

基于技术接受模型的生态驾驶诱导辅助系统 认知接受度

涂 然, 薛 杉, 蒋思雨, 陈秋梓

(东南大学 交通学院, 江苏 南京 211189)

摘要: 融合技术接受模型和信息系统成功模型框架, 设计了李克特 7 级量表问卷, 探究了不同驾驶场景下驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的使用意愿和对诱导信息的认知偏好。研究表明, 驾驶员倾向于接受以语音形式警示非生态驾驶行为的诱导信息类型。在城市道路上, 提高诱导辅助系统的感知有用性和感知易用性有助于提高驾驶员对系统的接受度。在城市快速路上, 诱导辅助系统的感知有用性和感知易用性仅对高峰场景下的驾驶员使用意愿有显著正向影响, 平峰场景下影响驾驶员使用意愿的具体因素仍需在未来诱导实验中深入探究。

关键词: 生态驾驶; 信息诱导; 技术接受模型; 车联网

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

Drivers' Acceptance of Eco-Driving Guidance Assistance System Based on Technology Acceptance Model

TU Ran, XUE Shan, JIANG Siyu, CHEN Qiuzi

(School of Transportation, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: This study applied the technology acceptance model and information system success model to investigate drivers' willingness to use the eco-driving guidance assistance system and their preference for information types, using a 7-likert questionnaire. The study shows drivers are inclined to accept the audio warning type of eco-driving guidance. On urban roads, improving the perceived usefulness and perceived ease of use of the guidance assistance system has a beneficial effect on drivers' acceptance of the system. In contrast, on urban expressways, perceived usefulness and perceived ease of use affect driver willingness to use the system significantly only during peak hours. However, the

specific factors affecting drivers' willingness to use the system in off-peak hours still need to be explored in future experiments.

Keywords: eco-driving; information guidance; technology acceptance model; internet of vehicles

小汽车出行需求增长带来了严重的环境问题。《中国移动源环境管理年报(2022)》指出汽车是污染物排放总量的主要贡献者, 其排放的 CO、HC、NO_x 和 PM 超过机动车排放总量的 90%^[1]。《交通强国建设纲要》明确指出“强化节能减排和污染防治”^[2], 在双碳目标下, 道路节能减排亟需加强。

研究表明, 改进驾驶行为有助于显著降低车辆的能耗与排放水平。随着辅助驾驶系统的发展, 以节能减排为目标的生态驾驶诱导辅助系统逐渐受到关注^[3-4]。使用驾驶行为诱导辅助系统, 规范驾驶员的行为, 有望降低高排放高能耗行为的发生频率^[5-7]。当驾驶员使用生态驾驶诱导辅助系统时, 会被动地接收各类信息的引导, 驾驶员需要决定是否接受并实施生态驾驶诱导信息。由于驾驶场景的差异, 如周边交通量、所处道路等级等, 驾驶员对不同驾驶建议 and 不同诱导信息类型的偏好和采纳意愿存在较大的不确定性^[8]。因此, 探明驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的认知接受度及其影响因素是诱导辅助系统设计成功与推广的关键。

技术接受模型(technology acceptance model, TAM)^[9]源自理性行动理论(theory of reasoned action, TRA)和计划行为理论(theory of planned behavior, TPB)^[10], 主要用于解释用户对新技术的接受意愿和使用意向。TAM认为系统的感知有用性

收稿日期: 2024-01-08

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFE0112700); 国家自然科学基金(52102409); 江苏省自然科学基金(BK20210246)

第一作者: 涂 然, 副教授, 博士生导师, 哲学博士, 主要研究方向绿色交通运输。E-mail: turancoolgal@seu.edu.cn



论文
拓展
介绍

和感知易用性影响用户的选择。其中,感知易用性会影响感知有用性^[11]。基于 TAM 模型,Delone 等^[12]提出假设,认为系统信息质量会影响用户对系统的使用意向、使用行为和满意度,并据此提出信息系统成功模型(information system success model, ISSM),弥补了 TAM 模型未考虑技术本身信息质量对用户接受度影响的问题。

现阶段 TAM 和 TPB 模型已广泛用于分析用户对机动车驾驶辅助相关技术的接受意愿。Biaassoni 等^[13]基于技术接受模型提出了用户行为与辅助技术交互的模型,解释了驾驶员与生态驾驶辅助系统使用意愿的关系。裘梦琪等^[14]基于 TAM 从行人行为的角度建立了车辆技术接受模型(CTAM),探究了行人对全自动驾驶车辆的接受度。李振龙等^[15]基于扩展 TAM 研究了驾驶人对车路协同系统的接受度及影响因素。除此之外,已有研究在驾驶员自身属性、社会行为规范与生态驾驶诱导信息偏好的相关性分析方面也积累了一定的成果:Harper 等^[16]认为公众对驾驶技术的接受程度因性别而异,且男性表现得更为积极;Son 等^[17]通过实车实验研究了驾驶人年龄、性别和道路环境对驾驶辅助技术接受程度的影响;Lauper 等^[18]、Stillwater 等^[19]在欧洲和美国分别开展了大量调查,通过 TPB 理论探究了驾驶员性格、自我评价、驾驶行为意向(控制交通噪声、规范自身驾驶行为等)与接受生态驾驶行为之间的联系。

相关研究发现,生态驾驶诱导辅助系统的诱导方式以及诱导信息类型也会影响驾驶员的使用意愿。Gaspar 等^[20]研究表明,系统设计和用户体验可能会影响用户满意度。Birrell 等^[21]的研究表明,驾驶员在查看系统时会做出积极响应,但相应的行为会受到信息展示形式的影响。Summala 等^[22]发现视

觉信息会影响驾驶员的反应时间。Östlund 等^[23]发现视觉信息会影响驾驶员对车辆的横向控制。尽管以上研究指出系统本身的信息质量会影响用户接受度,但 Ahlstrom 等^[24]认为,驾驶员对诱导辅助系统的感知程度和认知接受度更可能影响使用意愿;这也解释了生态驾驶诱导辅助系统目前仍未得到广泛运用的原因^[25]。

现有研究大多基于 TAM 模型探究感知有用性与感知易用性对用户采纳技术意向的影响,但影响感知有用性和易用性的因素、系统自身信息质量研究不够全面,缺乏理论基础。因此,本研究结合 TAM 模型和 ISSM 模型构建用户行为态度和系统信息质量对系统感知有用性、感知易用性和使用意愿的影响评估模型。通过李克特 7 级量表问卷调查,结合驾驶员社会人口特征和具体驾驶场景,研究驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的诱导信息类型偏好、使用意愿及其影响因素,探究驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的认知接受度,为生态驾驶诱导系统的技术研发提供建议。

1 研究方法

1.1 研究模型

本研究在 TAM 模型(图 1)的基础上,融合 ISSM 模型,建立驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统使用意愿的理论分析框架(图 2)。其中,系统的使用意愿受系统的感知有用性和感知易用性影响,而感知有用性和感知易用性分别受驾驶员行为态度和系统信息质量影响,同时感知有用性受感知易用性的影响。本节将针对不同构面,分别解释对应的研究假设和因果关系。

