

摘要

网联跟驰环境下车辆抬头显示信息呈现策略研究

随着车载技术的不断发展,汽车人机交互方式以及交互内容正在发生革命性的变化。目前,车载人机交互内容正从单一的车辆状态信息逐渐进化为包括车辆状态、辅助驾驶和娱乐等复杂信息,抬头显示(HUD, Head up Display)技术也逐步应用到家用汽车。各大汽车生产厂商为了追求驾驶辅助功能的提升及视觉上的效果,不断地丰富 HUD 显示功能。在复杂道路环境中驾驶人不仅需要处理外部复杂的交通环境,还需理解 HUD 信息的表征含义,这导致驾驶人脑负荷急剧增加,使得驾驶人对于驾驶环境的变化较难及时做出正确的反应,极易引发交通事故。本文将视觉注意分配作为约束,对考虑动态道路环境复杂度的车载 AR-HUD 自适应策略进行研究。

首先,本文建立跟驰动态道路环境复杂度量化模型。基于跟驰行为谱选定修正碰撞裕度倒数、横向摆动系数、速度不稳定系数 3 种复杂度量化指标,初步建立模型。在驾驶模拟器上搭建不同复杂程度的跟驰场景并安排被试人员执行跟驰驾驶任务,采集前车位置、前车车速、自车位置和自车车速等驾驶数据。计算复杂度量化指标具体数值并使用熵权法确定指标权重,建立跟驰动态道路环境复杂度量化模型。采用 NASA-TLX 量表对驾驶人驾驶负荷进行量化,用以验证模型的准确性。结果表明模型量化结果与驾驶人驾驶负荷呈显著相关,证明了模型构建的有效性。

其次,建立 HUD 界面复杂度量化模型。根据眼动追踪模型分析驾驶人识认 HUD 信息的眼动过程并选择扫描路径时间和平均凝视时间作为眼动模型指标,根据眼动指标分析了 HUD 界面复杂度影响因素。统计现有 HUD 显示信息以及分析网联环境下的超视距信息,在驾驶模拟器上进行 HUD 仿真,采集被试人员对不同 HUD 界面识认时的眼动行为,分析眼动指标随影响因素变化的规律并建立二者的关系模型。以眼动时间代表 HUD 界面复杂度,建立 HUD 界面复杂度量化模型,实现对单一元素以及多个元素的 HUD 界面复杂度量化。

最后,制定跟驰自适应 HUD 显示策略。利用 TICC 算法对获取的驾驶数据进行分割聚类,划分驾驶场景,并对各场景进行驾驶状态和动态道路环境复杂度等级分析。根据各场景的特点设计对应 HUD 界面显示内容,确定 HUD 信息重要度排序以及 HUD 界面复杂度限制值,在保证满足不同场景所需驾驶信息的同时控制各场景车内信息与车外环境的总复杂度。根据显示策略建立跟驰自适应

HUD 显示系统,通过模糊综合评价法对该系统进行评价,验证了系统的可用性,为车辆人机交互自适应策略研究提供了理论依据。

关键词:

道路交通安全; 动态道路环境复杂度; 跟驰; HUD 界面复杂度; HUD 自适应策略

ABSTRACT

Research on Information Presentation Strategy of Vehicle Head-up Display in Connected Car-following Environment

With the continuous development of vehicle technology, the way of human-computer interaction and interactive content are undergoing revolutionary changes. At present, the content of on-board human-computer interaction is gradually evolving from a single vehicle status information to complex information including vehicle status, assisted driving and entertainment. Head up Display (HUD) technology is also gradually applied to household cars. In order to pursue the improvement of driving assistance function and visual effect, the major automobile manufacturers constantly enrich the HUD display function. In a complex road environment, drivers not only need to deal with the complex external traffic environment, but also need to understand the meaning of HUD information, which leads to a sharp increase in the brain load of drivers, making it difficult for drivers to respond correctly to changes in the driving environment in a timely manner, which can easily lead to traffic accidents. In this paper, the visual attention allocation is used as a constraint to study the vehicle AR-HUD adaptive strategy considering the complexity of dynamic road environment.

Firstly, this paper establishes a quantitative model of car-following dynamic road environment complexity. Based on the car-following behavior spectrum, three complexity quantitative indexes of modified collision margin reciprocal, lateral swing coefficient and velocity instability coefficient are selected to establish the model. Car-following scenes with different complexity were built on the driving simulator and participants were arranged to perform car-following driving tasks. Driving data such as front vehicle position, front vehicle speed, self-vehicle position and self-vehicle speed were collected. Calculate the specific value of the complexity quantitative index and use the entropy weight method to determine the index weight, and establish a quantitative model of the complexity of the dynamic road environment. The NASA-TLX scale was used to quantify the driver 's driving load to verify the accuracy of the

model. The results show that the quantitative results of the model are significantly correlated with the driver's driving load, which proves the effectiveness of the model construction.

Secondly, the quantitative model of HUD interface complexity is established. According to the eye tracking model, the driver's eye movement process of recognizing HUD information is analyzed, and the scanning path time and average gaze time are selected as the eye movement model indicators. According to the eye movement indicators, the influencing factors of HUD interface complexity are analyzed. The existing HUD display information and the over-the-horizon information in the connected environment are analyzed. The HUD simulation is carried out on the driving simulator, and the eye movement behavior of the subjects when they recognize different HUD interfaces is collected. The law of eye movement index changing with influencing factors is analyzed and the relationship model between them is established. The eye movement time is used to represent the complexity of HUD interface, and the quantitative model of HUD interface complexity is established to realize the complex quantification of HUD interface for single element and multiple elements.

Finally, the following adaptive HUD display strategy is developed. The TICC algorithm is used to segment and cluster the obtained driving data, divide the driving scene, and analyze the driving state and dynamic road environment complexity level of each scene. According to the characteristics of each scene, the corresponding HUD interface display content is designed, and the HUD information importance ranking and the HUD interface complexity limit value are determined. While ensuring that the driving information required for different scenes is satisfied, the total complexity of the vehicle information and the external environment of each scene is controlled. According to the display strategy, a car-following adaptive HUD display system is established. The system is evaluated by fuzzy comprehensive evaluation method, and the availability of the system is verified, which provides a theoretical basis for the research of vehicle human-computer interaction adaptive strategy.

Keywords:

road traffic safety, dynamic road environment complexity, following, HUD interface complexity, HUD adaptive strategy

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解吉林大学有关保留、使用学位论文的规定，同意吉林大学保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权吉林大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

（保密论文在解密后应遵守此规定）

论文级别：硕士 博士

学科专业： 载运工具运用工程

论文题目： 网联跟驰环境下车辆抬头显示信息呈现策略研究

作者签名： 张耀胤

指导教师签名： 王琳虹

2023年5月27日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外主要研究现状	3
1.2.1 道路交通环境复杂度量化研究现状	3
1.2.2 车载 HUD 交互界面研究现状	5
1.2.3 研究现状总结	7
1.3 本论文主要研究内容及框架	8
第 2 章 跟驰场景下动态道路环境复杂度量化	11
2.1 跟驰场景下动态道路环境影响因素分析及指标优选	11
2.1.1 动态道路环境复杂度量化指标优选	11
2.1.2 基于熵权法的量化模型构建	12
2.2 试验方案设计与场景搭建	14
2.2.1 试验方案设计	14
2.2.2 试验场景搭建	15
2.3 量化模型求解及验证	17
2.3.1 模型指标权重求解	17
2.3.2 模型量化结果分析	18
2.3.3 基于 NASA-TLX 主观负荷模型验证	20
2.4 本章小结	23
第 3 章 HUD 界面复杂度量化	25
3.1 基于视觉特性的 HUD 界面复杂度量化指标优选	25

3.1.1 视觉行为过程分析.....	25
3.1.2 眼动追踪方法选择.....	26
3.1.3 眼动指标优选及 HUD 界面复杂度影响因素分析.....	27
3.2 HUD 模拟与试验方案设计	28
3.2.1 驾驶模拟器 HUD 模拟.....	28
3.2.2 试验方案设计.....	31
3.3 HUD 界面复杂度量化模型建立	35
3.3.1 单个元素复杂度量化	36
3.3.2 多元素界面复杂度量化	39
3.3.3 HUD 界面复杂度分级.....	42
3.4 本章小结	43
第 4 章 自适应 HUD 显示策略研究.....	45
4.1 考虑动态道路环境复杂度的跟驰场景划分	45
4.1.1 基于 TICC 算法的跟驰场景划分	45
4.1.2 聚类模型参数标定.....	47
4.1.3 跟驰场景划分结果分析	49
4.2 多场景 HUD 显示策略设计研究	51
4.2.1 HUD 人机交互界面设计原则.....	51
4.2.2 HUD 界面信息分类及优先级分析.....	53
4.2.3 多场景 HUD 显示策略设计.....	54
4.3 基于模糊综合评判法自适应 HUD 显示策略验证.....	58
4.4 本章小结	60

第 5 章 总结与展望	61
5.1 全文总结	61
5.2 工作展望	62
参考文献	63
作者在学期间取得的科研成果	71
致谢	73

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

根据 Neale 等的统计,事故发生前三秒内因驾驶人注意力不足所导致的交通事故占总的交通事故的 78%,且跟驰追尾事故占比较高^[1,2]。交通事故不仅对当事人的生命财产造成严重损害,还会造成交通堵塞,影响事故地点的正常交通运行状态。

