

某乘用车座舱中控屏布置与交互设计研究

许可¹ 张新² 刘国亮¹ 汤小虎¹ 黄雅莲¹

(1.一汽奔腾轿车有限公司奔腾开发院, 长春 130000; 2.一汽解放汽车有限公司商用车开发院, 长春 130011)

【欢迎引用】许可, 张新, 刘国亮, 等. 某乘用车座舱中控屏布置与交互设计研究[J]. 汽车文摘, 2024(3): 39-46.

【Cite this paper】XU K, ZHANG X, LIU G L, et al. Research on the Layout and Interaction Design of a Vehicle Cockpit Central Control Screen[J]. Automotive Digest (Chinese), 2024(3): 39-46.

【摘要】为了适应乘用车座舱中控屏尺寸日益增大的趋势, 在设计阶段更好地提升中控屏人机交互体验水平, 以乘用车座舱中控屏布置设计为研究对象, 梳理乘用车座舱发展现状及目前中控屏人机交互存在的问题, 基于多模态和多场景对座舱功能、硬件选型、概念布局、中控屏布置、人机交互设计进行了详细分析, 尤其是针对中控屏进行了Ramsis、Speos、Protopie虚拟分析, 并利用Seating Buck模型、量产状态样车等完成中控屏易用性评价, 确保方案切实可行。

关键词: 智能座舱; 中控屏; 概念布局; 人机交互; 易用性

中图分类号: U462.2*2 文献标志码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20230182

Research on the Layout and Interaction Design of A Vehicle Cockpit Central Control Screen

Xu Ke¹, Zhang Xin², Liu Guoliang¹, Tang Xiaohu¹, Huang Yalian¹

((1. Bestune Development Institute, FAW Car Co., Ltd., Changchun 130000; 2. Commercial Vehicle Development Institute, FAW Jiefang Co., Ltd., Changchun 130011))

【Abstract】To adapt to the increasing trend of the size of the central control screen in passenger car cockpit and enhance the Human Machine Interaction (HMI) experience level of the central control screen during the design phase, this paper takes the layout design of the intelligent cockpit and central control screen as the research object and sorts out the development status of the intelligent cockpit as well as the problems of the central control screen existing in the current HMI. The paper analyzes the cockpit function, component selection, conceptual layout, central control screen layout design, and HMI design in detail based on multi-mode and multi-scene, with a focus on the virtual analysis of Ramsis, Speos and Protopie for the central control screen. To verify the practicality and feasibility of the proposed scheme, the Seating Buck model and production status sample vehicles are used to complete the central control screen usability evaluation.

Key words: Intelligent cockpit, Central display, Conceptual layout, Human Machine Interaction (HMI), Usability

缩略语

HMI Human Machine Interface

DMS Driver Monitoring System

HUD Head-Up Display

W-HUD Windshield Head-Up Display

0 引言

随着中国汽车市场向电动化、网联化、智能化、共

享化方向快速转变, 乘用车座舱技术深入发展。近年来, 乘用车座舱正在由传统驾驶舱逐渐向智能驾驶舱过渡, 有关智能座舱技术发展趋势的研究也不断增多^[1-5], 内容主要集中于座舱布置、人机交互 (Human Machine Interface, HMI) 设计。现阶段, 座舱内部造型和布局更加简洁, 呈现大屏化座舱趋势。

乘用车座舱主要包括内饰和电子电气系统, 主要包括仪表盘、副仪表盘、座椅、空调、中控屏。传统座舱通过大量物理按键实现人对车的操控, 而现阶段大

屏化座舱以设置在仪表板和中控屏上的虚拟按键代替物理按键,使车内交互模式由人-车交互转变为人-中控屏交互,大大缩小了驾驶员操作范围,在一定程度上提高了车辆科技感和使用便利性。

现阶段大屏化座舱也存在一些问题。一方面,驾驶员需要重新适应新型操作面板。传统座舱内对传统物理按键的操作方式主要包括:单指提拉、单指按压、两指旋转操作;而大屏化座舱的操作方式主要包括对屏幕轻触、长按、滑动、拖动、缩放,这延长了驾驶员低头操作时间,降低了操作效率,也在一定程度上影响了整车交互体验水平。另一方面,屏幕面积增大使车内反光问题更加复杂化,驾驶员可能无法正常读取屏幕内容。在座舱屏幕布置设计方面,吴进军^[6]论述了中控屏布置的工程约束条件,分析了中控屏与空调出风口的3种布置关系,并指出其优缺点。田林枝^[7]论述了组合仪表屏幕可视性的反光炫目问题,提出增加组合仪表帽檐高度和调整组合仪表与水平面夹角的优化方案。金鑫^[8]论证了使驾驶员最舒适的中控屏触摸按键尺寸范围。邱焯^[9]针对车载系统人机交互界面的整体设计原则进行了论述和分析,提出交互界面设计应注重提高用户的体验性。本文主要以某车型座舱中控屏布置开发为研究对象,系统阐述如何在开发过程中更好的进行座舱中控屏的概念定义、布置分析、交互设计和设计验证,尽量规避大屏化导致的屏幕反光和交互体验变差问题,提升人-车交互体验水平,为后续车型开发积累经验。