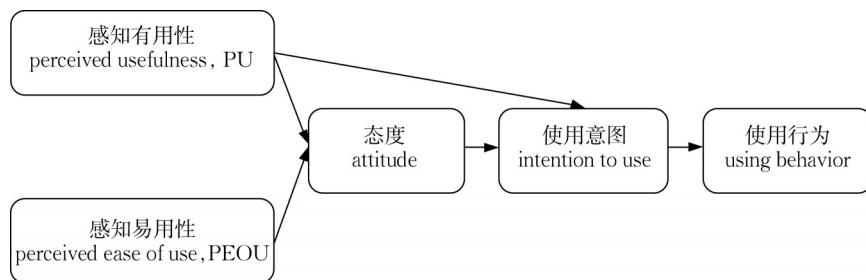


图1 技术接受模型

Fig.1 Model of technology acceptance

1.1.1 行为态度

(1)主观规范

主观规范指个体在做出某一行动或意愿时,受

到与其具有交往关系的人们的意见影响程度,据此提出假设 H1、H2。

H1:驾驶员的主观规范影响驾驶员对生态驾驶

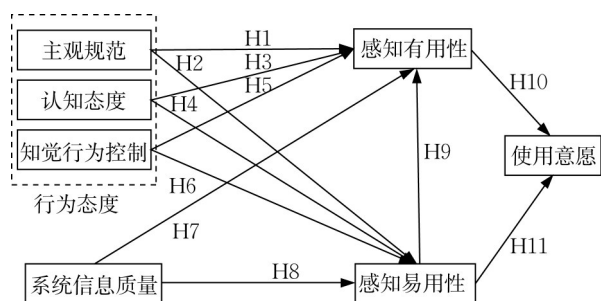


图2 本研究的理论模型

Fig.2 Model in this paper

诱导辅助系统的感知有用性。

H2: 驾驶员的主观规范影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知易用性。

(2) 认知态度

认知态度指人们针对某个特定客观事物持有的固有赞成或者不赞成态度。用户持正面赞成的态度能激发出更强烈的行为表现意愿^[26]。驾驶员在行驶中对生态驾驶建议的执行会有不同的偏好与态度,比如使用电车的驾驶员更愿意采取生态环保节能的驾驶方式^[27]。Lauper 等^[18]发现,驾驶者对生态驾驶行为的态度和感知到的行为控制显著影响生态驾驶行为意向。本研究定义认知态度为驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统所持的赞成或不赞成态度,据此提出假设 H3、H4。

H3: 驾驶员的认知态度影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知有用性。

H4: 驾驶员的认知态度影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知易用性。

(3) 知觉行为控制

知觉行为控制指人们在执行特定行为时感知到的困难程度,反映驾驶员凭借过去经验对即将执行的行为产生的心理预期障碍。研究表明,在实际生活中操作生态驾驶是有一定难度的^[28]: 由于实际障碍(如跟驰换道过程的博弈行为),驾驶员仍然可能维持非生态驾驶行为^[29-30]。因此,基于历史驾驶经验和对交通流状态的预判,驾驶人可能会对生态驾驶诱导辅助系统产生心理预期障碍。据此提出假设 H5、H6。

H5: 驾驶员的知觉行为控制影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知有用性。

H6: 驾驶员的知觉行为控制影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知易用性。

1.1.2 系统信息质量

基于 Delone 和 Mclean 提出的 ISSM 模型,优质

的系统信息质量可显著提升用户对系统的满意度与使用意愿^[12]。系统信息质量包括准确性、多样性、新颖性、独特性 4 个方面。其中,准确性可以用预测的准确性衡量(即预测驾驶员对信息诱导方式的偏好);多样性和新颖性包括诱导辅助系统信息反馈形式的多样性,包括驾驶行为评分、激励机制^[6-7]、警示机制^[31]等;独特性指为驾驶员提供个性化的建议。利用不同的信息展示与提示方式影响用户的驾驶行为,进而影响使用者对系统的评价及其意见的采纳意愿。准确完整的系统信息可以为驾驶行为提供有效建议,从而增加他们对易用性和有用性的感知。基于以上论述,提出假设 H7、H8。

H7: 系统信息质量影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知有用性。

H8: 系统信息质量影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知易用性。

1.1.3 感知易用性和感知有用性

感知易用性指个体认为使用某一特定技术时的容易程度。用户在使用或者准备使用某一技术时所感知到的易用性越强,其使用态度会表现得越正面,进而影响用户对整个系统的使用意愿^[9]。

感知有用性指个体认为使用某一特定的应用系统能提高工作绩效,即用户认为使用这项技术能提高他们的工作或生活质量。感知有用性受到感知易用性的影响^[11]。研究发现,只有当某一项新技术为用户提供比现存技术更多的优势和便利性时,用户才会接受这种技术并开始尝试^[32]。例如部分驾驶员认为生态驾驶可以改善温室效应、节约能源,进而对其采取积极的态度^[33]。基于以上研究,提出假设 H9、H10、H11。

H9: 驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知易用性影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知有用性。

H10: 驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知有用性影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的使用意愿。

H11: 驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的感知易用性影响驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的使用意愿。

1.2 问卷设计

本研究根据模型中对于感知有用性和感知易用性等概念的界定,结合生态驾驶诱导系统特性设计量表。问卷分为三大部分,第一部分简要介绍生态驾驶和生态驾驶诱导辅助系统,第二部分调查驾驶

员的社会人口特征,第三部分调查生态驾驶诱导辅助系统的使用意愿和不同信息类型的接受度,包括①基于TAM和ISSM调查诱导辅助系统使用意愿;②调查不同的驾驶场景下驾驶员对诱导辅助系统信息设计的偏好,包括信息提示方式(图示、文字、语音和振动)和信息反馈机制(评分、激励、警示)。问卷第三部分使用意愿相关条目均依据李克特7级量表设计,1表示“非常不同意”,7表示“非常同意”。

1.2.1 社会人口调查

不同驾驶员的社会背景与文化背景会影响其对生态驾驶诱导辅助系统的接受程度^[34],因此,本问卷首先筛选出具有驾驶经验的驾驶员,进一步调查驾驶员的性别、年龄、职业、学历、收入、私家车保有量和驾龄。本次问卷的参与者通过互联网社交媒体进行招募,调查时间从2023年1月持续至3月中旬,共

558名参与者完成了问卷调查。研究删除了没有驾驶经验的驾驶员样本,通过设置问题间逻辑检验和回答时间上限,最终保留了466个有效样本,问卷有效回收率83.5%。

1.2.2 生态驾驶诱导辅助系统认知接受度模型构面调查

对行为态度、系统信息质量、感知有用性、感知易用性、使用意愿5个构面进行调查,其中行为态度中包括主观规范、认知态度和知觉行为控制。表1展示了诱导辅助系统接受度调查的构面、问项和参考文献。需要注意的是,本问卷感知易用性模块侧重驾驶员的意向调查,而非实际使用体验。未来需根据用户实际使用体验,针对生态驾驶辅助诱导系统开展优化设计研究。