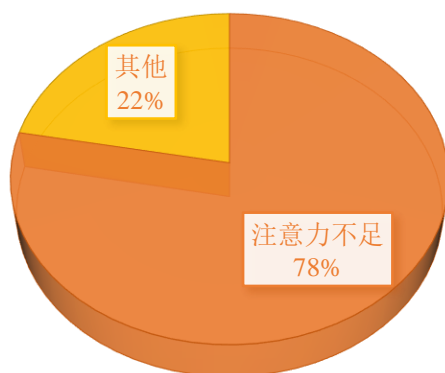


图 1.1 交通事故发生前三秒内原因占比

近些年车载中控大屏广泛应用,很多行车中的驾驶人因操纵中控大屏导致驾驶分心进而引发交通事故。汽车行业为了解决驾驶分心所带来的安全隐患引进了抬头显示系统(Head up Displays, HUD)作为一种视觉辅助技术(能够利用光学反射原理将驾驶相关信息投影至驾驶人的视线前方)。HUD 技术已有几十年的历史,最初是在 20 世纪 50 年代为军用飞机开发的,后被应用到汽车上。NHTSA 通过研究得出结论,车载 HUD 可为驾驶人进行关键信息显示,最大限度地减少驾驶人视线离开驾驶前方车道的的时间,这可以通过减少驾驶人眼球运动和视觉追踪来提高驾驶人获取信息的速度和聚焦时间,进而有效提升行车安全性^[3]。

然而随着 HUD 系统的发展,各大汽车生产厂商为了追求驾驶辅助功能的提升及视觉上的效果,不断地丰富 HUD 显示信息。具体包括驾驶任务相关信息如车辆运行参数(车辆速度、车辆挡位、轮胎压力等)、车辆导航信息(行驶路线、车道推荐等)及辅助驾驶信息(碰撞预警、疲劳预警、行人提醒等)。驾驶任务

不相关的驾驶次任务信息如音乐、电话信息和广播等。上述大量增强现实信息在驾驶人的视野前方与道路环境场景信息叠加，如图所示。特别是在道路环境较为复杂，交通冲突较多时会对驾驶人造成视觉干扰，过于挤占驾驶人的视觉注意资源。



图 1.2 车载 HUD 显示示例

驾驶人在驾驶过程中需要根据周围的交通环境，做出相应的驾驶决策，进而对车辆的安全运行进行控制。在驾驶过程中，除了处理外部复杂的交通环境外，驾驶人还需理解 HUD 的表征含义。驾驶人会承受来自道路环境以及车内信息系统两方面带来的精神负荷，复杂的道路环境加上功能日趋复杂的 HUD 界面会给驾驶人带来极大的精神负荷，当驾驶人承受的精神负荷超过自身的承载能力时便会引起注意力不足、环境感知缺失、决策错误及操作失误等危险驾驶行为，极易引发交通事故，这也违背了 HUD 减少驾驶分心的初衷。

合理的 HUD 设计应该考虑外部道路环境的复杂程度，并结合驾驶人的视觉注意资源分配和脑负荷来对信息呈现的数量及方式进行优化，并能够随着外界交通环境的变化动态匹配。目前已有的关于 HUD 的设计大多数围绕利用驾驶人的认知去评价 HUD 的合理性或者单一地考虑交通冲突去设计 HUD，研究方法无法综合考虑交通场景的场景特点和复杂程度以及驾驶人的认知负荷。因此，亟需通过将视觉注意分配作为约束，考虑交通环境复杂度的车载 HUD 自适应策略研究。

本文对网联跟驰环境下车辆抬头显示信息呈现策略展开研究，建立跟驰动态道路环境复杂度与 HUD 界面复杂度量化模型，通过获取的自车与前车的驾驶数据，利用 TICC 算法对其进行场景分割聚类，确定各场景进行动态道路环境复杂度等级以及制定相应 HUD 显示策略，在动态道路环境复杂度高的场景中减少

HUD 的显示内容, 突出关键(预警)信息, 在减少驾驶人精神负荷的同时提醒驾驶人道路上所存在的潜在风险, 避免因注意力不足而引起的驾驶事故, 降低跟驰驾驶事故发生的概率。

1.2 国内外主要研究现状

目前国内外研究学者在道路交通环境复杂度和 HUD 交互界面设计方面分别展开研究, 针对研究主题, 本文总结归纳了道路交通环境复杂度和 HUD 交互界面的研究现状, 奠定理论基础。

1.2.1 道路交通环境复杂度量化研究现状

道路交通环境不但是驾驶人精神负荷的主要来源之一, 也是人-车-路系统中的重要环节, 道路环境由于其大量的交通信息及较高的不确定性, 会给驾驶员带来较大的驾驶负荷。在国内外的研究当中, 学者们大多数从两个方面进行复杂度量化, 包括通过对交通环境特点分析, 借助复杂度理论建立交通环境复杂度量化模型; 从主客观两个方面对驾驶人在不同交通环境中的驾驶负荷进行研究, 从而实现复杂度量化。还有部分学者结合两种方法, 建立复杂度量化模型的同时对模型进行验证, 保证了模型量化的准确性。

(1) 根据交通环境特点, 建立复杂度量化模型。

一些学者对动态驾驶环境展开研究, Rongjie Yu 等通过车辆的动态交互对象识别, 建立一种客观地动态驾驶环境复杂度量化方法。通过从数量、种类和关系的角度描述车辆-车辆的时空交互, 来量化人类驾驶员对驾驶环境复杂性的判断。提出了一个通用的客观量化框架。经过验证, 该模型可以准确地描述复杂性变化的时间和程度, 并揭示由于场景类型和时空异质性造成的复杂性差异^[4]。Chang 等以驾驶人的速度、加减速度作为复杂度指数, 通过应用信息理论中的信息熵概念, 对驾驶人所处交通环境进行量化分析^[5]。

部分学者利用图像识别技术对交通环境进行分析, 如董永杰等在视觉信息方面将城市道路交通环境分为意义层、物理层等, 根据眼动数据确定各层权重, 以行驶速度作为城市道路交通环境的评价参数, 求出速度与信息量之间的关系, 最

终确定信息量阈值，建立了基于视觉信息层级模型的信息量计算方法^[6,7]。Yang S 等平衡检测复杂度动态交通环境的速度和精度，基于提取的颜色和纹理分布的特征集，完成对驾驶人所处道路类型的识别，包括越野、城市、高速公路等场景，在真实的应用中取得较高的分类准确率^[8,9]。

许多学者通过分析交通流数据特征以及提取相关系数实现对交通环境的评价和风险预判。Kurakina E V 等对道路安全影响因素分析，结合不同道路使用者数量、交通冲突率，通过比较不同路段上的交通流复杂度与交通冲突率的关系，得到交通冲突率与路段交通流的复杂度回归模型^[10-12]。汪敏等基于跟驰行为谱，提取碰撞时间倒数、横向摆动系数、速度不稳定系数并划分阈值以实现实时预测跟驰风险状态。从人、车、路、环境四个维度建立道路环境复杂度评估指标体系，明确指标取值；构建标准化规则，定义道路环境复杂度综合指数，建立道路环境复杂度评估模型，并确定复杂度分级标准^[13-15]。

(2) 分析驾驶人驾驶负荷评估交通环境复杂度

部分学者通过分析驾驶人在驾驶行为中的认知工作量来评估交通安全，Neng-chao LYU 等基于不同信息量的交通标志测试驾驶员的驾驶工作量，安排被试人员识别不同信息量的交通标志，收集对每个交通标志的主观工作量评估和识别时间。结果表明，工作量与交通标志信息量高度相关，反应时间随信息量的增加而增加。研究结果可用于评估交通安全，包括驾驶的次要任务，这更好地考虑了驾驶员的认知特征^[16]。

一些学者通过分析驾驶人眼动行为评价交通环境复杂性，如 Yao K 等通过驾驶模拟器进行驾驶场景模拟，通过改变道路上交通标志和广告的数量以及改变模拟驾驶环境的复杂性来操纵驾驶任务，采集被试人员在驾驶时的眼动数据和驾驶数据。结果表明，工作量、瞳孔直径、注视率和注视次数与道路状况的复杂性呈正相关。使用并发的简单反应时间任务或复杂的计算任务来控制认知负荷，结果证实，眨眼频率是一个敏感的衡量指标，可以随着驾驶环境变复杂而增加，但眨眼行为并不适合反映同时执行车内外驾驶任务的驾驶人状态^[17-20]。

除眼动生理数据，部分学者还通过分析驾驶人的心率和脑电数据，构建复杂度量模型。毕蕊根据不同路况下驾驶人的脑电特点，构建了以驾驶人脑电数据

为基础的交通要素复杂性识别模型及交通要素复杂性量化模型,为车辆行驶过程中的复杂度量提供了一个较为客观的评价标准^[21]。Shakouri M 等在驾驶模拟器模拟不同复杂程度的驾驶场景,记录驾驶人驾驶过程中的心率、主观工作量和驾驶性能指标之间的关系,结果表明,驾驶人在复杂的驾驶场景中的工作负荷较大、驾驶表现评分较低,但心率变异性测量对驾驶场景复杂度和交通密度的差异并不敏感^[22]。

