每次完成任务后进行主观打分。采用李克特量表对视觉主观评分、可用性以及工作负荷 3 个维度进行评分。视觉主观评分指驾驶员对触屏按键大小的感受，如看起来特别小、看起来正好合适。可用性评分通过清晰度、理解程度、满意度 3 个维度综合得出评价。工作负荷包含任务所需心力、注意力、体力负担、时间压力以及挫败感程度。主观数据依据用户的个人体验对界面元素进行打分，能够有效且显性地了解驾驶者在驾驶状态下使用车载中控系统的感受。

3 车载中控触屏按键实验

3.1 被试选择

实验选取了 30 名被试者（16 名男性和 14 名女性），皆为自愿参加实验。被试者的年龄均值为 33.2 岁，具备正常的视力能力以及较熟练的开车能力，驾龄均为两年以上，被试情况见表 2。

实验与手指交互相关，手和手指的大小可能会影响单手交互的性能和用户偏好。然而，从工程的角度来看，分析交互模式并根据手和手指的大小设计不同

表 2 被试情况
Tab.2 Details of the participants

项目	调查被试占比/%
性别	男 53.3（16/30）
	女 46.7（14/30）
年龄	25~30 岁 23.3（7/30）
	30~35 岁 30（9/30）
	35~40 岁 30（9/30）
	≥40 岁 16.7（5/30）
驾龄	2~5 年 53.3（16/30）
	5~10 年 33.3（10/30）
	> 10 年 13.3（4/30）

的触摸界面似乎非常困难且不切实际^[18]。因此，研究没有通过手或手指的大小来筛选被试者，随机选择了具有不同手和手指大小的对象。

3.2 实验原型

根据实车调研，确定实验原型为 12.3 英寸，比例为 16：9。背景采用黑色（#000000），按键采用白色（#FFFFFF），按键内容为常用车载中控按键，如导航、音乐。根据 ISO 7239，在视距为 0.7 米时，保证符号的显著性的最小尺寸是 17.5 mm，确保符号的可读性的最小尺寸是 9.1 mm^[19]。另有相关文献指出，当视距为 70 cm 时，主要图形元素的最佳大小为 17.5 mm，最小为 8 mm 与 6.9 mm^[20]。结合前期对市场上车载视觉元素的调研，最终实验设计中按键的大小分别为 6 mm、9 mm、12 mm、15 mm、18 mm，

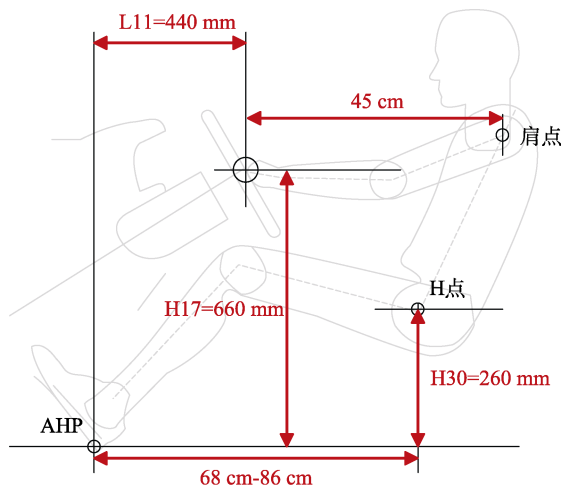


图1 乘员布置示意图
Fig.1 Driver seat setting

按键间距为1个按键尺寸大小, 按键形状为正方形, 按键位置位于整体屏幕居中位置。

3.3 实验过程

在进行实验之前, 被试首先填写基本信息表和实验知情同意书, 测试人员向被试介绍实验目的、实验任务, 被试学习并熟悉模拟器, 待理解和适应后正式开始实验。

为了在模拟器中获得尽可能真实的驾驶感受, 实验任务要求被试将车速保持在30 km/h左右, 同时保持在右侧车道稳定直行。测试人员发布任务后点击黑色屏幕, 开启任务计时。被试听到“滴”声后, 在保证安全驾驶的前提下, 使用右手食指点击屏幕相应按键。屏幕按键点击后消失, 恢复黑屏, 同时任务计时完毕。测试人员在一旁判断任务完成度, 同时对相关异常情况进行备注。任务结束后, 被试及时填写主观维度评分问卷。