表1 调查问卷构面组成设计
Tab.1 Design of composition in questionnaires

构面	TAM 变量名	问项内容	来源
行为态度	主观规范 BA1	Q3:身边重要的人(父母、同学、朋友等)会影响我进行非生态驾驶行为	文献[35]
	认知态度 BA2	Q4:身边重要的人(父母、同学、朋友等)对我进行生态驾驶行为时持有的态度是积极的	
	知觉行为控制 BA3	Q5:在驾驶配置生态驾驶诱导辅助系统的汽车时利于掌握生态驾驶技能	文献[26]
系统信息质量	IQ1	Q1:在过去会经常性进行非生态驾驶行为	文献[36]
		Q2:在生态驾驶诱导辅助系统面前会采取过去习惯进行的非生态驾驶行为	
	IQ2	Q6:学习和掌握生态驾驶诱导辅助系统的建议对我来说是容易的	文献[37] 文献[38]
	IQ3	Q7:生态驾驶诱导辅助系统从节能减排角度分析驾驶状态,实时分析给出评分对节能减排是有帮助的	
	IQ4	Q8:生态驾驶诱导辅助系统从节能减排角度分析驾驶状态,实时分析给出激励机制反馈是有帮助的	
感知有用性	PU1	Q9:生态驾驶诱导辅助系统从节能减排角度分析驾驶状态,实时分析给出警示机制反馈是有帮助的	文献[37] 文献[39] 文献[9]
	PU2	Q12:使用生态驾驶诱导辅助系统能够提高能耗效率	
	PU3	Q13:使用生态驾驶诱导辅助系统能够降低排放	
感知易用性	PEOU1	Q14:使用生态驾驶诱导辅助系统能够帮助花费更少的精力观察周围环境	文献[9]
	PEOU2	Q10:生态驾驶诱导辅助系统给出目标速度是容易实现的	
使用意愿	AIOR1	Q11:生态驾驶诱导辅助系统给出的起步、加速、等速、减速等操作建议是容易实现的	文献[40]
	AIOR2	Q15:配置生态驾驶诱导辅助系统车辆会与行驶环境、交通设施匹配	
	AIOR3	Q16:与传统汽车相比,配置生态驾驶诱导辅助系统的车辆更适合系统的绿色生态发展	
	AIOR4	Q17:对生态诱导辅助系统很快会被市场接受的态度是积极的	
	AIOR5	Q18:对于驾驶配置生态驾驶诱导辅助系统的汽车态度是积极的	
	AIOR6	Q19:未来3年内若生态驾驶诱导辅助系统投入市场,打算使用其驾驶汽车出行	
		Q20:未来3年若生态驾驶诱导辅助系统投入市场,会推荐家人和朋友在驾驶汽车时使用	

注:BA(behavioral attitude)表示行为意向;IQ(information quality)表示推荐系统质量;PU(perceived usefulness)表示感知有用性;PEOU(perceived ease of use)表示感知易用性;AIOR(adoption intention of recommendations)表示推荐采纳意向。

1.3 生态驾驶诱导辅助系统适用场景划分

为了还原驾驶员日常真实的驾驶情况,本次研究基于高峰、非高峰两种交通状态与城市道路、城市快速路两种道路等级,划分了4个常见的驾驶场景,包括城市快速路高峰期、城市快速路平峰期、城市道路高峰期、城市道路平峰期。为了让驾驶员深入体验不同驾驶场景,调查问卷在相应场景问题下提供

了场景图片,直观地展现场景特征。

1.4 生态驾驶诱导辅助系统信息提示方式选择

生态驾驶诱导辅助系统信息提示方式包括图示、文字、语音和振动。其中,图示和文字提示的样例如图3所示。考虑到问卷体量和回收质量,本次问卷未将信息提示方式的偏好度调查问题纳入TAM框架中。未来研究可将信息提示方式作为系

统信息质量的一部分纳入 TAM 问卷框架。

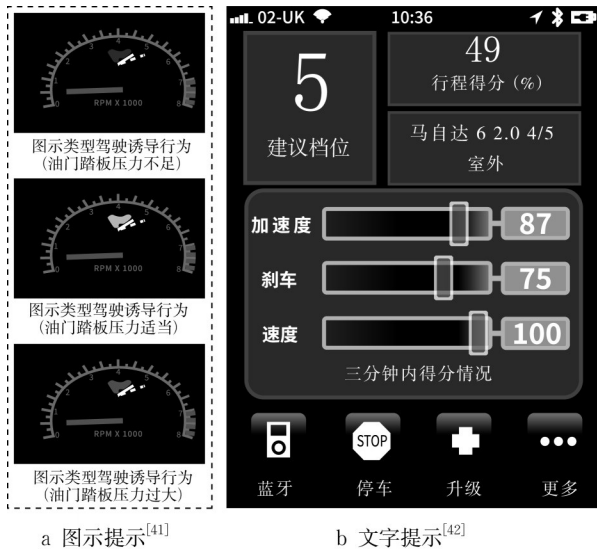


图3 提示方式
Fig. 3 Display of guidance methods

1.5 生态驾驶诱导辅助系统信息反馈机制选择

生态驾驶诱导信息的反馈机制分为评分、激励和警示。其中,评分机制将评估驾驶员每次行程的驾驶行为表现,通过同行排名等方式给予驾驶员相应的评估分数。激励机制下,当驾驶员做出节能减排的生态驾驶行为时,系统将给予正面评价,鼓励驾驶员继续保持生态驾驶行为。相反,警示机制下,当驾驶员做出非生态驾驶行为时,系统将提供提醒或预警信息,提醒驾驶员避免非生态驾驶行为。信息反馈机制选择偏好对应“系统信息质量”构面的问题 IQ2~IQ4。

2 问卷结果分析

2.1 问卷结果检验和统计性描述

2.1.1 问卷信效度检验

本研究采用内部一致性对问卷进行信度分析。所有问项的因子载荷均大于 0.7 的限制性水平^[43],各构面的 Cronbach's α (克隆巴赫信度系数)与组成信度(CR)均大于 0.7 的限制性水平^[44],表明量表的信度良好。

问卷的效度主要通过聚合效度来评价^[45],用因子负荷、平均方差萃取量衡量^[46]。除变量 BA1、BA2,本研究所有条目的因子负荷均大于 0.5,各构面的平均变异萃取值均大于 0.5 的限制性水平,表示量表具有良好的收敛效度。

2.1.2 驾驶员社会人口特征统计

表 2 总结了有效问卷的驾驶员社会人口特征。在 466 名受试者中,76.18% 为男性,23.82% 为女性。大多数驾驶员的年龄分布集中在 18~50 岁(97.21%),91.63% 的驾驶员拥有私家车。大多数驾驶员驾龄超过一年(89.7%),学历大多集中在大专或大学(82.12%)。工作性质和收入方面,学生、公职人员、企业管理人员占比较大(共 69.1%),年收入在“5~10 万元”和“10~20 万元”的人较多(共 60.3%)。