1 座舱概念定义

在智能化趋势下,仪表板和中控屏的集成度越来越高,中控屏成为整车的控制和显示中心。现阶段座舱概念开发是在传统座舱概念开发的基础上不断细化电子电气系统(如中控屏)的过程。首先应基于市场需求展开,明确功能需求,以确定功能开发目标为起点,保证产品的前瞻性。

1.1 功能定义

功能是指整车应该提供或者完成的任务或活动。整车功能^[10]可以划分为整车级、系统级和零件级,物理硬件是功能实现的基础。用户在不同使用场景下对功能的需求比较复杂,需基于多场景和多模态分析,针对一些特殊操作设置功能冗余,能最大限度提升用户使用体验。

如图1、图2所示,前期开发时基于六维使用场景,对多个功能域进行分析,对整车功能进行详细分

解,确保功能定义更贴近用户需求。

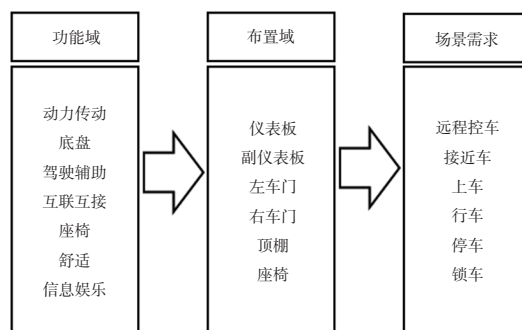


图1 功能分布区域

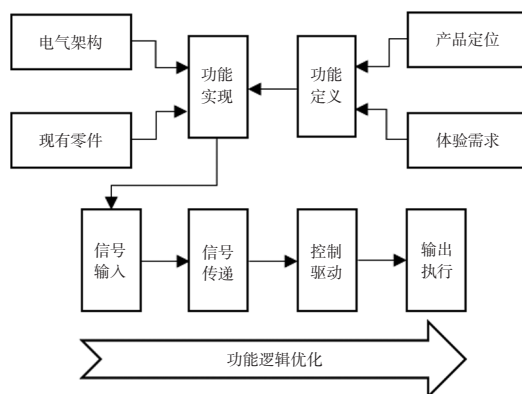


图2 功能实现路径

考虑虚拟按键对人机操作的影响,在行车场景尤其是高速行驶场景下,增加多模态交互功能(如语音控制^[11]、手势控制)有利于提高座舱的易用性。本车型将常用功能(如空调、导航、音乐、车窗升降)定义为既可以进行触控操作,也可以进行语音控制,从而满足驾驶员在不同场景下的使用需求,如在高速行驶中通过语音控制可以实现无接触交互,从而提升行车安全性。

1.2 硬件选型

如图3所示,根据功能与装备的映射关系,由功能定义推导出装备需求,使功能与装备相对应。装备定义直接影响整车各系统方案制定,本车型设计时,针对座舱内信号输入端主被动安全、舒适及方便、智能网联、空调配置进行前瞻性分析,重点考虑大尺寸中控屏、虚拟按键、驾驶员监测系统(Driver Monitoring System, DMS)、抬头显示(Head-Up Display, HUD)、语音交互。

DMS能在行车过程中任一时刻检测驾驶员面部行为,判断驾驶员眼睛是否朝向正前方,因此,应将其布置在驾驶员前方对准面部和眼睛的位置。在选型时,综合考虑A柱、仪表板遮光板和内后视镜位置的可行性。

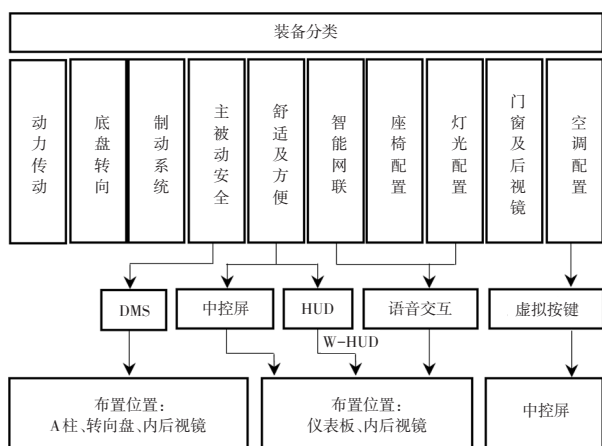


图3 硬件选型分析

如图4所示,转向护罩位置摄像头光轴水平夹角过大,且很难捕捉到驾驶员眼睛,内后视镜位置可能存在驾驶员低头时不能照到眼睛的问题,经过分析最终采用将DMS布置在左侧A柱的方案。