(3) 通过驾驶人主观负荷或客观表现验证道路环境复杂度量理论模型

一些学者通过驾驶人在不同交通环境下的主观负荷对交通环境复杂度量模型进行验证,例如,张朋等从复杂性理论的视角分析了道路动态交通环境,提出了其复杂度的概念,并针对不同的驾驶方式,提炼出各种复杂性的影响因素,对其赋权系数。构造了一个排斥力场,用各影响因素与其在空间上的邻近度的加权之和来表示其复杂性。通过四种驾驶仿真情景,收集受试者的主观负荷,来检验该模型的正确性^[23,24]。

还有一些学者通过采集驾驶人不同交通环境下的反应时间,以此验证对交通环境复杂度的量化结果。张海潮等根据交通环境因素特点,将交通因素分为有效因子和无效因子,建立了基于引力模型的道路交通环境复杂度概念数学表达式^[25]。Liu W 等选取了交通环境复杂性的影响因素,如驾驶操作指标、车辆驾驶状态指标和道路环境指标,基于主成分分析法,建立了跟驰动态道路环境复杂度量模型。这些学者通过将驾驶人在不同复杂度驾驶环境中的反应时间与复杂度量结果对比,客观地验证模型的准确性^[26]。

1.2.2 车载 HUD 交互界面研究现状

相对于其他车载显示方式,HUD 是最理想的显示位置,设计合理的 HUD 界面可帮助驾驶人更快地获取驾驶信息,减少驾驶分心,从而提高驾驶安全^[27]。但随着增强显示抬头显示(Augmented Reality-HUD, AR-HUD)等技术的发展,HUD 可显示信息变多导致界面越来越复杂,张桂伟等分析市场得出抬头显示的认知性研究是现阶段抬头显示研究的薄弱部分,解决抬头显示应当显示什么信息,如何显示信息的问题,在降低认知分心,辅助驾驶安全方面具有更为深远的意义^[28]。

国内外研究学者从 HUD 交互界面评价与 HUD 界面设计指导原则两个方面对 HUD 交互界面展开研究。

(1) HUD 交互界面评价

一些学者利用驾驶模拟器模拟真实道路场景以及 HUD 仿真, 将其用来评估 HUD 的设计, 如 Charissis V 等通过让被试人员在驾驶模拟器执行不同 HUD 界面下的驾驶任务发现具有增强显示动态方向的 HUD 界面设计可以帮助驾驶人更好的使用 ACC 以及提高系统的可用性。在 HUD 界面使用醒目的颜色虽然可以减少驾驶人的工作量, 但也可能会妨碍驾驶人清晰地查看信息^[29-31]。

部分学者对 HUD 显示位置进行评价分析, 如 Morita K 等讨论在车辆中使用 HUD 引起的相关人为因素问题以及潜在的安全影响, 通过设置文本阅读任务研究了车载 HUD 界面中信息不同显示位置对于工作负荷的影响。对比在户外椅子上使用 HUD 和在车内使用 HUD 两个场景发现, 被试人员在车内使用 HUD 时, 视线会偏向道路中间^[32-34]。

一些学者通过研究发现在 HUD 中显示驾驶信息可以实现更好的驾驶表现, Yang Z 等人通过对比几种车载预警方式发现在 HUD 界面中显示预警信息多方面都要优于其他组, 可通过改进 HUD 预警信息显示促进驾驶安全^[35, 36]。Schewe F 等将显示在 HUD 界面的传统速度表与生态速度表进行了比较, 结果表明与传统速度表相比, 生态速度表的应用可以实现更好的驾驶表现^[37]。

还有一些学者针对 HUD 界面易读性展开研究, Ward N J 等设置了不同 HUD 界面(包括动画), 要求被试人员在不同场景下识别特定方向和特定 HUD 显示目标。结果表明, HUD 界面清晰度会随着驾驶场景视觉复杂度的增加而变差; 位置在道路上的 HUD 更容易被识别; 加入动画可以让一些功能显示变得更加生动, 但往往会增加驾驶人的反应时间^[38, 39]。Wolffsohn J S 等通过记录不同年龄段被试人员执行 HUD 辅助驾驶任务发现, 驾驶人对 HUD 界面的识别时间以及对外部驾驶环境变化的响应时间会随着年龄的增长而增加^[40]。

Smith S 等探讨 HUD 界面图案设计与驾驶人情绪感受之间的关系, 通过分析情感维度和设计类别因素, 在不同驾驶场景为不同的驾驶人团体优化 HUD 界

面设计，建立 HUD 界面图像与代表性情绪感受之间的预测模型，实现预测使用给定 HUD 界面驾驶人的情绪感受^[41, 42]。

(2) HUD 界面设计指导原则

学者们通过 HUD 人机交互界面分析，从各方面提出了 HUD 设计原则以及指导意见。Beck D 等对现有 HUD 系统的使用环境和设计改进点进行了用户调查，考虑驾驶人对辅助驾驶功能的需求，对 HUD 信息的重要性进行排序。提出了 HUD 信息界面设计准则，认为 HUD 界面显示符号应少于 6 个，使用垂直对齐的界面排列更加直观^[43-46]。

李坤刚等提出基于情景感知的 HUD 辅助驾驶人机交互界面，通过分析车外情景因素对驾驶人的影响以及对 HUD 界面信息进行分类和重要度排序，建立不同情景下的 HUD 显示界面，实现基于驾驶情景的主动 HUD 交互^[47, 48]。Park H 等将 AR-HUD 叠加显示到不同天气的真实场景中，比较分析了六种信息类型的信息显示位置和信息表示对于安全驾驶的影响以及被试人员主观工作量表，设计了一种以驾驶人中心适应不同天气场景的 AR-HUD 显示系统^[49]。

还有部分学者对 HUD 界面给驾驶人带来的驾驶负荷展开研究，如 Pauzie A 等人考虑到道路安全问题以及驾驶人负荷承载能力，对驾驶人获取 HUD 信息的感知过程进行研究，构建驾驶人认知负荷的影响因素模型；对 HUD 交互案例进行分析，从界面的色彩运用、界面布局、图标设计等方面提出了设计的不足；基于驾驶人的认知负荷对 HUD 界面进行设计优化，并提出减少 HUD 界面信息遮挡交通标志的方法^[50-53]。Cheng Y 等通过熵权法降低 HUD 界面设计者的主观性，采用 VIKOR 方法获得 HUD 显示信息的最佳排序，从而获得 HUD 界面设计方案，优化 HUD 界面设计方法与 HUD 显示位置，提高了界面设计的客观性和准确性^[54, 55]。

1.2.3 研究现状总结

综上所述，研究者们对车外交通环境和车内 HUD 界面研究多为分别进行，虽然从不同角度进行了道路交通环境的复杂度量化以及从多方面分析了 HUD 界面设计的不足，包括市场调研、HUD 界面颜色、显示位置、界面图标以及界面

的复杂程度等，并结合试验数据给出了相应的设计原则，改进界面设计流程。但根据外部环境调节 HUD 显示内容和界面复杂度的研究却少有深入，缺少根据交通环境进行自适应 HUD 显示策略的研究。

本文对网联跟驰环境下车辆 HUD 显示策略进行研究，建立跟驰动态道路环境复杂度以及 HUD 界面复杂度量化模型，对跟驰驾驶场景进行划分，并对各场景设计相应 HUD 显示界面，控制车内与车外的总复杂度，实现根据外部交通环境变化而变换的自适应 HUD 显示，均衡驾驶人的驾驶负荷，在保证驾驶安全的同时提高驾驶体验。

1.3 本论文主要研究内容及框架

(1) 跟驰动态道路环境复杂度量化

本文研究场景为网联环境下的跟驰场景，首先，基于跟驰行为谱选定修正碰撞裕度倒数、横向摆动系数和速度不稳定系数 3 种复杂度量化指标，初步构建跟驰动态道路环境复杂度量化模型；其次，采集被试人员在驾驶模拟器上进行不同跟驰任务的驾驶数据，结合熵权法确定模型中的未知参数；最后，采用 NASA-TLX 量表对驾驶人驾驶负荷进行量化，用以验证模型的准确性。

(2) HUD 界面复杂度量化

首先，通过眼动追踪模型，选择试验眼动指标并分析 HUD 界面复杂度影响因素；其次，通过分析现有 HUD 显示信息以及网联环境下的超视距信息，在驾驶模拟器上进行 HUD 仿真；最后，采集被试人员在驾驶模拟器上执行特定 HUD 信息识认任务时的眼动数据对 HUD 界面复杂度进行定量分析，建立 HUD 界面复杂度与界面上文字、数字和图案数量等界面复杂度影响因素的关系，实现对单个 HUD 元素以及整体 HUD 界面的复杂度量化。

(3) 自适应 HUD 呈现策略研究

首先，利用 TICC 算法对获取的驾驶数据进行分割聚类，划分驾驶场景，并对结果进行驾驶状态和动态道路环境复杂度等级分析；其次，根据各场景的特点设计对应 HUD 界面显示内容，在保证满足不同场景所需驾驶信息的同时控制各