表 2 样本背景组成
Tab. 2 Composition of sample background

类别	说明	占比/%
性别	男	76.18
	女	23.82
年龄	[18,29]岁	28.76
	[30,39]岁	46.78
	[40,49]岁	21.67
	[50,59]岁	2.79
	≥60岁	0
职业	学生	13.09
	工人(含农民工)	10.09
	公职人员(含公务员,和除教师外的事业单位人员)	36.27
	教师	4.94
	企业管理人员	19.74
	农民	5.58
	个体劳动者	9.66
	离退休人员	0.64
学历	初中及以下	2.15
	高中或高职	10.94
	大专	22.75
	大学本科	59.44
	硕士及以上	4.72
年收入	[1,2)万元	10.30
	[2,5)万元	9.87
	[5,10)万元	25.97
	[10,20)万元	34.33
	[20,50)万元	16.74
	[50,100)万元	1.50
	[100,200)万元	0
	≥200万元	1.29
拥有私家车	拥有	91.63
	未拥有	8.37
驾龄	<1年	10.30
	[1,3)年	33.26
	[3,6)年	34.33
	[6,12)年	17.60
	≥12年	4.51

2.1.3 驾驶员属性与诱导辅助系统接受度的相关性分析

表 3 展示了受试者社会人口特征与生态驾驶习惯及诱导辅助系统接受度的相关性分析。年龄与知

觉行为控制(BA3)呈显著正相关,表明年龄越大的驾驶员实施非生态驾驶行为的概率越高,即使在生态驾驶诱导辅助系统的建议下,他们仍然倾向于维持非生态驾驶行为。性别与知觉行为控制(BA3)、主观规范(BA1)呈现显著相关性。男性驾驶员进行非生态驾驶行为的可能性更高,女性驾驶员更容易受到身边重要的人的影响做出非生态驾驶行为。

年龄、学历和私家车保有量均与认知态度

(BA2)呈显著负相关。年龄越大的驾驶员,对生态驾驶诱导辅助系统有效性的态度越负面。学历与私家车数量在显著相关性上呈现相同的趋势:私家车数量越多、学历越高的驾驶员过往出现非生态驾驶行为的频率越低。同时,他们更倾向于认为即使驾驶配置生态驾驶诱导辅助系统的车辆,驾驶员也很难掌握生态驾驶技能。

表3 社会人口特征与生态驾驶习惯及诱导辅助系统接受度相关性分析

Tab.3 Correlation analysis of social demographic characteristics with eco-driving habits and guidance assistance system acceptance

变量	相关性					
	年龄	性别	职业	学历	收入	私家车
BA3-Q1	0.099*	-0.136**	0.016	-0.163**	-0.004	-0.132**
BA3-Q2	0.142**	-0.128**	0.197**	-0.239**	0.013	-0.166**
BA1-Q3	-0.005	-0.106*	-0.082	-0.065	-0.036	-0.076
BA1-Q4	0.002	-0.034	-0.088	-0.091	-0.067	-0.071
BA2	-0.119**	0.053	0.057	-0.109*	-0.009	-0.152**

注:*表示 $p<0.05$; **表示 $p<0.01$ 。

图4展示了不同驾驶场景下驾驶员属性特征与生态驾驶诱导辅助系统接受度之间的相关性。总体来看,驾龄与使用意愿相关性相对较强。驾驶员驾龄越长,对生态驾驶诱导辅助系统的使用态度越积极,并且愿意将其推荐给身边的朋友。学历和家庭私家车数量与使用意愿呈负相关。家庭私家车数量越多,驾驶员对诱导辅助系统的态度越消极。在城市道路高峰场景下,驾驶员学历越高,使用生态驾驶诱导辅助系统的意愿越低。性别与使用意愿的相关性仅在城市快速路高峰场景下较强,其中女性驾驶员对诱导辅助系统的使用意愿更高。

2.2 生态驾驶诱导信息提示方式偏好度对比

图5展示了不同驾驶场景下驾驶员对图示、文字、语音和振动4类信息提示方式的偏好度。对比4种场景发现,大部分驾驶员倾向于选择语音提示类型的生态驾驶诱导系统,图示类型次之,仅有少部分驾驶员选择振动。此外,4种场景下选择文字类型的驾驶员也较少,可能是由于阅读、理解文字会带来额外的工作量。

分驾驶场景分析,城市道路平峰状态下驾驶员对振动提示的接受度比相同道路等级高峰时期高,而高峰时期驾驶员对语音提示的偏好度比平峰时期高。相比于城市道路,城市快速路场景下驾驶员对图示提示的接受度显著提升,而高峰时期城市快速

路上驾驶员对振动提示的接受程度仅为1.72%。产生这一现象的原因可能是4种提示类型引起的驾驶员分心效应不同^[22-24],这也需要在未来研究中继续关注。

2.3 生态驾驶诱导信息反馈机制偏好度对比

问卷结果显示驾驶员对3种信息反馈机制帮助实现生态驾驶的态度呈现不同的偏好。其中,不认可激励机制的驾驶员人数最多,有5%的人认为激励机制对生态驾驶完全没有作用。认为评分机制没有作用的人数次之(7人)。相比之下,驾驶员对警示机制的态度较为正面,仅有1人认为其没有作用。本研究关于警示机制的结论与已有研究结果相符^[31]:警示机制可以更有效地帮助驾驶员认识到生态驾驶的有用性,促进他们规范驾驶行为,从而达到节能减排的效果。然而,尽管已有研究证明评分和激励机制也可有效降低车辆能耗和排放^[6-7],本研究结果显示,驾驶员对这两类机制的认可度不高,其认知层面的原因仍需要在未来生态驾驶诱导信息偏好实验中深入探讨。

图6展示了驾驶员对不同信息反馈机制的行为态度。其中,IQ2、IQ3、IQ4分别代表评分、激励和警示机制。分析结果表明,行为态度二阶构面(包括主观规范BA1、认知态度BA2和知觉行为控制