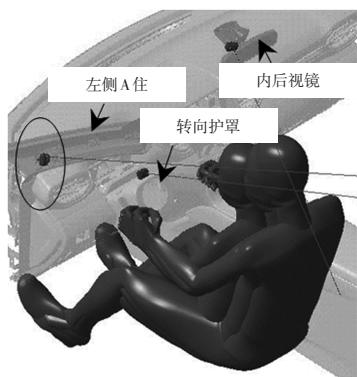


图4 DMS位置布置示意

通过HUD,驾驶员直视前方就能看到投影到前风窗玻璃上的导航及车速信息,考虑成本和成熟度,采用风窗型抬头显示(Windshield Head-Up Display, W-HUD)。

大尺寸中控屏可为驾驶员提供清晰的多媒体信息,如导航信息、空调信息。各车型屏幕尺寸如图5所示,考虑到成本和布置空间,本文选择12.6英寸的横屏和竖屏分别进行概念分析。

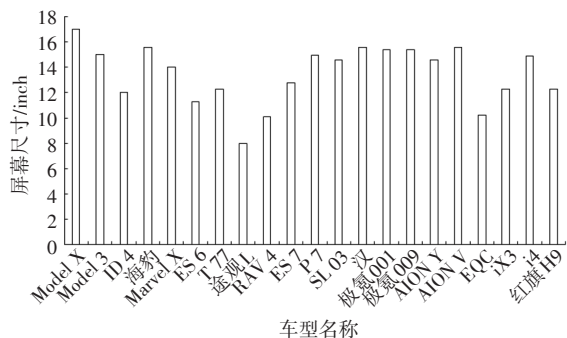


图5 各车型中控屏尺寸

驾驶舱各功能按键数量如图6所示,约有85项功能的操作按键与座舱相关,其中多媒体按键和空调按键数量最多,在中控区域所占面积最大。对空调按键进行虚拟化设计可减小中控区域高度尺寸,改善仪表板布局 and 驾驶员前方视野,降低整车成本,如图7所示。

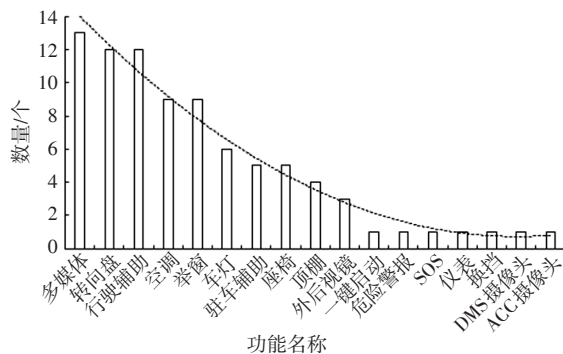


图6 驾驶舱各功能按键数量

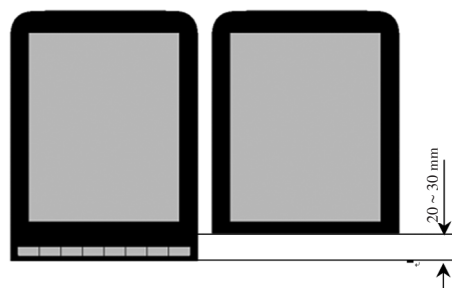
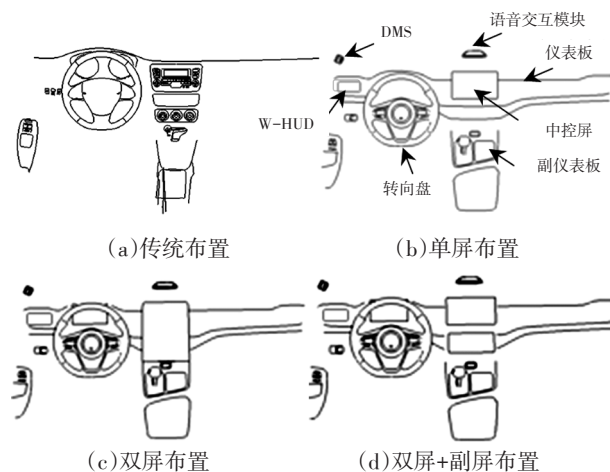
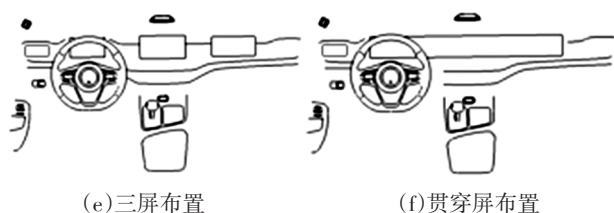