场景车内信息与车外环境的总复杂度；最后，根据呈现策略建立跟驰自适应 HUD 显示系统并在驾驶模拟器对该系统通过模糊综合评价法进行评价，验证了系统的可用性。

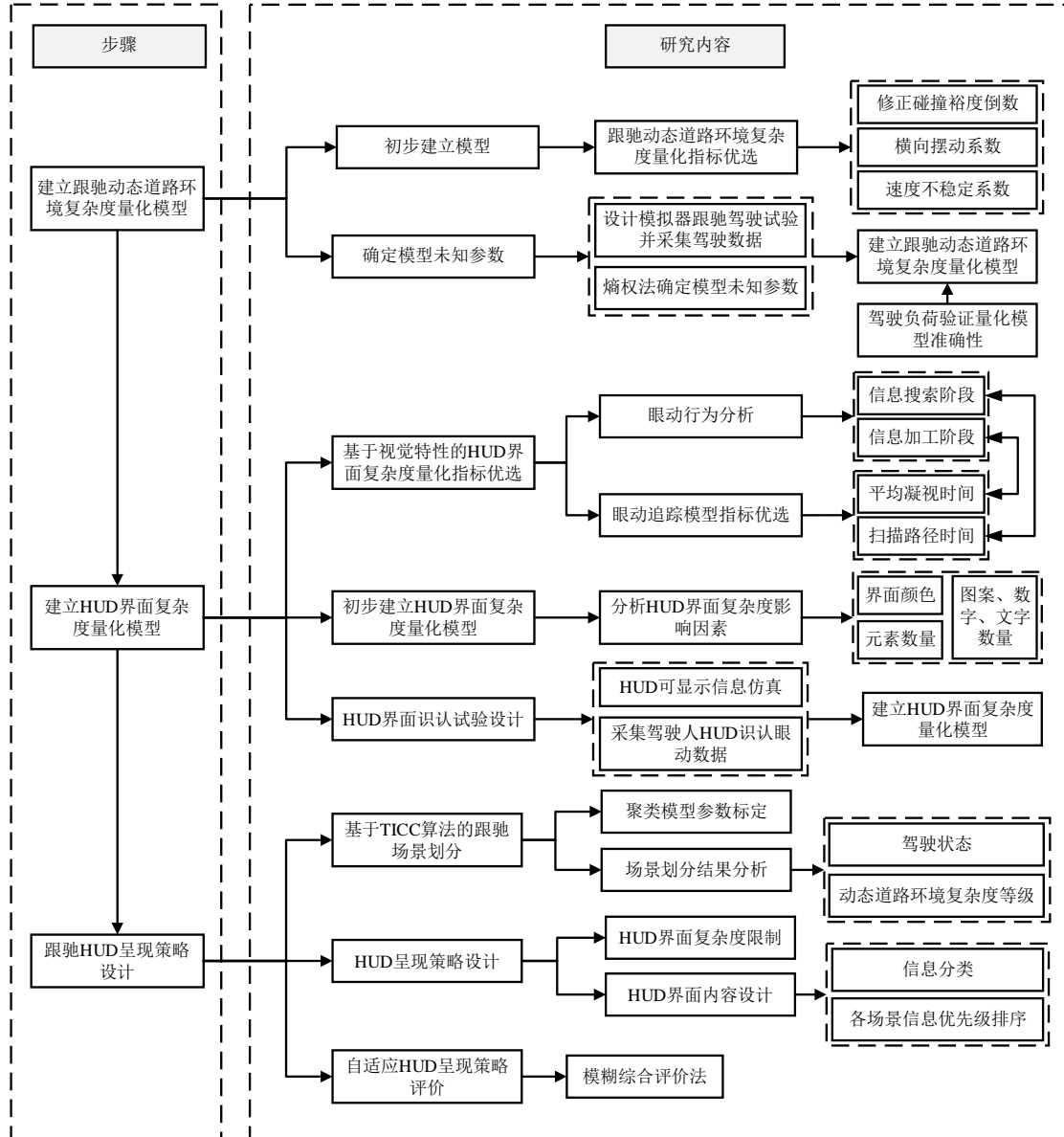


图 1.3 技术路线图

第2章 跟驰场景下动态道路环境复杂度量化

为了建立跟驰动态道路环境复杂度量化模型，第二章基于跟驰行为谱选定量化指标，在驾驶模拟器上进行跟驰试验，利用熵权法确定系数权重，建立跟驰动态道路环境复杂度量化模型。

2.1 跟驰场景下动态道路环境影响因素分析及指标优选

本文研究场景为车联网环境下的跟驰场景，在汽车驾驶行为中，跟驰是一种普遍存在的驾驶状态。有关事故的统计数据显示，在我国追尾事故大约占到了交通事故的1/3，而且在城市道路和高速公路上，经常会出现连环追尾事故^[56]，给人们带来了巨大的生命财产损失，同时还会引起交通拥堵，对交通的正常运行产生了不利的影响。跟驰过程中自车的速度和加减速与前车的驾驶行为息息相关。因此，在建模过程中主要对前车和自车进行研究，根据自车与前车的动态驾驶情况建立复杂度量化模型并将其命名为跟驰动态道路环境复杂度量化模型。

动态道路环境复杂度量化通过获取自车与前车车速、自车与前车车距、自车横向位置等驾驶数据，基于跟驰行为谱选择量化并通过熵权法确定指标权重，建立跟驰动态道路环境复杂度量化模型。

2.1.1 动态道路环境复杂度量化指标优选

跟驰追尾碰撞、蛇形跟驰驾驶、速度不稳定驾驶是常见的3种复杂的跟驰场景，存在一定跟驰驾驶风险的同时会给驾驶人带来较高的驾驶负荷。针对这3种引发高负荷驾驶的驾驶情况，基于跟驰行为谱提出跟驰动态道路环境复杂度量化指标，量化车辆跟驰行驶过程中的动态道路环境复杂度^[57]。

跟驰过程中驾驶人需时刻注意与前车保持安全车距以避免发生追尾事故。而与前车距离过近或车速很快时需要更多驾驶人的精力去观察前车的驾驶状态，从而保证行车安全。修正碰撞裕度倒数（Inversed Modified Margin to Collision, IMMTC）描述的是当前车突然刹车时，为避免发生碰撞，后车驾驶人进行刹车

操作之前的反应时间的倒数，能够客观地量化跟驰过程中驾驶人在不同速度和不同跟车距离下为防止发生追尾事故所导致的驾驶负荷。

$$I_{IMMTC} = \frac{2av_f}{v_p^2 - v_f^2 + 2aD_0} \dots\dots\dots (2-1)$$

式中： I_{IMMTC} 为修正碰撞裕度倒数； v_p 为前车车速； v_f 为自车车速； D_0 为前后车初始距离； a 为制动减速度，取 8m/s^2 。

路面突发状况（如路面障碍物、道路凹陷等）以及驾驶人维持车道内行驶能力不足等原因会导致驾驶人驾驶车辆发生不良横向移动，形成蛇形驾驶，增加驾驶人的驾驶负荷。用横向摆动系数（Transverse Oscillation Coefficient, TOC）评价蛇形跟驰驾驶复杂度。

$$I_{TOC} = \frac{\sum |W(t)|}{d(t) \times F} \dots\dots\dots (2-2)$$

式中： I_{TOC} 为横向摆动系数； $d(t)$ 为 t 时刻前 1s 内纵向累计行驶距离； $W(t)$ 为 t 时刻前 1s 内横向偏移累计值； F 为数据记录频率。

复杂或拥堵的交通场景以及激进的驾驶风格会导致自车速度频繁变化，导致速度不稳定驾驶，不仅影响行车安全，还会影响驾驶舒适性，消耗驾驶人精力。以 1s 内速度标准差与速度均值的比值即速度不稳定系数（Velocity Instability Coefficient, VIC）作为速度不稳定跟驰复杂度指标。

$$I_{VIC} = \frac{V_{std}(t)}{V_{mean}(t)} \times 100\% \dots\dots\dots (2-3)$$

式中： I_{VIC} 为速度不稳定系数； $V_{std}(t)$ 为 t 时刻前 1s 内速度标准差； $V_{mean}(t)$ 为 t 时刻前 1s 内速度均值。

2.1.2 基于熵权法的量化模型构建

以修正碰撞裕度倒数、横向摆动系数、速度不稳系数为自变量，跟驰动态道路环境复杂度为因变量，基于熵权法对三个量化指标加权求和建立动态道路环境量化模型^[58]。

熵权法是根据各项指标值的变异程度来确定指标权数的,这是一种客观赋权法,避免了人为因素带来的偏差。相对主观赋值法,熵权法精度较高客观性更强,能够更好地解释所得到的结果。下面为熵权法的计算步骤。

(1) 数据标准化

给定 3 个指标修正碰撞裕度倒数 X_1 、蛇形跟驰风险状态指标 X_2 、横向摆动系数 X_3 , 其中

$$X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\} \dots\dots\dots (2-4)$$

式中: $i=1,2,3$ 。

假设各指标标准化后的值为 Y_1, Y_2, Y_3 , 其中

$$Y_i = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}\} \dots\dots\dots (2-5)$$

那么

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} \dots\dots\dots (2-6)$$

式中: $j=1,2,\dots,n$ 。

(2) 求各指标的信息熵

根据信息论中信息熵的定义,一组数据的信息熵

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \dots\dots\dots (2-7)$$

其中

$$p_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n Y_{ij}} \dots\dots\dots (2-8)$$

如果 $p_{ij} = 0$, 则定义

$$\lim_{p_{ij}=0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0 \dots\dots\dots (2-9)$$