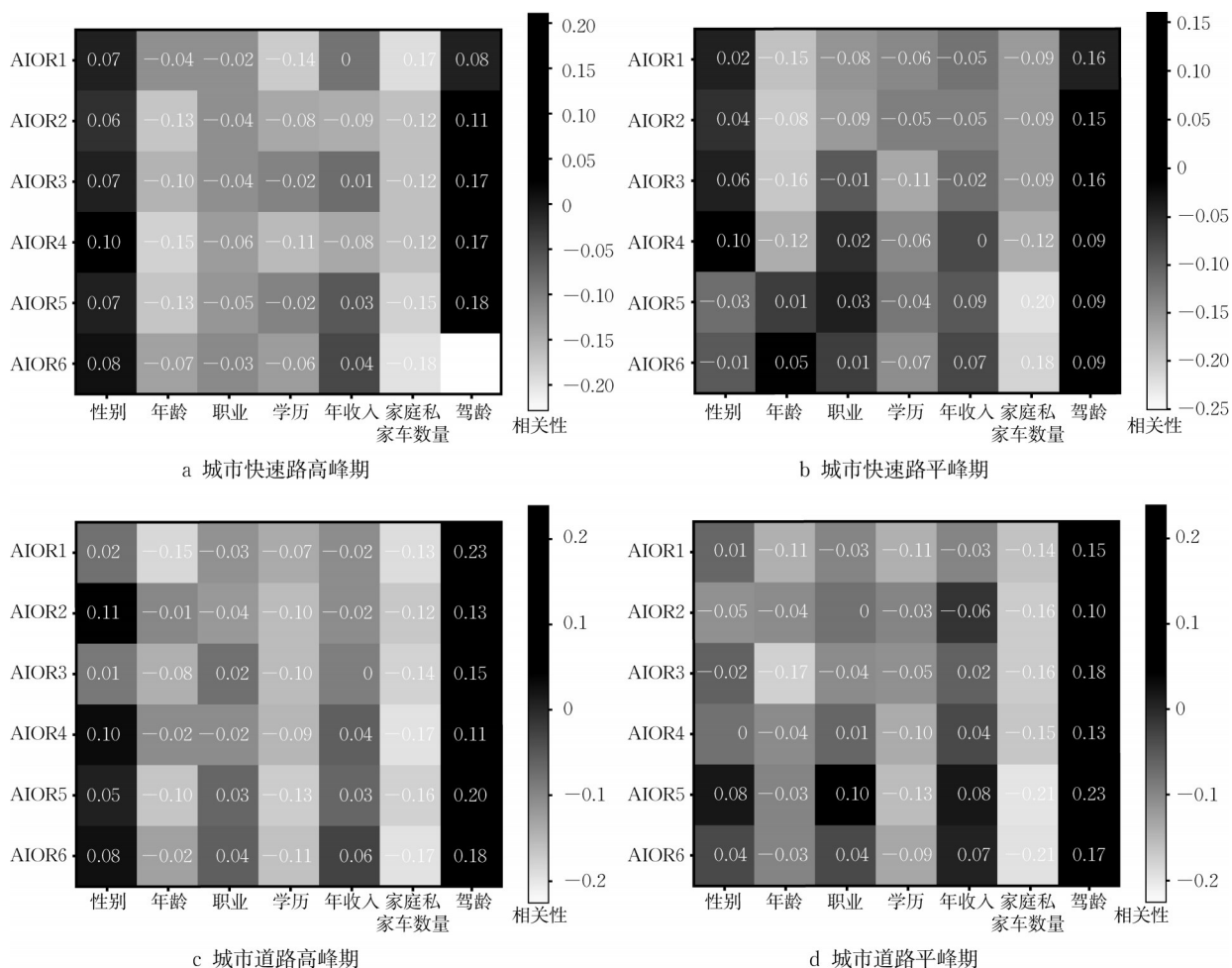


图4 社会人口特征和使用意愿相关性系数热力图

Fig.4 Heatmap of correlation coefficients between social demographic characteristics and intention to use

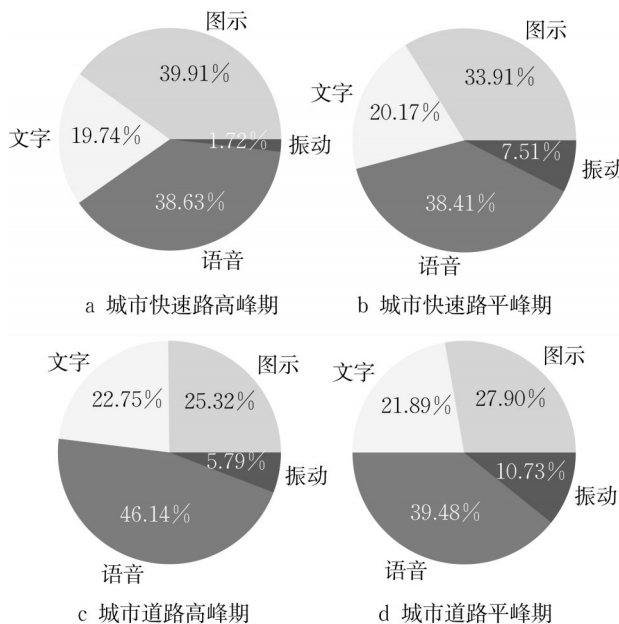


图5 生态驾驶诱导辅助系统类型选择

Fig. 5 Selection of types of ecological driving guidance assistance system

BA3)显著正向影响驾驶员对生态驾驶诱导信息反馈机制的偏好度。主观规范(BA1)包括“身边重要的人对驾驶员进行非生态行为的影响”和“身边的人对生态驾驶所持态度”两部分。结果表明,驾驶员主观规范程度越强,越偏好于温和的信息反馈机制,即评分机制和激励机制。认知态度(BA2)反映驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的赞成或不赞成的态度。从图6中可知,认知态度与警示机制的信息反馈相关性最强。当驾驶员认可生态驾驶诱导辅助系统的有效性时,他们倾向于选择警示机制的信息反馈。知觉行为控制(BA3)同样影响驾驶员对信息反馈的偏好度。过去经常进行非生态驾驶行为的驾驶员更偏好于选择评分机制和激励机制。在生态驾驶建议面前仍然维持非生态驾驶行为的驾驶员,对评分机制和警示机制的认可度更高。以上分析进一步表明了考虑驾驶员行为态度倾向在研究生态驾驶诱导辅助驾驶系统应用领域的必要性。然而,未来研究仍

需探究不同信息反馈机制的偏好性和实际实施过程中的有效性是否一致。

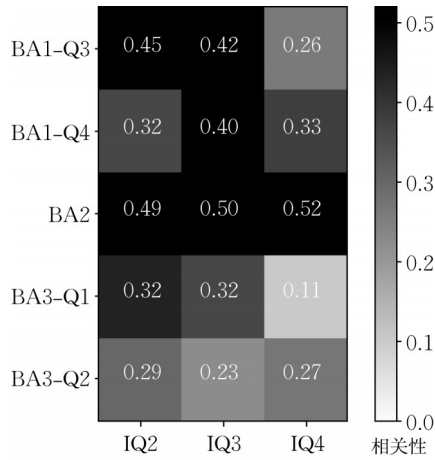


图6 行为态度与信息反馈机制相关性系数热力图

Fig.6 Correlation heatmap of behavioral attitudes and information feedback mechanisms

2.4 路径分析与假设检验

为了验证行为态度、系统信息质量、感知有用性、感知易用性变量影响驾驶员使用生态驾驶诱导辅助系统意愿的假设,本文通过结构方程进行路径分析与假设检验。图7~10展示了TAM路径分析的结果。图中,“***”表示0.01水平上显著,“**”表示0.05水平上显著,“*”表示0.1水平上显著。图中数值均为标准化后的参数,直接效应表示模型中的路径系数。

场景一(城市快速路高峰场景)中,系统的信息质量对感知易用性产生了显著正向影响,支撑H2假设,即系统信息质量越高,驾驶员认为诱导的易用性越强。驾驶员的主观规范对感知有用性和感知易用性均具有显著正向影响,支持假设H3、H6,即身边人对生态驾驶的态度显著影响诱导辅助系统的有用性和易用性。驾驶员的认知态度对感知有用性具有显著负面影响,支持假设H4,但对感知易用性未显示显著影响。该场景下,感知易用性对感知有用性存在显著正向影响,同时感知有用性、感知易用性与诱导系统使用意愿显著正相关,支持假设H9、H10、H11。以上结果表明,系统信息质量和主观规范可以正向影响驾驶员的使用意愿,而认知态度会负向影响驾驶员对诱导系统的接受度;对于城市快速路高峰时期,提高生态驾驶诱导辅助系统的感知有用性和感知易用性可以增强驾驶员对系统的使用意愿。