图7 空调按键虚拟化对大屏影响

1.3 概念布局定义

座舱主要功能操作环绕在驾驶员周围,操作的核心位置是转向盘、仪表板和中控屏。对多种座舱布局^[12]方案进行分析,图8a所示为采用物理按键方式的传统中控布局,图8b~图8f所示为采用虚拟按键的多屏布局,转向盘相关功能操作均采用物理按键,DMS摄像头和语音交互模块分布在驾驶员前方左右两侧。综合结构可实现性,选择相对简洁的双屏布局方案,如图8b和图8c所示。





(e)三屏布置 (f)贯穿屏布置

图8 座舱布局方案示意^[12]

2 中控屏布置分析

在详细设计阶段,重点细化中控屏的布置方案,中控屏布置必须满足可触及性原则且考虑光线反射的影响。

2.1 可触及性分析

本车型在设计时重点控制驾驶员右肩点与中控屏4个角点的距离(左下角点 L_A ,左上角点 L_B ,右下角点 L_C ,右上角点 L_D),以及中控屏侧视倾角 A_s ,结合驾驶员中间眼椭圆中心点和中控屏界面中心点建立人机七点分析模型。理论上,中控屏4个角点均应在GB/T 10000—2023《中国成年人人体尺寸》^[13]规定的人体手臂总长范围内(表1)。

表1 人体手臂尺寸^[13] mm

百分位/%	95	50	5
身高	1 813	1 706	1 607
前臂+手长	462	423	384
手臂总长	809	741	673

注:手臂总长包含上臂、前臂和手的长度

对配备大尺寸中控屏车型进行对标分析发现,95%百分位驾驶员右肩点与中控屏远端右上角点的距离平均值为885 mm,超过手臂长度76 mm,如图9所示,驾驶员在操作这些车型(驾驶员右肩点与中控屏远端右上角点的距离超过手臂长度的车型)的中控屏远端右上角点时,需要向前俯身,但是市场上并没有相关的用户负面反馈。在前期目标设定阶段,通过搭建简易的人机台架模型,对中控屏位置进行初步评估,尝试将95%百分位驾驶员右肩点到屏幕右上角点距离分别设定在 ≤ 809 mm、809~885 mm、885~950 mm内,在满足转向盘、仪表板、出风口布置可行且力求对造型效果影响最小的情况下,无法将中控屏右上角点布置在距离 ≤ 809 mm的范围内。在809~885 mm内,获得一个可触及的极限位置,此时,屏幕倾角达到25°,屏幕左下角点刚好落在最大手臂总长范围内,屏幕右上角点与右肩点距离883 mm,将其定义为方案1。以方案1作为目标值可保证驾驶员操作时手臂可触及性至少优于市场上50%该类车型,通过评价确

认,方案1操作舒适性可接受。在方案1基础上,保持屏幕左右下角点不动,减小屏幕倾角至18°时,刚好保证转向盘组合开关边界与仪表板距离为50 mm,是允许的最小可触及位置,将其定义为方案2。横向屏参照纵向屏布置,结果如表2所示。

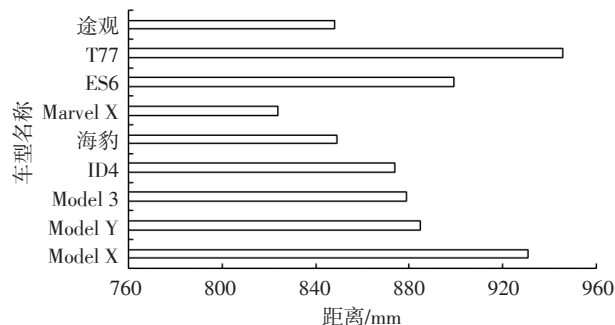


图9 右肩点与右上角距离对标

如表2所示,方案1和方案4操作舒适性居中;方案2距离最短,操作最舒适;方案3不符合要求。采用方案1和方案2,并通过调整中控屏倾角 A_s 可获得满足不同造型需求的布置方案。

表2 右肩点与各角点距离

屏幕	纵向屏		横向屏	
	方案1	方案2	方案3	方案4
$A_s/(^\circ)$	25	18	25	18
L_A/mm	768	768	777	771
L_B/mm	841	813	841	813
L_C/mm	814	814	841	835
L_D/mm	883	856	900	874

2.2 光线反射分析

如图10和图11所示,针对2.1节所述方案应用Ramsis和Speos软件对其进行联合模拟分析,确认中控屏光线反射影响。当中控屏侧视倾角 A_s 在18°~25°内时,前风窗入射光经中控屏反射后不存在反光现象,如图10a,而右侧窗入射光经中控屏反射后存在反光现象。在Ramsis软件中,竖向屏侧视倾角 A_s 为25°时,95%百分位人体模型驾驶员所能看到的反光面积为0.001 m²,占屏幕面积的比值为2%,且反光区域在屏幕右上角。如图11b,横向屏反光面积最大,是竖向屏的9倍。如图10c、图10d所示, A_s 为18°时反光面积最小,是 A_s 为25°时反光面积的70%。为了确认倒影的影响,对某采用15寸中控屏的对标车进行了同样的模拟分析,如图10e所示,该对标车中控屏反光面积占屏幕面积的比值为1.5%,实际评价中控屏界面内容视认没有问题。如图11所示,在Speos软件中,入射光在中控屏右上角形成浅色右侧窗框倒影,而不是集中的炫