(3) 确定各指标权重

根据信息熵的计算公式,分别计算出各个指标(修正碰撞裕度倒数、蛇形跟

驰风险状态指标、横向摆动系数)的信息熵为 E_1 、 E_2 、 E_3 ,通过信息熵计算各指标的权重:

$$W_i = \frac{1-E_i}{3-\sum E_i} \dots\dots\dots (2-10)$$

(4) 指标加权优化模型

对指标进行 min-max 标准化, 经过统计与计算得出: I_{IMMTC} 的值在 $0 - 2s^{-1}$ 之间; I_{TOC} 的值在 $0 - 0.01$ 之间; I_{VIC} 的值在 $0 - 3.2$ 之间, 因此对数据进行归一化处理, 即对原始数据进行线性变换, 使结果值映射到[0, 1]内。

综合跟驰动态道路环境复杂度量化指标, 建立跟驰动态道路环境复杂度量化模型如下:

$$C = W_1 \frac{I_{IMMTC}}{2s^{-1}} + W_2 \frac{I_{TOC}}{0.01} + W_3 \frac{I_{VIC}}{3.2} \dots\dots\dots (2-11)$$

式中: C 为跟驰动态道路环境复杂度。

2.2 试验方案设计与场景搭建

2.2.1 试验方案设计

(1) 试验目的

为了量化模型中的未知系数, 试验采集不同跟驰场景中的驾驶数据, 用熵权法计算模型中的未知系数。

(2) 试验安排

试验选取 10 名年龄在 24 - 45 岁, 驾驶经验 5 年以上的被试人员, 每个被试人员在开始试验之前进行驾驶模拟器练习, 直至熟练操作驾驶模拟器。

表 2.1 被试人员基本统计信息

统计值	年龄/岁	驾龄/岁	驾驶里程数/(万 km)
平均值	28.6	8.2	8.5
最小值	24.0	5.0	0.6
最大值	45.0	23.0	14.0

在正式试验之前需进行以下准备：1) 准备模拟驾驶环境，搭建道路场景以及开启驾驶数据记录；2) 准备主观复杂度量表，驾驶负荷主观量表采用 NASA-TLX 评价量表^[59]；3) 安排被试人员进行驾驶模拟器练习并告知被试人员驾驶要求，要求其心平气和，专心进行驾驶；4) 准备试验环境，确保试验过程不被影响。

(3) 试验方案

试验共设置四项驾驶任务，每个任务依次进行，试验过程中要求被试人员遵守交通规则，不能发生换道以及与追尾行为；被试人员每完成一项任务填写一次主观复杂度量表；为了使试验过程中可以记录到不同动态道路环境复杂度的交通场景，根据动态道路环境复杂度的量化指标要求被试人员按计划进行跟驰驾驶行为。

任务一：前车在中间车道上分别以 40、50、60、70、80km/h 的速度进行匀速行驶，每个速度匀速行驶两分钟，被试人员按照自己的驾驶习惯驾驶自车跟随前车行驶。

任务二：前车在中间车道上分别以 40、50、60、70、80km/h 的速度进行匀速行驶，每个速度匀速行驶两分钟，被试人员驾驶自车进行车道内蛇形跟驰驾驶，在不压线的前提下尽量加大自车的横向移动，同时要求自车速度尽可能稳定且与前车保持较远的车距。

任务三：前车在中间车道上分别以 40、50、60、70、80km/h 的速度进行匀速行驶，并随机进行两次紧急制动，被试人员按照自己的驾驶习惯驾驶自车跟随前车行驶，要求不能与前车发生追尾事故。

任务四：前车在中间车道进行变速行驶，速度范围在 30 - 80km/h 内随机变化，被试人员照自己的驾驶习惯驾驶自车按跟随前车行驶，此阶段要求被试人员尽量跟紧前车。

2.2.2 试验场景搭建

(1) 试验设备

本试验在驾驶模拟器上开展，如图 2.1 所示，除配置驾驶模拟软件 UC-win/Road 的电脑主机外还包括三块围绕驾驶人的 27 英寸戴尔显示器、飞利浦电

脑音响、FANATEC 驾驶模拟外设套件、VIRTUAL RACER 55 座椅。驾驶模拟软件具有高度的自定义设置，可根据试验要求搭建道路场景、设置交通流运行方案等，也可根据需求进行驾驶数据的采集。驾驶人可通过调节显示器高度和角度模拟真实的驾驶视角，也可进行座椅前后和高度的调节以达到合适的驾驶姿势。

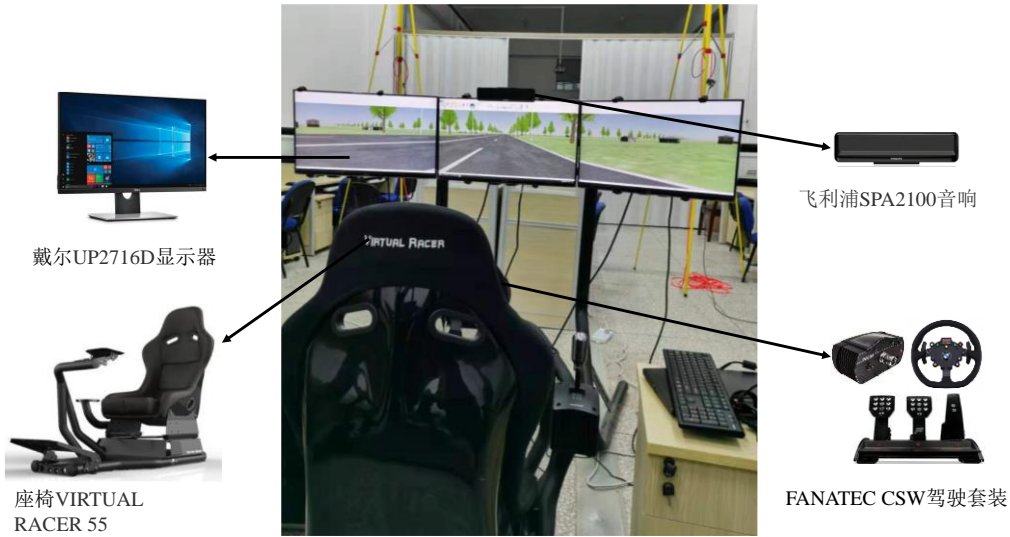


图 2.1 UC-win/Road 驾驶模拟器

(2) 场景搭建

通过 UC-win/Road 驾驶模拟软件，搭建一段公路场景，在此场景中，天气晴朗，道路是一条双向六车道的三级公路，无交叉路口，路面为沥青路面，车道宽 3.5 米，道路限速 80 km/h，道路两侧有树木。在试验开始前按照试验方案中的四个驾驶任务分别对场景中的前车运行方案进行设置，试验人员驾驶车辆跟随前车在中间车道行驶，两侧及对向车道设有交通流。为避免自车起步阶段与前车距离变化过大，将自车初始速度与前车初始速度设置一致。



图 2.2 模拟驾驶场景

2.3 量化模型求解及验证

2.3.1 模型指标权重求解

利用驾驶模拟器记录驾驶人在执行驾驶任务时的驾驶数据，包括前车车速、自车车速、自车与前车纵向位置、自车横向位置等，计算得出 3 个指标的具体数值，驾驶模拟器数据采集频率为 10Hz。

表 2.2 复杂度量化指标数据片段

修正碰撞裕度倒数	横向摆动系数	速度不稳定系数
0.5829	3.018×10^{-6}	0.01528
0.5845	4.399×10^{-6}	0.01642
0.5866	4.367×10^{-6}	0.01732
0.5885	4.354×10^{-6}	0.01802
0.5913	5.822×10^{-6}	0.01852
0.5957	5.727×10^{-6}	0.01888
0.6045	5.754×10^{-6}	0.01897

为保证试验样本的普遍性，抽取各被试人员每个场景去除异常数据后的 100 组量化指标数据，每人抽取 1700 组指标数据，共抽取 8 名试验人员（其余两名试验人员驾驶数据用作验证）13600 组量化指标数据，通过熵权法及 min-max 指标标准化得到动态道路环境量化模型：

$$C^* = 0.0432I_{IMMTC} + 26.1000I_{TOC} + 0.2039I_{VIC} \dots\dots\dots (2-12)$$

考虑到现在绝大部分汽车都配备有车身电子稳定系统，追尾事故是跟驰最常见的交通事故，故以修正碰撞裕度倒数为评价指标来确定跟驰动态道路环境复杂度的阈值。驾驶人的最短制动反应时间取 $0.5s^{[60]}$ ，当修正碰撞裕度倒数大于 $2s^{-1}$ 时有发生追尾的风险。将横向摆动系数及速度不稳定系数取 0，此时 $C=0.0864$ ，为使此时量化结果取整，将各指标权重等比例放大，此时模型量化结果为 10：

$$C = 5.00I_{IMMTC} + 3020I_{TOC} + 23.6I_{VIC} \dots\dots\dots (2-13)$$

当 C 等于 10 时, 计算其分位值为 95.34%, 按照跟驰风险状态划分理论判定为三级风险状态, 仅低于 99% 分位值的四级风险状态^[14]。故将复杂度超过 10 的定义为极度复杂状态, 将复杂度为 10 以及 10 以下的定义为简单、中等和复杂, 具体为 $[0,4)$ 为简单, $[4,7)$ 为中等, $[7,10]$ 为复杂。由此可通过网联环境获取前车及自车的状态信息实现实时量化驾驶中的动态道路环境复杂度并判断其复杂度等级。