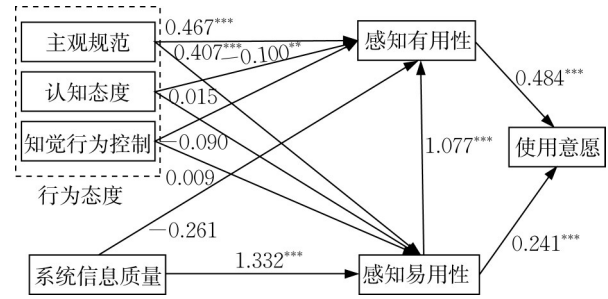


图7 场景一结构模型路径分析与假设检验结果

Fig.7 Path analysis and hypothesis testing results of structural model in Scenario 1

场景二(城市快速路平峰场景)与场景一类似,系统信息质量显著正向影响驾驶员的感知易用性,但对感知有用性的影响并不显著,验证假设H2。然而在此场景中,感知有用性和感知易用性对使用意愿的影响均不显著,一定程度上反映城市快速路平峰场景下驾驶员对诱导辅助系统的认知接受度不高,后续需要开展更多实验寻找最优的系统设计方法。

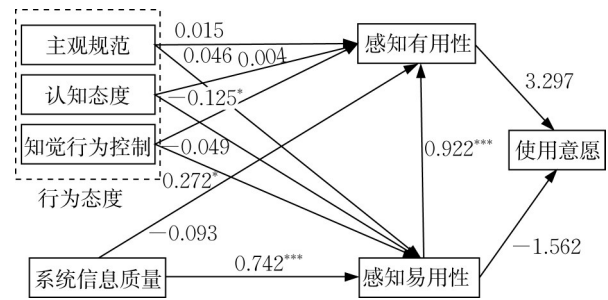


图8 场景二结构模型路径分析与假设检验结果

Fig.8 Path analysis and hypothesis testing results of structural model in Scenario 2

对比城市道路两种驾驶场景(图9、图10),与城市快速路相似,系统信息质量对感知易用性呈现显著正向影响,说明系统信息质量越高,驾驶员认为诱导辅助系统的易用程度越高。知觉行为控制对感知有用性和感知易用性均没有显著影响。城市道路平峰场景(场景四)下,主观规范和认知态度对感知有用性、感知易用性的影响均为显著正向,而在高峰驾驶场景(场景三)中,仅有认知态度对感知易用性呈现出显著负向影响。以上结果表明,高质量的系统信息提供会提高驾驶员的使用意愿,但驾驶员对诱导辅助系统的固有态度会降低对其的使用意愿。对于城市道路而言,无论何种交通运行状态,提高生态驾驶诱导辅助系统的感知有用性和感知易用性均可增强驾驶员对系统的使用意愿。

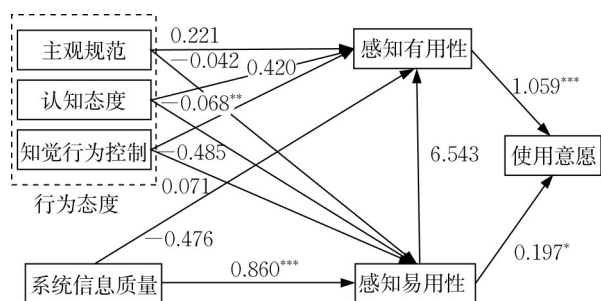


图9 场景三结构模型路径分析与假设检验结果

Fig.9 Path analysis and hypothesis testing results of structural model in Scenario 3

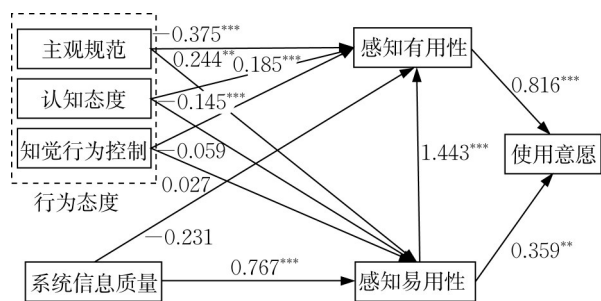


图10 场景四结构模型路径分析与假设检验结果

Fig.10 Path analysis and hypothesis testing results of structural model in Scenario 4

3 结果讨论

3.1 不同驾驶场景下生态驾驶诱导辅助系统接受度对比

对比不同道路等级的高峰时段驾驶场景,认知态度都对感知易用性产生了负面的影响。值得注意的是,城市快速路高峰时段下,感知易用性对感知有用性有显著影响,而在城市道路场景中没有出现这一现象。城市道路在高峰时期交通运行状态更加复杂,相邻车辆之间的跟车与博弈占据了驾驶员大量的注意力,因此,即使驾驶员认为生态驾驶诱导辅助系统是容易使用的,这类系统产生的感知有用度仍然有限。在不同道路等级的高峰时段驾驶场景中,感知有用性和感知易用性均对使用意愿产生正向显著影响。因此,提高生态系统的感知有用性和感知易用性可以提高高峰时段驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的接受程度。

对比不同道路等级的平峰时段驾驶场景,认知态度对感知易用性同样产生显著负面影响,即无论处于何种道路等级,在非拥堵状态下,驾驶员会由于固有的认知态度预设生态驾驶行为的实现难度。城

市道路的平峰时段下,感知有用性和感知易用性对驾驶员使用生态驾驶诱导辅助系统的意愿产生了显著正面影响,而城市快速路上并未出现这一关系。结果表明,当驾驶员行驶在快速路平峰场景下,无论对生态驾驶诱导辅助系统的有用性和易用性持何种态度,他们都更愿意维持自己本身的驾驶行为,拒绝生态驾驶。此外,感知有用性和感知易用性均不是快速路平峰时段诱导辅助系统使用意向的显著影响因素,后续研究需要关注其他因素(如驾驶员的历史驾驶经验)对生态驾驶诱导辅助系统接受度的直接影响。

综合对比城市快速路和城市道路,系统信息质量都对感知易用性产生显著正向影响,说明生态驾驶诱导辅助系统的信息反馈(如评分、激励、警示)会影响驾驶员对实现生态驾驶容易程度的感知。未来生态驾驶诱导辅助系统研发应注重系统信息质量的提升,从而提高驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的使用意愿。