目光点。通过以上分析,本车型设计时,将中控屏反光倒影面积比值设定为 $\leq 2\%$,且其反光位置在屏幕右上角,认为是可行的,由此也证明了2.1节所述方案1和方案2的可行性。若完全消除右侧窗倒影,需将中控屏侧视倾角 A_s 减小到 $\leq 9^\circ$,而根据2.1节结论,该方案无法实现,或者在方案1基础上,将中控屏绕其左侧边向驾驶员侧旋转 $\geq 10^\circ$,此方案对造型影响较大,难以实现。

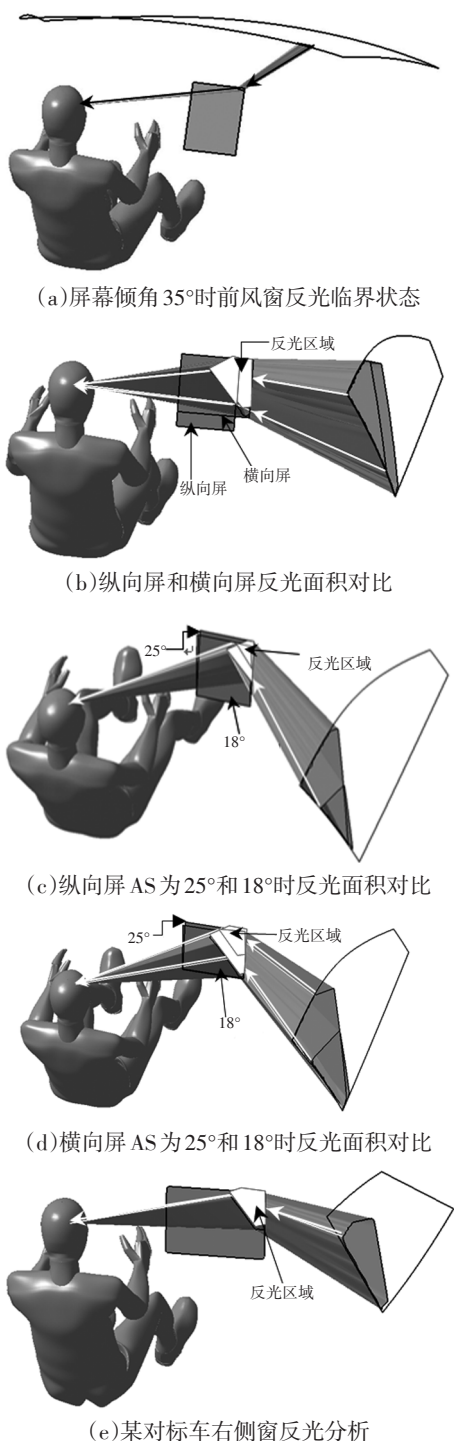


图10 基于Ramsis的反光分析



图11 基于Speos的反光分析

2.3 其他影响因素分析

中控屏布置还需考虑其他5个关键影响因素,包括中控屏下视角、中控屏右视角、中控屏与转向盘平行关系、中控屏与仪表平行关系和中控屏对造型的影响,如表3所示,这5个因素综合评价座舱内布局的整体协调一致性。

	A_s	25	18	9
中控屏下视角		27.3	27.5	27.9
中控屏右视角		32	33	34
中控屏与转向盘夹角		1	8	17
中控屏与仪表夹角		4.8	2.2	11.2
中控屏对造型影响		较小	有影响	较大

注:中控屏下视角 $\leq 30^\circ$,中控屏右视角 $\leq 30^\circ$

综合表3以及2.1节和2.2节分析结果,当中控屏侧视倾角 A_s 为 25° 时获得最优造型,座舱协调一致性最佳。

3 人机交互设计分析

在布置方案基础上,对中控屏界面^[14-17]进行初步定义,并进行人机交互概念分析,重点解决虚拟按键交互体验变差的问题,使其体验感最大化接近物理按键。

3.1 主界面布局方案

屏幕主界面形式主要包括以地图为底的方案、多屏浏览方案以及菜单界面方案。经综合对比,本车型采用以地图为底、辅助负一屏的界面形式。如图12所示,主界面主要包括状态栏、内容切换区和Dock栏。状态栏主要显示蓝牙、信号和时间信息。内容切换区主要显示地图界面和自定义卡片。Dock栏位于中控屏底部,是行车过程中驾驶员操作最频繁的区域。上下三区布局,界面直观简洁,可视性好,确保“1s即视”效果。负一屏控制中心界面为隐藏式设计,操作时自屏幕顶端向下滑出。