3.4 实验环境与设备

实验环境基于自主开发的驾驶仿真系统, 共分为车辆、场景以及用户行为分析三大模块。车辆模块由加减速脚踏板、方向盘等设备组成; 场景模块基于Unity软件模拟真实驾驶环境, 如天气、道路以及声音; 用户行为分析模块可监控用户头部、脚部行为或连接其他生理仪器捕捉人体动态数据。

根据汽车设计人体工程学, A类车辆的H30为127~405 mm, 基于女性第5百分位坐姿腿脘高度为351 mm, 从车辆地板到座椅面距离不超过320 mm。乘员布置示意图见图1, 基于人体工程学中的人体数据及实车调研结果, 实验环境选取第90百分位的人体尺寸, 测量身高为175 cm的人, 在座椅调整至舒适位置时, 定义人体身躯与大腿的铰接点H点至加速踏板参考点AHP的垂直距离H30为260 mm。AHP至方向盘的水平距离L11为440 mm, 方向盘的高度

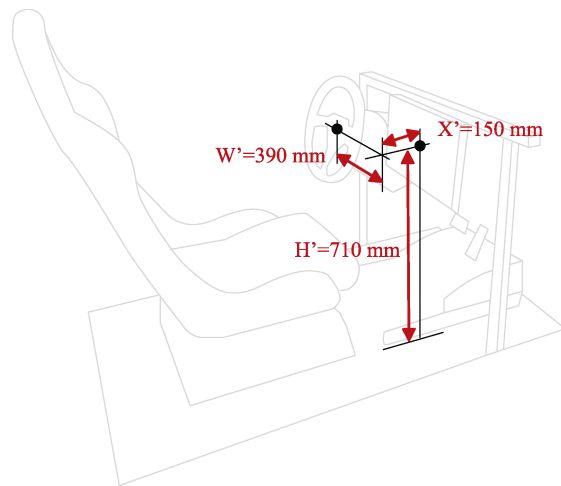


图2 中控布置
Fig.2 In-Vehicle display and control screen setting

H17为660 mm, H点到AHP的水平距离为68~86 cm, 肩点到方向盘的水平距离为45 cm^[13]。

根据相关书籍以及实车调研, 定义车载中控屏幕中心高度H'为710 mm。车载中控屏离方向盘中心水平距离W'为390 mm; 垂直距离X'为150 mm; 驾驶员两眼中心至中控中心距离为710 mm, 中控布置见图2。实验原型在Surface Book2平板电脑上进行实验, 设备尺寸为15英寸, 分辨率为3240 px×2160 px, 像素密度为260 ppi, 模拟常用16:9比例、12.3英寸的车载中控屏。

4 实验结果与分析

4.1 数据处理

实验最终导出150例数据, 根据任务完成度排除实验异常数值, 对数据进行平均值、标准差计算统计, 按键尺寸与主客观数据统计表见表3。对屏幕点击位置数据进行二次处理, 得出点击位置偏差(点击位置与按键中心的距离)均值, 按键尺寸与点击屏幕数据统计表见表4。

4.2 相关性分析

数据呈非正态分布, 选用斯皮尔曼系数研究按键尺寸和任务响应时间、车辆速度标准差、方向盘转角标准差、水平偏移标准差、点击位置偏差、视觉主观、可用性、工作负荷共9项之间的相关关系, 按键尺寸与主客观数据的相关性见表5。可见按键尺寸与点击位置水平或垂直方向偏差、视觉主观、可用性、工作负荷共5项之间的相关关系系数值呈现出显著性。

4.3 按键尺寸与点击位置分析

根据相关性分析, 按键尺寸和点击位置水平和垂直方向偏差之间的相关系数值分别为0.568和0.261, 并且呈现出0.01水平的显著性, 说明按键尺寸和点

表 3 按键尺寸与主客观数据统计表
Tab.3 Key size and subjective and objective data statistical table