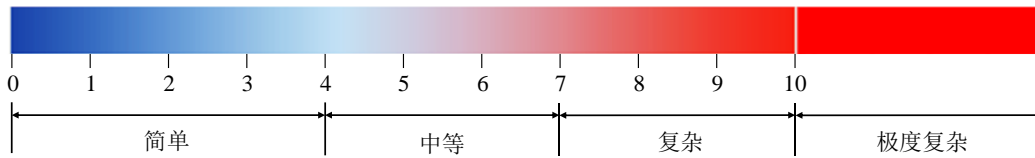


图 2.3 动态道路环境复杂度等级

2.3.2 模型量化结果分析

将进行模型验证的两位被试人员的驾驶数据进行动态道路环境复杂度量化, 分别取两位被试人员四个驾驶任务的驾驶数据并进行动态道路环境复杂度量化, 绘制各驾驶任务动态道路环境复杂度片段图以及各驾驶任务动态道路环境复杂度均值图。

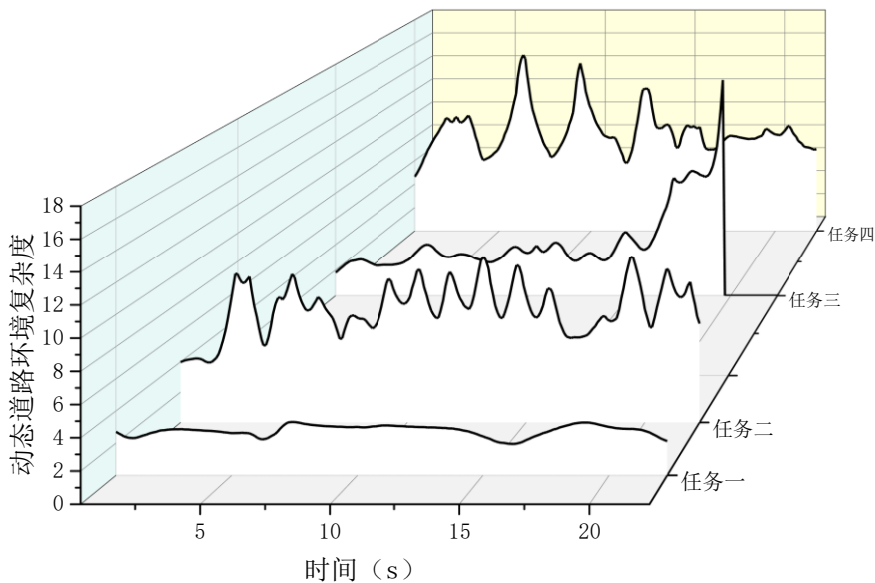


图 2.4 各驾驶任务动态道路环境复杂度片段

从图 2.4 中可以看出, 试验人员在执行除匀速跟驰驾驶外无其他驾驶任务布置的驾驶任务一时的动态道路环境复杂度一直在 3 左右上下波动, 处于低复杂度

状态；而当试验人员执行增加了车道保持不稳定驾驶的任务二时，由于试验车辆一直发生横向移动，动态道路环境复杂度一直处于较高的状态；任务三中的前车会随机发生紧急制动，在未发生紧急制动时，道路环境复杂度处于较低状态，与驾驶任务一的动态道路环境复杂度基本一致，当前车紧急制动时，为避免发生碰撞，被试人员进行紧急制动，此时动态道路环境复杂度急剧上升，当速度为 0 时动态道路环境复杂度下降至 0；任务四中要求被试人员驾驶自车跟随前车行驶，自车处于变速行驶及匀速行驶交替的状态，导致动态道路环境复杂度波动较大且整体处于较高水平。

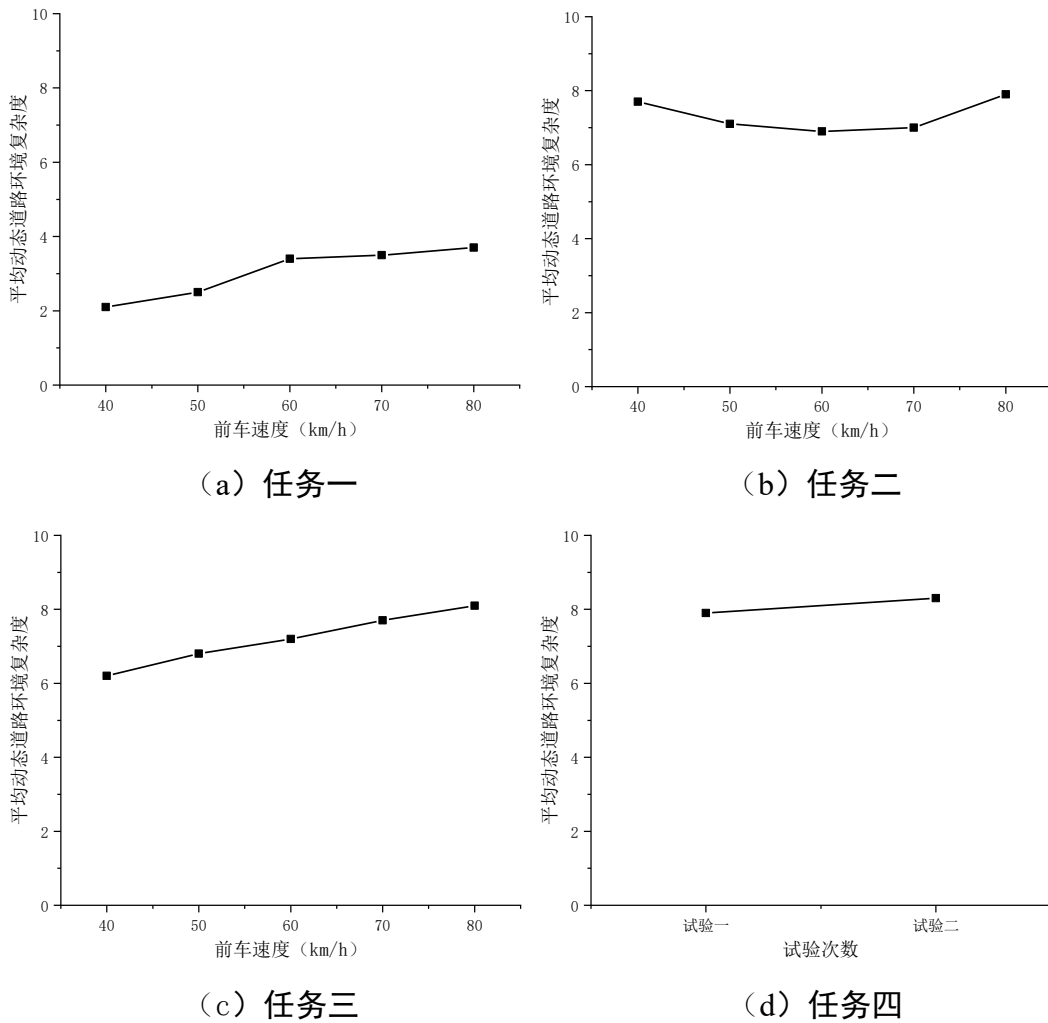


图 2.5 各驾驶任务动态道路环境复杂度均值

从图 2.5 可以看出任务一的动态道路环境复杂度均值最小，其次是驾驶任务二和任务三，驾驶任务四的动态道路环境复杂度均值最大。因驾驶任务一与驾驶任务三的试验要求被试人员按照自己的驾驶习惯进行驾驶，导致驾驶任务一和任务三的动态道路环境复杂度均值随着车速的增加缓慢变大，与实际驾驶过程中随

车速的增大,被试人员驾驶自车与前车距离增加较小的情况相符合。驾驶任务二的动态道路环境复杂度均值呈先下降后上升的趋势,分析数据得出:任务二中,速度低时驾驶人可实现更大的方向盘转角,使车辆转动角度增大,实现较大的横向位移量;速度高时虽然被试人员转动较小的方向盘转角,但由于速度较快,汽车仍然可以实现较快的左右横向移动且频率较高;而速度中等时横向移动速度较低,故平均动态道路环境复杂度略低于其他情况。任务四两次试验的动态道路环境复杂度均值波动较小,都处于较高的状态。

2.3.3 基于 NASA-TLX 主观负荷模型验证

道路环境的复杂程度与驾驶人的负荷成正相关^[61],因此使用 NASA-TLX 量表量化被试人员执行各驾驶任务时的主观负荷,将主观负荷与动态道路环境复杂度量结果进行比较,以验证模型。

NASA-TLX 量表是至今为止运用最广泛的主观负荷测量技术,它从脑力需求、体力需求、时间需求、绩效水平、努力程度和受挫程度六个维度对操作者的心理负荷进行评定,根据各维度权重和打分情况计算总负荷水平。很多研究表明该量表对工作负荷的量化具有敏感性,且拥有良好的信度和效度,可以用来进行心理负荷量化^[62],是更具优势的主观测量技术。

各维度描述如下:

(1) 脑力需求 (Mental Demand): 完成任务过程中付出多大的脑力活动(如思考、决策、计算、记忆等)?

(2) 体力需求 (Physical Demand): 完成任务体力方面是容易还是困难,是缓慢还是快速,动作轻松还是费力?

(3) 时间需求 (Temporal Demand): 该任务节奏是缓慢使人感到从容不迫还是让人感受到时间紧迫,驾驶任务使人手忙脚乱?

(4) 努力程度 (Effort): 完成该任务需要在精神和体力方面付出的努力是大还是小?

(5) 绩效水平 (Performance): 完成任务取得的成绩怎样?与自己期望的目标相比满意程度有多大?

(6) 受挫程度 (Frustration): 完成任务的过程中, 感到沮丧、恼怒和烦恼的程度有多大?