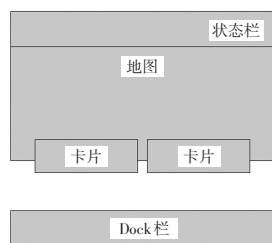
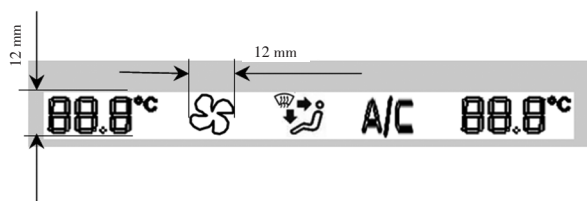


图12 主界面布局方案

3.2 Dock栏设计方案

如图13所示,使用频率高的功能按键(如空调、多媒体、Home)以组件形式置于Dock栏,确保字体尺寸适合,实现行车场景快速盲操作,解决虚拟按键操作不适应问题。

Dock栏内功能按键的数量设置以减少用户认知负担为前提,在设计布局上尽量提高易用性,减少误触风险。根据席克定律^[8],驾驶员面临的选择数量越多,做出决策的时间就越长。结合本车型中控屏尺寸,Dock栏内功能按键数量控制在5~9个最为合适。



(a)虚拟开关5键



(b)虚拟开关8键

图13 Dock栏按键布置示意

3.3 操作逻辑

3.3.1 功能按键操作逻辑

Dock栏内功能按键的布局充分考虑操作前后联动关系,并确保在最短操作路径中实现。

空调温度按键的最佳设置方式是直接点击调节,其次是点击位置弹出浮窗,确保手指移动距离微小。模式变化、风量调节和温度调节3个按键之间存在前后联动关系,其按键位置应相邻,且操作逻辑保持一致。

3.3.2 界面切换逻辑

进入页面和返回上一级界面的切换动作满足一键到达、一键返回。Dock栏的Home键和应用中心按键可实现主界面和应用程序界面快速切换。负一屏切换路径对称,从屏幕顶端单指下滑展开控制中心页面,且能单指上滑回。页面切换层级控制在3级以内。

3.3.3 界面仿真分析

根据功能定义和交互定义,确定中控屏主界面、应用中心、系统设置、导航、空调、多媒体、负一屏界面内容信息。如图14所示,在Protopie中建立界面分析模型,分析中控屏界面布局合理性,主要包括图标尺寸和间距、字体尺寸和间距、操作功能按键之间的逻辑关系、界面上按键距离远近、误操作、盲操作、易读性。同时基于Protopie进行人机交互原型动画模拟分析,确认从Dock栏按键切换到应用中心界面、通过Home按键返回主界面的动效、负一屏切换动效,充分复现实际场景下的交互状态,经过分析确认,界面原型具有较好的交互体验水平。

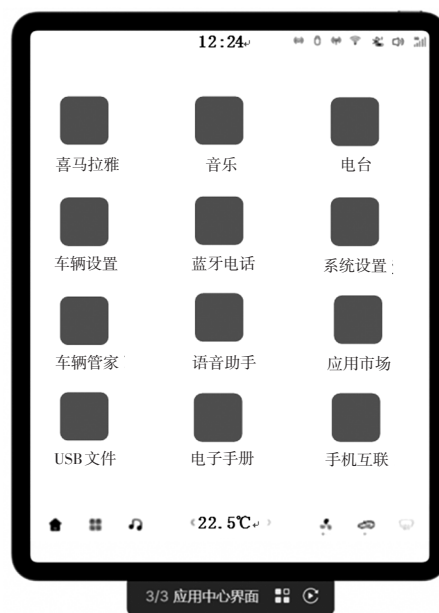


图14 Protopie分析示意

4 实物验证分析

4.1 Seating Buck模型验证

概念设计阶段应用Seating Buck模型进行座舱1:1实物验证评价,确认方案可行性。如图15a所示,Seating Buck模型采用整体树脂材料成型,座椅为实物样件,采用3D打印工艺制造仪表、中控屏、转向盘模型,利用背景灯模拟中控屏亮度。