按键/mm	任务响应时间 平均值/秒	车辆速度 标准差	方向盘转角 标准差	水平偏移 标准差	视觉主观/分	可用性/分	工作负荷/分
6	3.056	1.288	0.001	0.143	-1.828	4.609	4.603
9	2.633	1.396	0.001	0.122	-0.6	5.556	2.967
12	2.465	1.305	0.001	0.162	0.103	5.736	2.138
15	2.306	1.100	0.002	0.146	0.200	6.189	1.383
18	2.730	1.008	0.002	0.183	0.533	5.856	1.917

表 4 按键尺寸与点击屏幕数据统计表
Tab.4 Key size and click screen data statistics table

按键/mm	点击位置 水平偏差均值/px	点击位置 垂直偏差均值/px	左上方/次	左下方/次	右上方/次	右下方/次
6	122.138	19.966	8	12	3	6
9	172.833	19.400	17	7	1	5
12	274.759	22.621	11	7	5	6
15	562.333	24.133	3	18	0	9
18	391.200	36.200	14	10	3	3

表 5 按键尺寸与主客观数据的相关性
Tab.5 Parameters of correlation between touch key size and subjective and objective data

	任务响应 时间	车辆速度 标准差	方向盘转角 标准差	水平偏移 标准差	点击位置 水平偏差	点击位置 垂直偏差	视觉主观 评分	可用性	工作负荷
相关系数	-0.094	-0.037	0.055	0.072	0.568**	0.261**	0.716**	0.319**	-0.394**
显著性	0.257	0.656	0.501	0.385	0	0.001	0	0	0
N	148	148	148	148	148	148	148	148	148

注：*p<0.05；**p<0.01

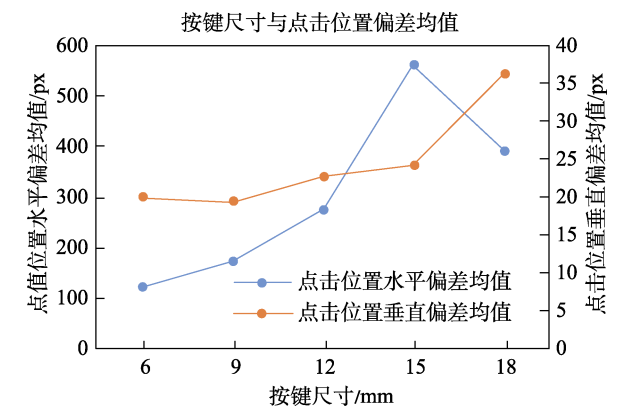


图 3 按键尺寸与点击位置偏差均值
Fig.3 Mean deviation between button size and click position

击位置水平和垂直方向偏差之间有着显著的正相关关系。随着触屏按键尺寸的变化，按键点击位置偏差均值整体呈现增大趋势，表明用户点击位置相较按键目标中心越不稳定。按键尺寸与点击位置偏差均值见图 3。总体趋势说明，在按键点击有效的前提下，按键尺寸越大，越便于用户点击，减少了对用户交互行为的限制。在水平方向上，当触屏按键尺寸在 6~15 mm，

点击位置的偏差距离迅速增大；在 15~18 mm，点击位置的偏差距离减小，表示用户点击按键的准确性在一定范围内，随着按键尺寸的增大而增大，但超过一定尺寸之后，按键尺寸的增大对于提高触控交互灵活性的提升变得有限。在垂直方向上，当触屏按键尺寸在 6~15 mm，点击位置的偏差距离变化差异较平稳；在 15~18 mm，点击位置的偏差距离增大，如此表明，按键需达到一定范围才会影响按键的交互行为。

屏幕点击位置横坐标与按键中心横坐标之差大于零表示用户点击位置在右方，屏幕点击位置纵坐标与按键中心纵坐标之差大于零表示用户点击位置在上方，其他方位以此类推，按键点击方位示意图 4。在统计了不同按键尺寸点击位置次数的平均值后，发现用户在驾驶过程中点击目标按键更倾向于点击在按键中心左侧区域，点击位置与次数见图 5。水平方向上的左右点击分布较垂直方向上的上下点击分布差异更大。结合按键尺寸与点击位置偏差的关系，由于驾驶员位于车载中控屏幕左侧，所以相较于垂直距离，人体的操作范围以及操作的便捷性受水平距离因素影响较大。有文献指出，观察角度也可能会影响点