其中, 除绩效水平外其余五个维度的打分越高, 代表被试人员进行驾驶人任务时的承担的负荷越高, 反之打分越低代表负荷越低, 绩效水平与其他五个维度相反, 在计算中需要取相反的绩效水平数值。

利用 NASA-TLX 量表进行工作负荷评价时的主要过程 (以其中一位被试人员执行任务二的主观负荷计算过程为例):

(1) 在被试人员完成一组试验任务之后, 根据自己完成任务过程的实际情况, 分别在六个维度的相应位置进行打分标记。

表 2.3 驾驶任务二 NASA-TLX 各维度评分结果

驾驶速度	脑力需求	体力需求	时间需求	努力程度	绩效水平	受挫程度
40km/h	16	11	3	16	16	8
50km/h	16	12	3	16	16	8
60km/h	18	13	3	17	15	4
70km/h	18	13	4	18	7	5
80km/h	18	13	4	18	7	6

(2) 将驾驶任务中的六个维度进行两两比较, 被试人员选出其中对工作负荷影响最大的维度, 每个维度被选择的次数即为该维度对工作负荷的权重。

表 2.4 驾驶任务二 NASA-TLX 各维度权重

维度	票数	权重
脑力需求	3	0.200
体力需求	3	0.200
时间需求	1	0.067
努力程度	3	0.200
绩效水平	5	0.333
受挫程度	0	0.000
总和	15	1.000

(3) 被试人员在完成该任务时的工作负荷即为六个维度的加权平均值。

根据表 2.3 和表 2.4 数据可对驾驶任务二中不同驾驶速度的主观负荷评分进行计算, 计算过程如下:

$$\textcircled{1}40\text{km/h: } 16 \times 0.200 + 11 \times 0.200 + 3 \times 0.067 + 16 \times 0.200 + (21-16) \times 0.333 + 3 \times 0 = 10.466$$

②50km/h: $16 \times 0.200 + 12 \times 0.200 + 3 \times 0.067 + 16 \times 0.200 + (21-16) \times 0.333 + 4 \times 0 = 10.666$

③60km/h: $18 \times 0.200 + 13 \times 0.200 + 3 \times 0.067 + 17 \times 0.200 + (21-15) \times 0.333 + 4 \times 0 = 11.799$

④70km/h: $18 \times 0.200 + 13 \times 0.200 + 4 \times 0.067 + 18 \times 0.200 + (21-14) \times 0.333 + 5 \times 0 = 12.399$

⑤80km/h: $18 \times 0.200 + 13 \times 0.200 + 4 \times 0.067 + 18 \times 0.200 + (21-14) \times 0.333 + 6 \times 0 = 12.399$

由此可以得到该名被试人员在驾驶任务二中从 40km/h 到 80km/h 各驾驶速度下的主观工作负荷评分分别为 10.466、10.666、11.799、12.399 和 12.399。按照此步骤分别计算两位被试人员执行各驾驶任务时的主观负荷度并绘制平均主观负荷度图。

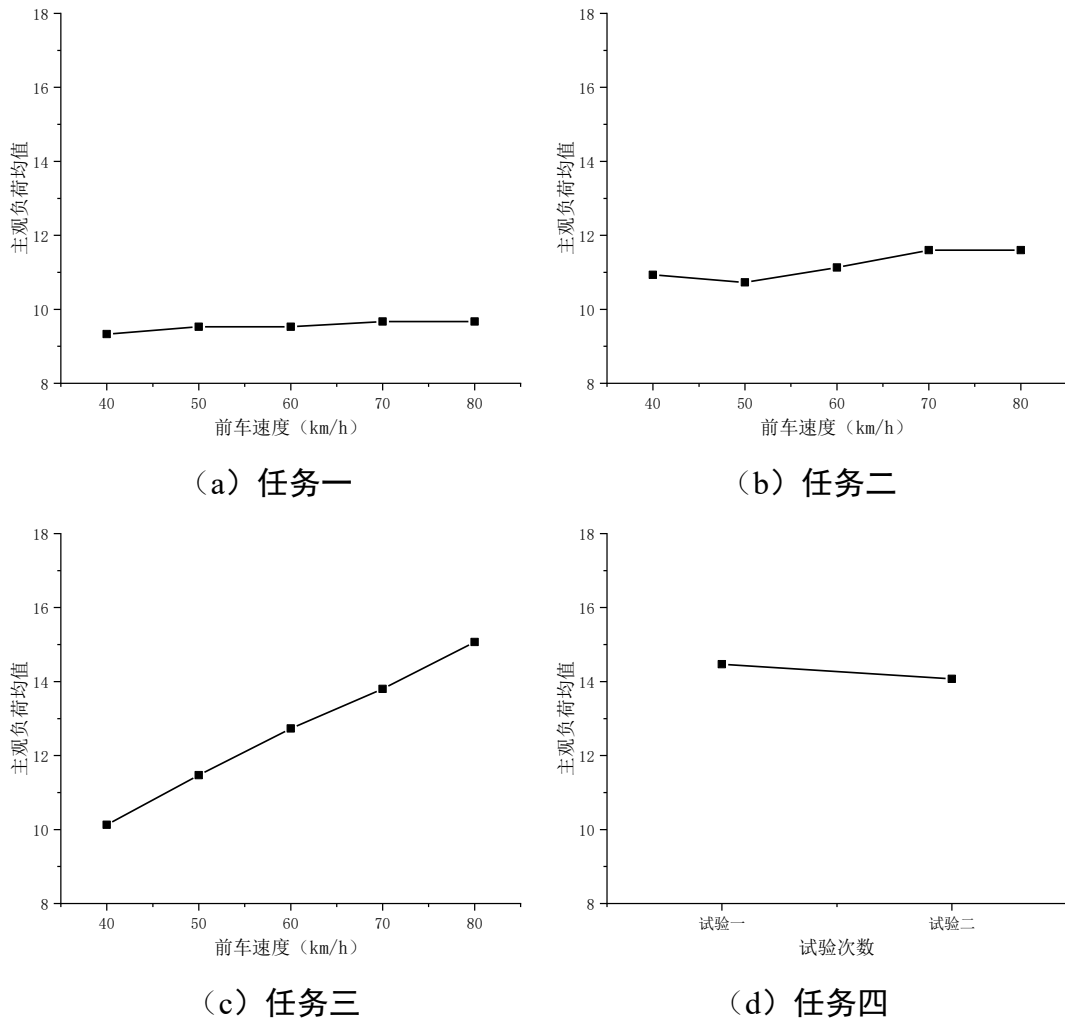


图 2.6 各驾驶任务平均主观负荷

从图 2.6 可以看出对照组驾驶任务一的主观负荷最小，其次是驾驶任务二和三，驾驶任务四的主观负荷最大。驾驶任务一主观负荷随着车速的变快缓慢变大，

驾驶任务二和三的主观负荷随着车速的增加变化较大, 驾驶任务三的主观负荷随车速的增加有更为明显的变大, 驾驶任务四两次试验的主观负荷都处于较高状态。

运用跟驰动态道路环境复杂度量化模型量化其余两名试验人员执行驾驶任务时的动态道路环境复杂度。将各个任务的动态道路环境复杂度与驾驶负荷主观量表计算出的主观负荷进行对比以验证模型。

将两名试验人员各驾驶任务的动态道路环境复杂度均值与主观负荷分别进行皮尔逊相关性分析^[63], 两者在置信区间为 0.01 时, 呈显著相关。两名试验人员的动态道路环境复杂度均值与主观负荷之间的相关系数分别为 0.812 与 0.786, 呈极强相关与强相关。表明动态道路环境复杂度与驾驶人负荷之间有强相关性, 也说明本文建立的跟驰动态道路环境复杂度量化模型能够准确地量化车辆行驶时所处道路交通的复杂程度。

2.4 本章小结

本章建立跟驰动态道路环境复杂度量化模型。基于跟驰行为谱选定修正碰撞裕度倒数、横向摆动系数、速度不稳定系数 3 种复杂度量化指标。通过驾驶模拟器设计了 4 种跟驰状态的驾驶任务并利用试验人员的驾驶数据计算得出 3 种复杂度量化指标的具体数值, 基于熵权法对三者加权求和建立跟驰动态道路环境复杂度量化模型。最后利用皮尔逊相关系数来验证动态道路环境复杂度均值与主观负荷之间的相关性。结果表明两者呈显著相关, 动态道路环境复杂度量化模型可准确地量化车辆跟驰过程中所处道路交通的动态复杂程度。

第3章 HUD 界面复杂度量化

第二章完成了对跟驰动态道路环境复杂度量化建模,为不同跟驰场景的复杂度量化提供方法,为完成跟驰自适应 HUD 显示策略设计,还需对 HUD 界面复杂度进行量化。本章从驾驶人视认特性角度,根据驾驶人获取不同 HUD 界面信息的眼动数据,构建 HUD 界面复杂度量化模型。

3.1 基于视觉特性的 HUD 界面复杂度量化指标优选

在进行汽车人机交互界面的设计与评价时,了解驾驶人在使用人机交互产品时的思维活动是非常重要的。脑电和试验结束之后填写主观评价表可以记录驾驶人在试验过程中的部分想法思维。但是脑电数据可显示信息较为局限,无法用来具体地评价交互界面。而主观评价法依赖于驾驶人的主观回忆,对评价结果可能会有影响。眼动追踪技术可以准确地记录驾驶人使用汽车 HUD 交互界面时的眼动过程,从而可以客观地揭示驾驶人的思维过程,做到有效地评价 HUD 界面。