通过评价确认座舱整体布局可行、各百分人体(5%、50%、95%)对座舱关键件(如座椅、转向盘、仪表、中控屏)和屏幕主界面的可触及性优于对标车,如图15b所示。

针对方案1的反光现象,中控屏在外界强光作用下,屏幕界面右上角产生右侧窗的倒影,倒影呈浅色亮面,并且未覆盖中控屏主要显示区域,观察时没有

产生炫目现象,在打开屏幕背景灯光情况下,驾驶员可清晰地观察到屏幕内容。

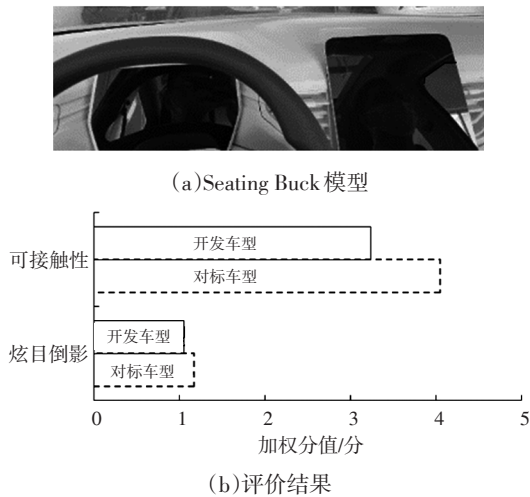


图15 Seating Buck评价

4.2 量产车验证

在量产阶段,需要对实物样车进行评价验证,如图16所示,以确保方案可行。本车型开发过程中,引入易用性评价方法进行评价验证,参考产品开发相关论述,易用性是指产品对用户来说有效、易学和令人满意^[19-23]。ISO 9241—11: 2018《人与系统相互作用的人类工效学》(Ergonomics of human-system interaction)^[24]将易用性定义为产品在特定使用环境下所具有的有效性、效率和用户主观满意度,上述定义同样适用,即屏幕界面既要容易理解,也要容易操作。容易

理解包括用户对中控屏显示内容(如文字、符号、图标)的可见性、屏幕内容对用户的指导性、屏幕设计是否符合常见的使用习惯、屏幕反馈速度、反馈清晰度以及语音交互是否轻松愉悦等。容易操作包括人机操作姿势、触觉软硬舒适度、操作行程和操作力等。具体评价标准参考上述定义及行业分析^[25],如表4所示,确定为各使用场景下人机交互动作、交互愉悦性、关键功能使用等维度,评价采用10分制标准基于六维使用场景和121个维度打分,1分代表非常好,10分代表特别差,5分代表一般。如图17a、图17b所示,按照上述维度对使用场景进行加权打分,计算方法为场景分值乘以使用加权系数(0.1~1),场景分值为场景中各项功能加权分值平均值的和,如行车信息交互场景包括调节空调温度和导航功能,每一项功能分别按上述易用性维度进行加权打分,然后将各项的平均分值相加得到信息交互场景的总分值。评价结果表明,所开发车型座舱及中控屏在各场景的交互体验水平评价结果均优于对标车交互体验水平评价结果。



图16 量产样车示意

表4 评价标准

评价分值/分	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
		相当不满意	很不满意	不满意	比较不满意	不太满意	可接受	较满意	满意	很满意
可见性	大幅度低头	很难看见	被大幅度遮挡	受光线影响时间有点长	偶尔受光线影响	不被遮挡	小幅度转身	稍转身	稍转头	特别容易看到
指导性	没有指示	时有时无	不太理解	需要想想	指示复杂	需要认读	试一下	理解	容易理解	一看就懂
认知习惯	找不到	很难识别	与常见的相反	咨询后才找到	需要简单查找	不太好识别	没有太大偏差	比较轻松接触	手伸范围	盲操作
反馈速度	无反馈	卡顿	滞后严重	滞后有点严重	滞后不太严重	有点滞后	没有滞后	快	很快	特别快
反馈清晰度	无反馈	没有感觉	几乎感觉不到	整体反馈弱	输入端反馈弱	反馈均可接受	比较清晰	清晰	很清晰	特别清晰
人机交互	放弃语音	语音困难	多次反复	两次反复识别	偶尔无法识别	部分不好识别	能满足需求	语音轻松	很轻松	特别愉悦
人机舒适	影响安全	反手操作	空间小、距离远	操作不太舒适	部分操作不太舒适	可接受	较舒适	舒适	很舒适	特别舒适
触感舒适	特别不舒适	很不舒适	触感偏硬	不太舒适	稍有点不舒适	基本没有不舒适感	没有不舒适感	硬材质,舒适	软材质,舒适	特别舒适
顺畅性	不回位	严重不顺畅	松动	较不顺畅	有点卡滞	偶尔有卡滞	没有卡滞	不是很大	适中	特别柔和

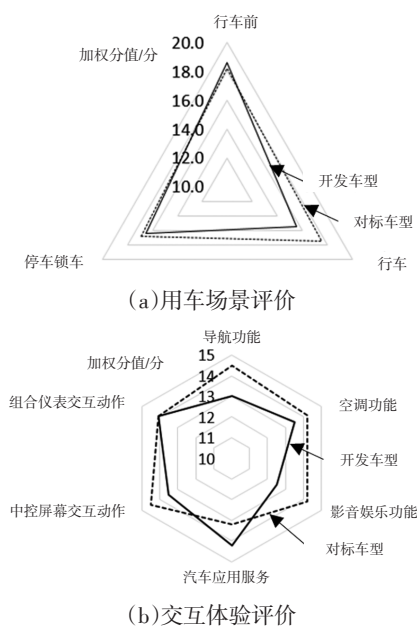


图17 易用性评价维度

5 结束语

汽车产业“新四化”的快速发展,促使汽车座舱由传统座舱逐渐向智能座舱转变,不断完善座舱的设计思路、方法和评价体系,做好技术方案储备开发,才能确保所开发产品在未来激烈的市场竞争中立于不败之地。