3.2 生态驾驶诱导信息选择分析

本问卷中,生态驾驶诱导信息偏好调查分为信息提示方式和信息反馈机制两部分。对于信息提示方式,大部分驾驶员对语音提示非生态驾驶行为的诱导辅助系统具有明显的偏好。这一结论与已有研究相符:研究发现,相较于视觉辅助,驾驶员对语音辅助的信息接收负担更轻^[24],当驾驶人出现非生态驾驶行为时,实时语音提示如“请避免急加速”可以有效避免驾驶员再次出现这类驾驶行为,实现生态驾驶诱导的目的^[31]。然而也有研究表明,语音提示在驾驶过程中可能被视作噪音,导致驾驶员分心^[47],降低用户对语音提示的满意度和诱导辅助系统的认可度^[48]。一些驾驶员偏好于视觉信息提示(即图示和文字提示),过往研究显示,驾驶员可能会认为出现在仪表盘或手机上的视觉提示简单易懂,易于理解接受^[49]。然而,也有部分研究认为,基于视觉提示的驾驶诱导信息将增加驾驶过程中的工作量,分散注意力,是不切实际的^[50]。相较于其他信息提示机制,振动反馈机制可显著降低驾驶员踩踏油门的次数^[5],诱导辅助系统可达到最高的节能减排效果。然而在本次调查中,选择振动机制的驾驶员最少,可能原因是本次调查的驾驶员对振动提示类型的了解不足、认知度不高。在未来诱导辅助系统设计中,振

动提示可作为备选项之一,供驾驶员体验,提升驾驶员对这类信息反馈机制的认知程度。

信息反馈机制方面,大部分驾驶员对3种信息反馈实现生态驾驶的有效性呈现乐观积极的态度,仅有不足10%的驾驶员认为信息反馈机制是无效的。本次调查中,大部分驾驶员更认可警示机制,部分驾驶员不认可温和的评分机制和激励机制的有用性。研究表明,警示机制的反馈通过描述潜在危险和造成的能源消耗来规范驾驶人的行为,使驾驶员认识到生态驾驶的重要性^[31]。另一方面,在评分、激励的信息反馈中加入游戏化设计的互动性可以调动驾驶员的积极性从而有效降低车辆能耗和排放^[6-7]。未来进行系统行为诱导实验时,可提供多种信息反馈机制进行模拟,探究驾驶员在实际场景中对信息反馈有效性的认知接受度。

综上,如何合理设计生态驾驶诱导辅助系统的信息类型,在提高诱导效率和用户接受度的同时降低安全风险,是未来研究需要探讨的问题。此外,不同场景下驾驶员对不同诱导信息的偏好度也值得进一步挖掘。

3.3 生态驾驶诱导系统应用前景探讨

针对生态驾驶诱导辅助系统的使用意愿调查显示,58%的驾驶员对驾驶配置生态驾驶诱导辅助系统的车辆持有积极态度;如果未来3年生态驾驶诱导辅助系统投入应用,他们愿意使用该系统并乐意推荐给自己的家人和朋友。问卷的结果一定程度上反映了当下驾驶员对于生态驾驶诱导辅助系统的乐观态度。随着车间通讯技术和车联网的发展,车辆与其他信息(设施、车辆、网络等)交互有助于提升车辆对周边交通状况和相邻车辆行为的感知精度,支撑生态驾驶诱导辅助系统生成更实时、更符合当前驾驶现状的提示信息。同时,人机交互反馈可大大提升驾驶诱导信息的优化能力,为驾驶员提供更符合其驾驶习惯和使用偏好的提示信息。上述技术均将进一步提升系统信息质量,从而提高不同驾驶场景下生态驾驶诱导辅助系统的使用意愿。然而,以上技术的实现依赖于强大的边缘计算能力和算法迭代速度,如何实现基于用户偏好的生态驾驶诱导信息自适应生成仍需要大量理论研究和实践。

4 结语

本文通过整合技术接受模型和信息系统成功模型,设计问卷调查不同驾驶场景下驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统类型的偏好程度、使用意愿及其影响因素,通过结构方程路径分析方法提取显著影响因素及其影响效果。研究表明,认知偏好方面,驾驶员对配备语音提示、非生态行为警示机制的诱导辅助系统认可度更高。在使用意愿方面,驾驶员固有的认知态度会使他们倾向于拒绝生态驾驶建议,但更高的系统信息质量有助于提高驾驶员的使用意愿。不论何种交通流状态,在城市道路上提高诱导系统的感知有用性和感知易用性将提高驾驶员对生态驾驶诱导辅助系统的接受度。然而,在城市快速路上,系统的感知有用性和感知易用性仅在高峰时段与驾驶员使用意愿呈显著正相关;影响快速路平峰时段驾驶员使用意愿的因素仍需在未來诱导实验中进行深入探究。

本研究的成果将为生态驾驶诱导系统的设计和应用前景提供建议。后续将针对用户实际使用生态驾驶诱导系统时的表现,如诱导辅助信息实际接受度和实际驾驶行为反馈,进一步优化诱导系统设计。

作者贡献声明:

涂 然:研究方案制定,论文修改。

薛 杉:数据处理,分析模型构建,结果分析,论文撰写。

蒋思雨:问卷设计及发放,数据收集。

陈秋梓:具体程序代码实现。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 中国移动源环境管理年报(2022年)[EB/OL].[2023-09-23].https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjgl/202212/t20221207_1007111.shtml.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府.《交通强国建设纲要》[EB/OL].[2023-09-23].https://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm.
- [3] VAN DER VOORT M, DOUGHERTY M S, VAN MAARSEVEEN M. A prototype fuel-efficiency support tool[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2001, 9(4): 279.
- [4] VAGG C, BRACE C J, HARI D, *et al.* Development and field trial of a driver assistance system to encourage eco-driving in light commercial vehicle fleets[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(2): 796.