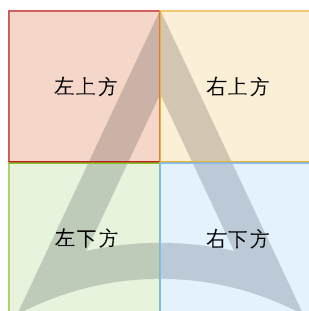


图4 按键点击方位示意
Fig.4 Click position of the key

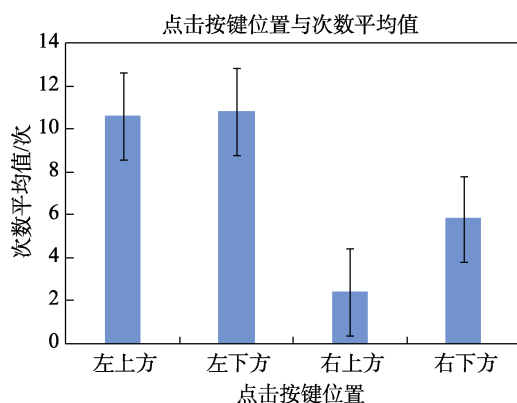


图5 点击位置与次数
Fig.5 Location and number of clicks

击按键的准确率^[21],驾驶员与中控屏的视角在一定程度上影响了目标识别的位置,从而影响与中控系统的交互行为。

4.4 按键尺寸与主观指标

按键尺寸和视觉主观评分、可用性评分之间的相关系数值分别为 0.716 和 0.319,并且呈现出 0.01 水平的显著性,说明按键尺寸与主观评分和可用性评分之间有着显著的正相关关系。按键尺寸和工作负荷之间的相关系数值为-0.394 并且呈现出 0.01 水平的显著性,说明按键尺寸和工作负荷之间有着显著的负相关关系。随着按键的变大,被试的视觉主观评分逐渐增大,按键尺寸与视觉主观评分见图 6。5 种尺寸不同的按键中,被试认为 12 mm 左右大小的按键在主观感受上正好合适;15 mm、18 mm 次之;6 mm 大小的按键较小。按键尺寸在 6~12 mm,变化幅度较大,表示用户感知按键尺寸差异较敏感;按键尺寸在 12~18 mm,变化幅度较小,表示用户对按键尺寸差异的敏感性减弱。

随着按键的变大,可用性呈现增加的趋势,按键尺寸与可用性见图 7。同时工作负荷呈现降低的趋势,按键尺寸与工作负荷见图 8。当按键尺寸为 6~9 mm,可用性、工作负荷的变化幅度较大,按键的可用性快速提升;而在 9~15 mm,变化幅度趋于缓和,用户对按键尺寸在可用性上的敏感性降低;大于 15 mm 后,用户的工作负荷增大,可用性评分降低。