本文基于多模态和多场景分析,完成座舱及中控屏概念方案定义、模拟分析和验证评价,尤其是对座舱中控屏的布置设计流程进行了完整演示,同时阐述了人机交互原型的基本设计思路,为解决座舱大屏化的人机交互现存问题提供可行性方案。在前期设计过程中,利用Ramsis和Speos软件相结合的方式进行了虚拟分析验证,可以将屏幕反光面积控制在2%以内且不会产生炫目光点,确保屏幕反光对驾驶员的影响在可接受范围内。利用Protopie对屏幕布局和交互进行模拟分析,能够确保屏幕界面原型具有较好的人机交互体验水平。在后期验证过程中,通过Seating Buck模型评价、量产状态样车易用性评价验证了整体设计的有效性,能够为后续车型开发提供更好的参考经验。

参考文献

- [1] 郁淑聪, 孟健, 张渤. 浅谈汽车智能座舱发展现状及未来趋势[J]. 时代汽车, 2021(5): 10-11.
- [2] 闵志刚. 基于智能驾驶需求的汽车智能座舱设计发展现状及未来趋势探究[J]. 时代汽车, 2022(5): 127-129.
- [3] 夏欢, 郑李强, 邓春平, 等. 汽车智能座舱发展现状及未来趋势研究[J]. 时代汽车, 2023(4): 149-151+158.

- [4] 李函遥, 王馨, 郁淑聪. 智能座舱人机交互发展趋势[J]. 时代汽车, 2022(23): 16-18.
- [5] 王镭, 庞有俊, 王亚芳. 智能座舱HMI人机交互界面体验及未来趋势浅析[J]. 时代汽车, 2021(3): 15-17+20.
- [6] 吴进军, 李兆雷, 冯鸿飞. 仪表板中控造型布局的研究[J]. 中国汽车, 2022(6): 14-20+44.
- [7] 田林枝, 黄超俊. 基于Ramsis软件的汽车组合仪表可视性优化[J]. 汽车工程师, 2020(3): 22-24+28.
- [8] 金鑫, 李黎萍, 杨逸凡, 等. 基于汽车人机界面评测的中控触屏按键研究[J]. 包装工程, 2021, 42(18): 151-158.
- [9] 邱焯. 基于用户体验的车载交互界面设计研究[J]. 大观, 2022(5): 25-27.
- [10] 张金一. 功能定义在整车产品开发中的应用介绍[J]. 中国汽车, 2018(11): 53-56.
- [11] 王兴宝, 雷琴辉, 梅林海, 等. 汽车语音交互技术发展趋势综述[J]. 汽车文摘, 2021(2): 9-15.
- [12] 张元辰. 新能源汽车HMI人机交互界面设计—以BYD汉EV为例[D]. 成都: 成都大学, 2023.
- [13] 国家标准化管理委员会. 中国成年人人体尺寸: GB/T 10000—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [14] 李谟秧. 汽车人机交互界面用户自定义手势设计研究与应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2015.
- [15] 谭浩. 智能电动汽车人机交互信息界面设计[D]. 南京: 东南大学, 2018.
- [16] 孙博文, 杨建明, 孙远波. 汽车人机交互界面层级设计研究[J]. 机械设计, 2019, 36(2): 121-125.
- [17] 王映霓. 基于用户体验的新能源汽车人机交互界面设计研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2022.
- [18] 唐诗斯, 秦拯, 欧露. 基于席克定律与费茨定律的菜单可用性研究[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(10): 254-258.
- [19] 陈岩. 产品设计中的易用性研究[J]. 设计, 2015(3): 56-57.
- [20] 吕文奎. 产品设计中的易用性研究[J]. 艺术与设计, 2007(4): 110-112.
- [21] 黄南南. 产品的易用性设计研究[J]. 艺术科技, 2017(9):251.
- [22] 付永民. 面向产品易用性的设计方法[J]. 设计, 2013(12): 179-181.
- [23] JAKOB N. 可用性工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [24] ISO INTERNATIONAL. Ergonomics of human-system interaction- Part 11:Usability:Definitions and concepts:ISO 9241- 11: 2018[S/OL].(2018- 03)[2023- 11- 07]. <https://www.iso.org/standard/63500.html>.
- [25] 朱宁. 车载互联系统主观评价方法研究[J]. 汽车文摘, 2020(3): 24-30.

(责任编辑 梵铃)