3.1.1 视觉行为过程分析

视觉行为可分为6个心理过程:视觉寻找、发现、分辨、识别、确定和记忆搜索^[64]。

视觉寻找就是对视场中所有可能发现的物体进行观察。在一些比较复杂的环境中,会有一些搜寻策略。发现就是从所观测到的不同物体中找出目标物体,同时忽视其它的信息^[65]。当不同视觉检测到的刺激信息与期望的大致相符时,则该信息将被视觉锁定。分辨就是从几个类似的物体中把一个特定的物体区分开来。在检测到多个类似的信号后,还需对其进行深入的检测,以分辨出每个信号的详细信息。识别指的是以视觉特征信息或细节信息之间的差异为依据,对目标信号的含义进行识别,确认捕获对象就是目标对象。而记忆搜寻则是指在需要记忆中特定信息时,先要进行搜索记忆。

3.1.2 眼动追踪方法选择

Stiefelhagen 等根据眼动追踪技术所借助的介质将其划分为基于硬件和基于软件的两种类型^[66]。基于硬件的眼动追踪技术的工作原理，是采用能够锁定眼睛的专用相机，采用图像处理技术，通过摄取从人的眼角膜和瞳孔中反射的红外光，持续地记录视线的变化，进而实现对眼动过程的记录和分析，视线跟踪装置有强迫式与非强迫式，穿戴式与非穿戴式，接触式与非接触式之分，其精度从 0.1° 至 1° 或 2° 不等；基于软件的视线追踪方法可以在不影响被试人员的情况下进行使用，但被试人员需在设备采集范围内进行试验，它的工作原理是先通过摄像头获取被试人员眼睛或面部的图像，再通过软件来完成对图像中人脸和人眼的定位和跟踪，进而通过算法粗略定位出使用者在屏幕上的注视位置，人的注视方向有两种表现形式，即头和眼睛的方位。

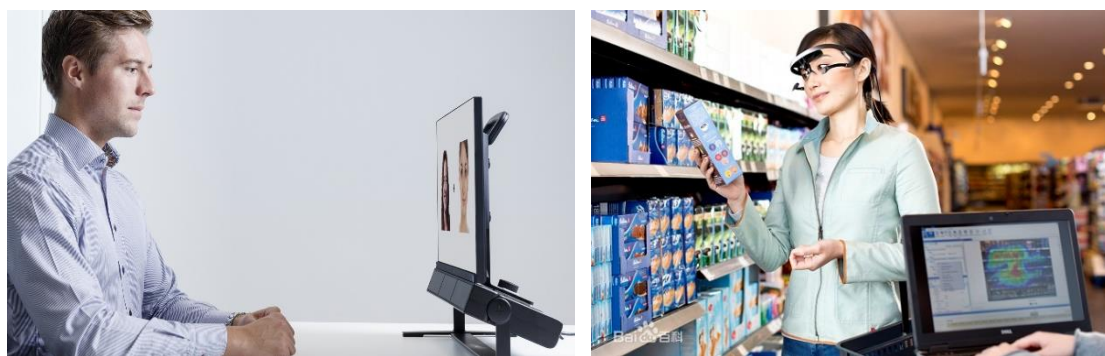


图 3.1 非穿戴式与穿戴式眼动仪

基于硬件的眼动追踪技术在准确性上优于基于软件的眼动追踪技术，但是由于仪器的放置或者穿戴等因素，被试人员的自由活动受到了很大的限制。相比之下，基于软件的眼动跟踪技术，可以极大地减少使用者的使用限制，但它的记录准确率却要比其他方法低很多，只有 1.9° ，有的甚至只能保证在 10° 以下，想要准确地记录试验人员实际眼动情况有些困难。

目前的眼动试验研究主要采用的眼动追踪设备是穿戴式眼动仪，通常为眼镜式，本文也将选用此类眼动追踪设备进行眼动数据采集。这种眼动仪在保证采样精度较高的前提下能够在广泛的研究场合开展行为研究，同时可以为试验人员提供极高的自由度，并允许试验人员进行自然的交互，降低佩戴眼动仪的影响。

在进行汽车人机交互研究时，以往研究者多采用任务完成时间、任务完成率和操作出错率等试验数据配合主观评价进行分析建模。但这些指标不容易对不同界面给被试人员带来的影响进行具体分析，从而无法准确评价不同界面的复杂程度，而利用眼动跟踪技术，对受试者进行眼动记录，就能很好地解决这一问题。通过眼动数据，可以了解到用户对屏幕上的兴趣或注意的空间分布以及注意的传递过程，从而了解到用户在界面上使用的策略^[67]。

与传统的人机交互被试人员测试方法相比，眼动追踪技术有以下特点：

(1) 直接性。多数的研究表明，人们在自发地或者有目的地浏览界面的时候，会将目光集中在他们感兴趣的或需要加工的对象上。因此，注视点能够直接反映出被试人员的注意位置，并实时地反映其心理加工过程。

(2) 高效性。该技术可以有效缩短测试时间，较为直接地对交互界面的复杂程度进行分析，更加简单直观地进行数据处理，有效提高测试的效率。

(3) 视线追踪能够揭示被试人员在界面上所采用的策略，通过分析被试人员的眼动数据搜索和加工阶段，确定影响被试人员搜索的界面因素，从而更好地对界面进行设计。

随着车载电子技术的飞速发展，汽车人机交互功能越来越多，HUD 显示界面也变得越来越复杂，以往对汽车仪表盘和中控大屏所使用的汽车人机交互评价方法并不适用于进行 HUD 界面评价，因此，需要对 HUD 界面复杂度量化方法和评价指标进行完善。本文利用眼动跟踪技术对人机交互界面的复杂性进行定量分析，建立 HUD 界面复杂度量化模型。

3.1.3 眼动指标优选及 HUD 界面复杂度影响因素分析

在车辆人机交互研究中应用眼动追踪技术时，研究者需要根据车辆人机交互任务和认知活动，选择合适的眼动模型。因为在眼跳的过程中，被试人员无法接收到有意义的信息，所以在汽车人机交互的研究中，被试人员的注视行为是被重点关注的对象。被试人员在执行一次 HUD 界面信息获取任务的眼动过程大致分为搜索阶段和加工阶段两个过程。

搜索阶段是被试人员在整个界面寻找其所要获取信息所在位置的过程,过程中可提取搜索时间、扫描路径、眼跳数目和眼跳幅度等指标,用以评价界面设计的合理性以及整个界面的复杂程度。

加工阶段为被试人员搜索到所需的信息所在位置后对此位置信息进行提取的过程,对加工阶段进行分析也可借助其中的一些模型指标,包括:每个感兴趣区域的注视比率、每个感兴趣区域注视点数、平均注视驻留时间、注视点数量、每个感兴趣区域的平均凝视驻留时间和注视率等。

根据被试人员识认 HUD 信息时的眼动过程,分别讨论搜索阶段与加工阶段的影响因素。搜索阶段指标选取扫描路径时间;加工阶段指标采用平均凝视驻留时间^[68]。扫描路径时间主要取决于目标信息搜索难度,受界面整体信息量、界面元素数量以及界面颜色设置影响;平均凝视驻留时间与元素信息提取难度相关,只受单个元素的信息量影响。结合两个指标的影响因素选取界面文字、图案、数字和界面颜色、界面元素数量为模型输入,通过被试人员获取 HUD 信息时的眼动数据建立模型输入与 HUD 界面复杂度之间的关系,从而建立 HUD 界面复杂度量化模型。

3.2 HUD 模拟与试验方案设计

3.2.1 驾驶模拟器 HUD 模拟

(1) HUD 显示信息统计

HUD 起源于战斗机的飞行辅助仪器,在第二次世界大战时被广泛运用,后来被逐渐运用到汽车上,如今,HUD 已经被很多车型所配备。HUD 能够通过光学反射的原理将信息投射到前方最远 10 米的位置,可以最大限度地减少驾驶人视线离开驾驶前方车道的的时间,通过减少驾驶人眼球运动和聚焦时间来提高驾驶人获取信息的速度和驾驶安全性。

但由于缺少 HUD 界面设计的统一规范和标准,不同车企 HUD 界面设计风格各不相同,显示内容呈现愈来愈复杂的趋势,复杂的 HUD 界面会增大驾驶人获取信息的难度,增加驾驶负荷,尤其是在复杂的交通环境当中。笔者对现阶段

部分量产车 HUD 显示内容进行统计，如表 3.1 所示，其信息基本包含四大类，分别为车辆基本状态信息、导航信息、操作任务信息以及辅助驾驶信息。

表 3.1 量产车型 HUD 显示信息统计

车型	HUD 界面图片	HUD 界面内容
理想 L9		导航、车速、挡位、ACC、限速、周围车辆
奔驰 S 级		导航、车速、定速巡航、车道偏离预警、限速、到达时间、里程、接管图标
传祺 GS8		导航、限速、车道推荐、车速、挡位、定速巡航、跟驰过近提醒、驾驶模式、盲区监测
大众 ID.4		导航、目的地标注、限速、车速、车道偏离预警、碰撞预警、前车距离
宝马 X3		导航、车速、驾驶辅助系统、音乐播放、前车距离
吉利几何 A		导航、限速、车速、定速巡航、接管提醒、电话信息

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/607146124002006046>