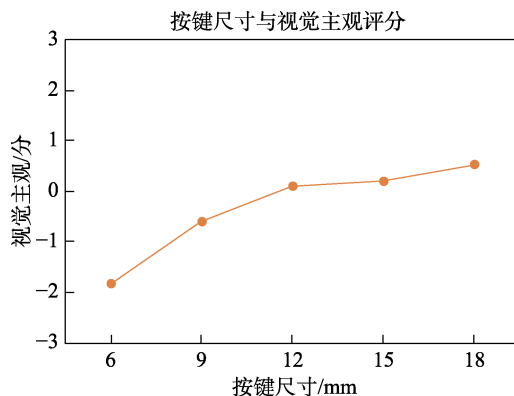


图6 按键尺寸与视觉主观评分
Fig.6 Key size and visual subjective score

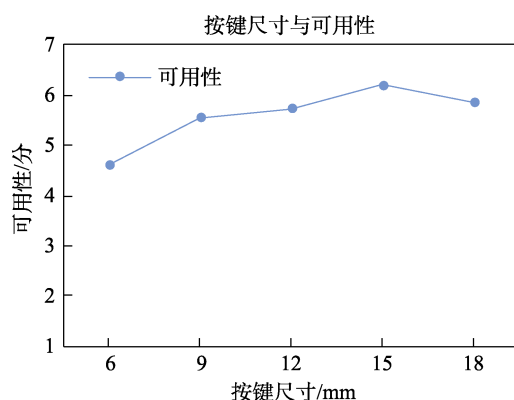


图7 按键尺寸与可用性
Fig.7 Touch key size and usability

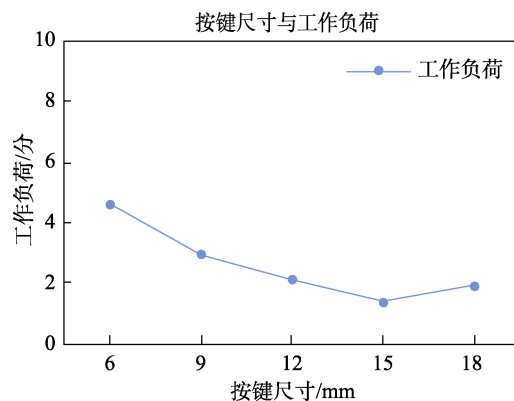


图8 按键尺寸与工作负荷
Fig.8 Touch key size and workload

综上所述,建议车载中控触屏按键尺寸为 9~15 mm。在驾驶状态下,驾驶者更倾向点击在按键中心的左侧位置。

5 实际应用

通过将毫米与像素单位进行换算,可适应更多不同尺寸的车载中控屏幕,顺应汽车硬件的发展,计算公式为像素数(取整)=分辨率/25.4×建议值。以实验屏幕分辨率 260 dpi 为例,得出车载中控触屏按键尺寸建议范围为 92 px~154 px,可根据界面信息层级适