- [5] BIRRELL S A, YOUNG M S, WELDON A M, *et al.* Vibrotactile pedals : provision of haptic feedback to support economical driving[J]. *Ergonomics*, 2013, 56(2): 282.
- [6] EL A, RACHAD T, IDRI A, *et al.* Gamified mobile applications for improving driving behavior : a systematic mapping study [J]. *Mobile Information Systems*, 2021, 2021: 1.
- [7] NOUSIAS S, TSELIOS C, BITZAS D, *et al.* Exploiting gamification to improve eco-driving behaviour: the GameCAR approach [J]. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 2019, 343: 103.
- [8] FORS C, KIRCHER K, AHLSTRÖM C. Interface design of eco-driving support systems - truck drivers' preferences and behavioural compliance [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, 58: 706.
- [9] DAVIS F D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of Information Technology[J]. *MIS Quarterly*, 1989, 13(3): 319.
- [10] AJZEN I. Theory of planned behaviour [J]. *Organizational Behavior and Human Decision Process*, 1991, 50: 179.
- [11] HUANG Y C, BACHMAN S J, BKMAN K F, *et al.* Exploring user acceptance of 3D virtual worlds in travel and tourism marketing[J]. *Tourism Management*, 2013, 36: 490.
- [12] DELONE W H, MCLEAN E R. The DeLone and McLean model of information systems success: a ten-year update [J]. *Journal of Management Information Systems*, 2003, 19(4): 9.
- [13] BIASSONI F, RUSCIO D, CICERI R. Limitations and automation . The role of information about device-specific features in ADAS acceptability [J]. *Safety Science*, 2016, 85: 179.
- [14] 裘梦琪,周竹萍,梅亚岚. 基于行人行为与优化CTAM模型的全自动驾驶车辆行人接受度分析[J]. *交通运输研究*, 2021, 7(4): 18.
 QIU Mengqi, ZHOU Zhuping, MEI Yalan. Pedestrian acceptance analysis of fully autonomous vehicles based on pedestrian behavior and optimized CTAM model [J]. *Transportation Research*, 2021, 7(4): 18.
- [15] 李振龙,邢冠仰,李佳等. 基于扩展TAM的车路协同系统驾驶人接受度研究[J]. *中国公路学报*, 2021, 34(7): 188.
 LI Zhenlong, XING Guanyang, LI Jia, *et al.* Study on driver acceptance of vehicle-road cooperative system based on extended TAM[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2021, 34(7): 188.
- [16] HARPER C D, HENDRICKSON C T, MANGONES S, *et al.* Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions[J]. *Transportation Research Part C*, 2016, 72: 1.
- [17] SON J, PARK M, BRIAN B. The effect of age , gender and roadway environment on the acceptance and effectiveness of advanced driver assistance systems [J]. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 2015, 31: 12.
- [18] LAUPER E, MOSER S, FISCHER M, *et al.* Psychological predictors of eco-driving : a longitudinal study [J]. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 2015, 33: 27.
- [19] STILLWATER T, KURANI K S, MOKHTARIAN P L. The combined effects of driver attitudes and in-vehicle feedback on fuel economy [J]. *Transportation Research Part D*, 2017, 52: 277.
- [20] GASPAR J, FONTUL M, HENRIQUES E, *et al.* User satisfaction modeling framework for automotive audio interfaces [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2014, 44(5): 662.
- [21] BIRRELL S A, FOWKES M. Glance behaviours when using an in-vehicle smart driving aid : a real-world , on-road driving study [J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2014, 22: 113.
- [22] SUMMALA H, LAMBLE D, LAAKSO M. Driving experience and perception of the lead car's braking when looking at in-car targets[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 1998, 30(4): 401.
- [23] ÖSTLUND J, NILSSON L, CARSTEN O, *et al.* HASTE deliverable 2: HMI and safety-related driver performance[R]. Brussels: European Commission ,2004.
- [24] AHLSTROM C, KIRCHER K. Changes in glance behaviour when using a visual eco-driving system—a field study [J]. *Applied Ergonomics*, 2017, 58: 414.
- [25] RAKOTONIRAINY A, HAWORTH N, SAINT-PIERRE G, *et al.* Research issues in Eco-driving [R]. Brisbane: Queensland University of Technology and French Institute in Science and Technology of Transport, 2011.
- [26] FISHBEIN M A I. Belief, attitude, intention, and behavior: an introduction to theory and research[J]. *Journal of Business*, 1977, 5: 177.
- [27] WANG G, MAKINO K, HARMANDAYAN A, *et al.* Eco-driving behaviors of electric vehicle users : a survey study[J]. *Transportation Research Part D*, 2020, 78: 102188.
- [28] PAMPEL S M, JAMSON S L, HIBBERD D L, *et al.* Old habits die hard ? The fragility of eco-driving mental models and why green driving behaviour is difficult to sustain [J]. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 2018, 57: 139.
- [29] ALAM S, MCNABOLA A. A critical review and assessment of Eco-driving policy & technology: benefits & limitations [J]. *Transport Policy*, 2014, 35: 42.
- [30] DÍAZ-RAMIREZ J, GIRALDO-PERALTA N, FLOREZ-CERON D, *et al.* Eco-driving key factors that influence fuel

- consumption in heavy-truck fleets : a colombian case [J]. Transportation Research Part D, 2017, 56: 258.
- [31] ZHAO X, WU Y, RONG J, *et al.* Development of a driving simulator based eco-driving support system[J]. Transportation Research Part C, 2015, 58: 631.
- [32] SHIN D H. Computers in human behavior towards an understanding of the consumer acceptance of mobile wallet[J]. Computers in Human Behavior, 2009, 25(6): 1343.
- [33] ANDO R, NISHIHORI Y. A study on factors affecting the effective eco-driving [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 54: 27.
- [34] ABUZO A A, MUROMACHI Y. Fuel economy of Eco-driving programs: evaluation of training and real-world driving applications in Manila, Philippines, and in Tokyo [J]. Transportation Research Record, 2014, 2427(1): 34.
- [35] LANZINI P, KHAN S A. Shedding light on the psychological and behavioral determinants of travel mode choice : a meta-analysis [J]. Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour, 2017, 48: 13.
- [36] VENKATESH V, THONG J Y L, XU X. Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology [J]. MIS Quarterly, 2012, 36(1): 157.
- [37] LIN T W, LIN C Y, HSU W H. Effects of system characteristics on adopting web-based advanced traveller information system: Evidence from Taiwan [J]. Promet-Traffic&Transportation, 2014, 26(1): 53.
- [38] NELSON R R, TODD P A, WIXOM B H. Antecedents of information and system quality : an empirical examination within the context of data warehousing [J]. Journal of Management Information Systems, 2005, 24(1): 199.
- [39] CHEN C F, CHEN P C. Applying the TAM to travelers' usage intentions of GPS devices [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(5): 6217.
- [40] ICEK A. The theory of planned behavior [J]. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 1991, 50(2): 179.
- [41] PASCHALIDIS E, CHOUDHURY C F, HESS S. Modelling the effects of stress on gap-acceptance decisions combining data from driving simulator and physiological sensors [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2018, 59: 418.
- [42] TULUSAN J, STAAKE T, FLEISCH E. Providing eco-driving feedback to corporate car drivers: what impact does a smartphone application have on their fuel efficiency? [C]// Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing. New York: Association for Computing Machinery, 2012: 212-215.
- [43] HULLAND J. Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: a review of four recent studies [J]. Strategic Management Journal, 1999, 20(2): 195.
- [44] BAGOZZI R P, YI Y. On the evaluation of structural equation models [J]. Journal of the Academy of Marketing Science, 1988, 16: 74.
- [45] JOHN O P, BENET-MARTÍNEZ V. Measurement: reliability, construct validation, and scale construction [M]// Handbook of Research Methods in Social and Personality Psychology. New York: Cambridge University Press, 2000.
- [46] Straub D W. Validating instruments in MIS research [J]. MIS Quarterly, 1989, 13(2): 147.
- [47] ROBERTS S C, GHAZIZADEH M, LEE J D. Warn me now or inform me later: drivers' acceptance of real-time and post-drive distraction mitigation systems [J]. International Journal of Human Computer Studies, 2012, 70(12): 967.
- [48] MCILROY R C, STANTON N A, GODWIN L. Encouraging eco-driving with visual, auditory, and vibrotactile stimuli [J]. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 2016, 47(5): 661.
- [49] CAULFIELD B, BRAZIL W, FITZGERALD K N, *et al.* Measuring the success of reducing emissions using an on-board eco-driving feedback tool [J]. Transportation Research Part D, 2014, 32: 253.
- [50] VAGG C, BRACE C J, HARI D, *et al.* Development and field trial of a driver assistance system to encourage eco-driving in light commercial vehicle fleets [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(2): 796.