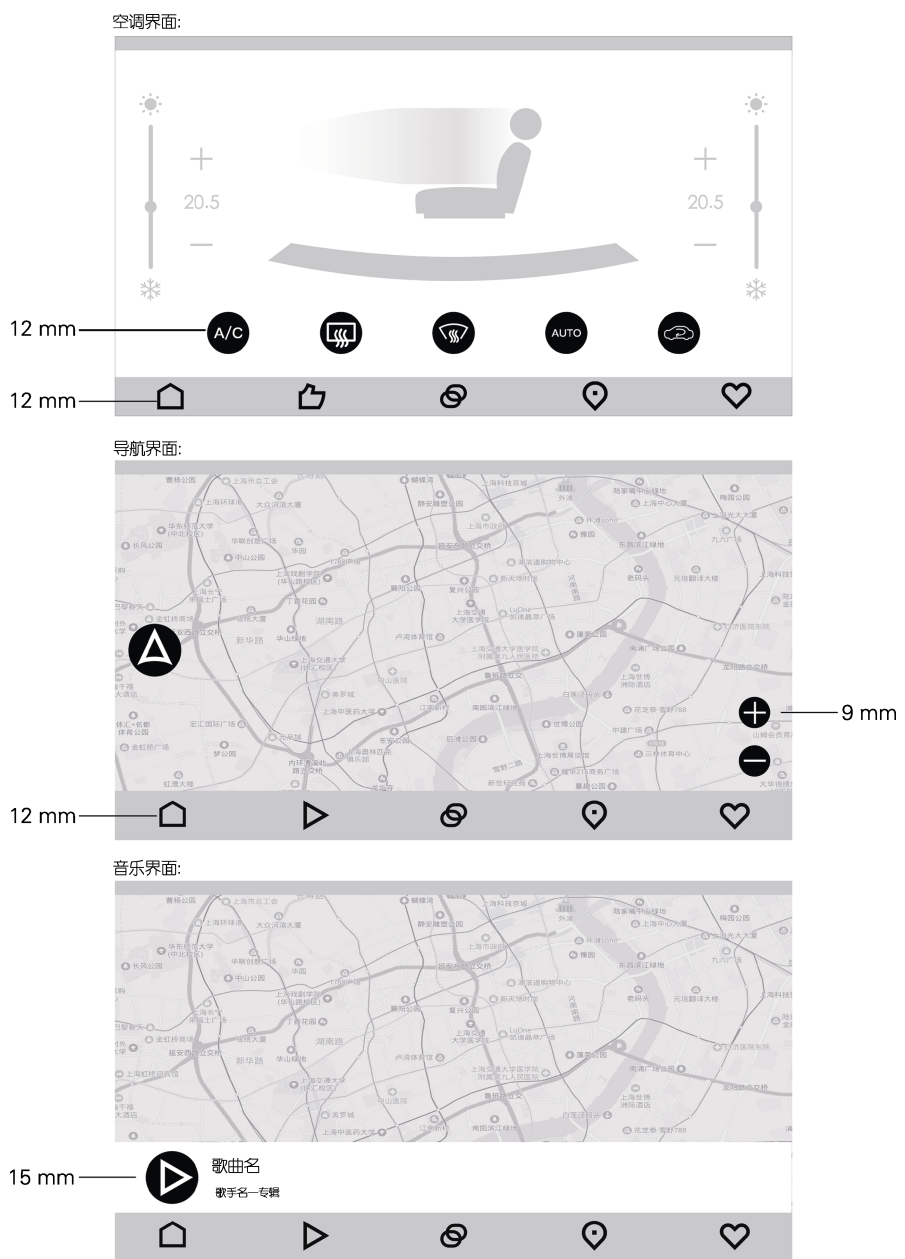


图 9 按键尺寸应用示例
Fig.9 Example applications of key size

用于不同车载中控界面控件，为驾驶员提供清晰易懂的交互信息。如 15 mm 较大的按键可应用于地图导航常用按键、音乐播放控制按键，引导用户点击；12 mm 按键可作为底部导航栏按钮、空调常用控制按钮；9 mm 较小按键可应用于放大、缩小此类使用频次较低的按钮，按键尺寸应用示例见图 9。

另外，根据实验驾驶员的行为表现，建议在设计车载中控屏时适当调整界面交互框架，尽量布局在屏幕左侧，或在视觉大小良好的基础上扩大控件的触控热区，便于驾驶员便捷且安全的操作。

6 结语

文章建立了一套汽车人机界面评测方法，从安全

性与用户体验维度对触屏按键进行评估与分析。实验结果表明，触屏按键尺寸会影响驾驶者点击目标的位置、视觉主观评分、工作负荷以及可用性。建议车载中控触屏按键尺寸为 9~15 mm，建议值可与像素单位进行换算，适配更多不同尺寸的车载中控界面。实验发现驾驶者与中控屏幕交互时，倾向于点击在按钮中心左侧，设计车载界面常用交互控件时，建议常用控件布局在屏幕左侧区域或增加交互的有效热区。智能座舱时代正在到来，汽车将成为日常生活中的第三空间，车载中控界面设计应保证驾驶安全的前提下，为用户带来更好的体验。文章使用汽车人机界面评测方法研究车载中控触屏按键，为制定界面设计元素规范提供了一条科学的思路。

参考文献:

- [1] 张吉宇. 车载信息与娱乐系统界面的交互设计[J]. 电子技术与软件工程, 2015(1): 60.
ZHANG Ji-yu. Interactive Design of Vehicle Information and Entertainment System Interface[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2015(1): 60.
- [2] 郑博伟, 吴亚生. 新能源汽车时代车载 HMI 交互界面发展方向的探索[J]. 设计, 2018(5): 13-15.
ZHENG Bo-wei, WU Ya-sheng. Research on the Development Direction of HMI Interactive Interface in New Energy Vehicle Era[J]. Design, 2018(5): 13-15.
- [3] Pfauth M, Priest J. Person-Computer Interface Using Touch Screen Devices[J]. Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting, 1981, 25(1): 10.
- [4] 牟伟民. 座舱显示器周边各键尺寸、方位和间隔的工效学实验研究[J]. 人类工效学, 1997(4): 11-13.
MU Wei-min. Ergonomic Experimental Study of the Dimensions, Orientation and Spacing of the Peripheral keys of Cockpit Display[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 1997(4): 11-13.
- [5] Heejin Kim, Sunghyuk Kwon, Jiyeon Heo, et al. The Effect of Touch-Key Size on the Usability of In-Vehicle Information Systems and Driving Safety During Simulated Driving[J]. Applied Ergonomics, 2014, 45(3): 10.
- [6] 傅斌贺, 刘维平, 王全, 等. 车载显控终端触屏按键尺寸工效学实验研究[J]. 车辆与动力技术, 2015(2): 45-48.
FU Bin-he, LIU Wei-ping, WANG Quan, et al. Ergonomic Experiment Research on Touch-key Size of In-Vehicle Display and Control Terminal[J]. Vehicle & Power Technology, 2015(2): 45-48.
- [7] Peter Roessger. An International Comparison of the Usability of Driver-Information-Systems: Tools, Results and Implications[J]. SAE Transactions, 2003(112): 776-779.
- [8] 何佳杰. 基于多指标的不同类型汽车 HMI 界面用户体验评估比较研究[D]. 浙江: 浙江理工大学, 2018.
HE Jia-Jie. Comparative Research on User Experience Evaluation of Different Types of Vehicle HMI Interface Based on Multiple Indicators[D]. Zhejiang: Zhejiang Sci-Tech University, 2018.
- [9] 郑杨硕, 朱奕雯, 王昊宸. 用户体验研究的发展现状、研究模型与评价方法[J]. 包装工程, 2020, 41(6): 43-49.
ZHENG Yang-shuo, ZHU Yi-wen, WANG Hao-chen. Development Status, Research Model and Evaluation Method of User Experience Research[J]. Packing Engineering, 2020, 41(6): 43-49.
- [10] 杰夫·绍罗. 用户体验度量: 量化用户体验的统计学方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
Jeff Sauro. Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2018.
- [11] Zaidel D M. Specification of a Methodology for Investigating the Human Factors of Advanced Driver Information Systems[J]. Electronic Equipment, 1991(1): 10.
- [12] Zwahlen H T, Balasubramanian K N. A Theoretical and Experimental Investigation of Automobile Path Deviations When Driver Steers with No Visual Input[M]. Ohio State University: Transportation Research Record, 1974.
- [13] Vivek D Bhise. 汽车设计中的人机工程学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
Vivek D Bhise. Ergonomics in Automotive Design[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2014.
- [14] Campbell J L, Brown J L, et al. Human Factors Design Guidance for Driver-vehicle Interfaces[R]. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2016.
- [15] ISO Council. ISO9241-11-2018. Ergonomics of Human-system Interaction-Part 11: Usability: Definitions and Concepts[S]. Switzerland: ISO, 2018.
- [16] Beckers Niek, Schreiner Sam, Bertrand Pierre, et al. Comparing the Demands of Destination Entry Using Google Glass and the Samsung Galaxy S4 During Simulated Driving[J]. Applied Ergonomics, 2017(58): 10.
- [17] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices[EB/OL]. (2013-04-26) [2020-04-05]. <https://www.nhtsa.gov>.
- [18] Yong S Park, Sung H Han. Touch Key Design for One-Handed Thumb Interaction with a Mobile Phone: Effects of Touch Key Size and Touch Key Location[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 40(1): 10.
- [19] ISO Council. ISO/TR 7239-1984, Development and Principles for Application of Public Information Symbols[S]. ISO: ISO/TC 145/SC 1 Public Information Symbols, 1984.
- [20] Campbell J L, Brown J L, Graving J S, et al. Human Factors Design Guidance for Driver-vehicle Interfaces [EB/OL]. (2016-12) [2020-02-02]. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/812360_humanfactorsdesignguidance.pdf.
- [21] Robert J Beaton, Novia Welman. Effects of Touch Key Size and Separation on Menu-Selection Accuracy[EB/OL]. (1985-05)[2020-02-26]. <https://doi.org/10.1117/12.946371>.