

文章编号:1671-1637(2020)02-0131-16

## 自动驾驶公众接受度研究综述

唐立<sup>1</sup>, 卿三东<sup>1</sup>, 徐志刚<sup>2</sup>, 周厚庆<sup>1</sup>

(1. 西华大学 汽车与交通学院, 四川 成都 610039; 2. 长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:**全面梳理并总结了自动驾驶公众接受度领域的相关研究,从接受自动驾驶的可能性与态度、了解与信任程度、感知与关注点、支付意愿和使用偏好 5 个方面定义并阐述了接受度的内涵;从调查对象的选取、问卷设计、调查方式与抽样、模型构建与数据分析方法等方面对比了现有研究采用的数据采集和分析方法;总结了影响自动驾驶公众接受度的关键因素,剖析了其对公众接受度的影响,指出了存在的问题和未来研究方向。研究表明:现有大部分研究重点关注接受自动驾驶的可能性、态度和使用偏好等问题,对支付意愿的研究相对较少;公众对自动驾驶普遍持积极态度,对自动驾驶技术及其相关功能有所了解;安全问题是人们对自动驾驶的首要关注点,不同群体对该问题的担忧程度有显著差异;人们为享受自动驾驶技术而愿意支付额外费用的意愿不够强烈,来自发达国家受访者的支付意愿普遍低于发展中国家受访者;个人心理和生理属性,社会人口属性,伦理、法律责任和车辆安全水平,车辆自动化水平及相关属性,出行相关属性以及环境因素等是影响公众对自动驾驶接受度的几类关键因素;然而,现有研究对伦理和法律责任等因素的量化分析还较为缺乏,性别、年龄和收入水平等部分关键因素的影响仍存在争议,还需进一步讨论;相关研究在对样本的代表性分析、问卷和调查方案的精细化设计以及关键因素的具体作用机制分析等方面还有待进一步深入。

**关键词:**智能交通;自动驾驶;公众接受度;关键因素;支付意愿;调查设计

中图分类号:U491.1 文献标志码:A DOI:10.19818/j.cnki.1671-1637.2020.02.011

### Research review on public acceptance of autonomous driving

TANG Li<sup>1</sup>, QING San-dong<sup>1</sup>, XU Zhi-gang<sup>2</sup>, ZHOU Hou-qing<sup>1</sup>

(1. School of Automobile and Transportation, Xihua University, Chengdu 610039, Sichuan, China;

2. School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** The relevant studies in the field of public acceptance of autonomous driving were comprehensively sorted out and summarized. The connotation of acceptance was defined and explained from five aspects such as the possibility and attitude on accepting the autonomous driving, degrees of understanding and trust, perception and focus, willingness to pay and use preference. The data collection and analysis methods used in the existing researches were compared and analyzed from the aspects such as the survey object selection, questionnaire design, survey and sampling schemes, modelling and data analysis methods. The key factors impacting the public acceptance of autonomous driving were summarized. The influences of key factors on

收稿日期:2019-11-10

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFB1600100);国家自然科学基金项目(61973045);陕西省重点研发计划项目(2018ZDXM-GY-013);四川省教育厅科研项目(18ZB0565)

作者简介:唐立(1988-),女,四川遂宁人,西华大学副教授,工学博士,从事交通行为理论研究。

引用格式:唐立,卿三东,徐志刚,等.自动驾驶公众接受度研究综述[J].交通运输工程学报,2020,20(2):131-146.

Citation:TANG Li, QING San-dong, XU Zhi-gang, et al. Research review on public acceptance of autonomous driving[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2020, 20(2): 131-146.

the public acceptance were analyzed. The problems and future research directions were pointed out. The research result indicates that most of the existing studies focus on the problems of accepting possibility of autonomous driving, attitude and use preference. The research relating to the willingness to pay is relatively rare. The public is generally positive about the autonomous driving, and have certain knowledges of autonomous driving technology and its related functions. The safety issue is people's primary concern for the autonomous driving, while the concern degrees are significantly different among various groups. People's willingness to pay extra money to enjoy the autonomous driving technology is not strong enough. The willingness to pay of respondents from developed countries is generally lower than that from developing countries. The personal psychological and physiological attributes, social demographic attribute, ethics, legal responsibility and vehicle safety level and related attributes, vehicle automation level and related attributes, travel-related attributes and environmental factor are several key factors influencing the public acceptance of autonomous driving. However, the quantitative analysis on the factors such as ethics and legal responsibility in existing researches is still lacking. The effects of some key factors such as gender, age and income level are still controversial, and further discussion is needed. In-depth research is needed in the aspects of sample representative analysis, refined design of questionnaire and survey, and analysis of specific mechanisms of key factors. 2 tabs, 4 figs, 97 refs.

**Key words:** intelligent transportation; autonomous driving; public acceptance; key factor; willingness to pay; survey design

**Author resumes:** TANG Li(1988- ), female, associate professor, PhD, tangli@mail.xhu.edu.cn.

**Foundation items:** National Key Research and Development Program of China (2019YFB1600100); National Natural Science Foundation of China (61973045); Key Research and Development Project of Shaanxi Province (2018ZDXM-GY-013); Scientific Research Project of the Education Department of Sichuan Province (18ZB0565)

## 0 引 言

随着人工智能、移动互联、大数据等新一代信息技术的迅速发展,以自动驾驶为主要特征的新一代智能交通系统将成为解决交通问题的突破口<sup>[1-3]</sup>。近年来,各国不断在自动驾驶的研发、测试和示范应用上加大投入,并颁布了相关法规或标准为其发展保驾护航。根据美国波士顿咨询公司的预测,从2018年起,自动驾驶将迎来至少持续20年的发展黄金期,到2035年,自动驾驶汽车将占据全球25%左右的新车市场,产业规模将达到770亿美元<sup>[4]</sup>。道路交通由传统汽车时代逐步向更为智能化的自动驾驶时代发展已是大势所趋。但是需注意到,自动驾驶的普及一方面有赖于科学技术的进步;另一方面,公众对该技术的了解程度、态度、支付意愿、使用意愿等相关接受度也能反映出人们对自动驾驶的需求<sup>[5-7]</sup>,从而可为自动驾驶技术的进步提供更加现实的发展思路和研究方向,因此,研究自动驾驶公众接

受度是技术变革过程中必要的一步。

德国联邦公路研究所、美国汽车工程师学会和美国联邦公路交通安全局先后发布了关于自动驾驶分级的推荐标准<sup>[8-10]</sup>。按照美国汽车工程师学会的定义,汽车自动驾驶可划分为L0~L5级共6个等级,其中:L0级为人工驾驶阶段,车辆完全由驾驶人控制;L1和L2级为辅助驾驶和部分自动驾驶阶段,车辆具备有限自动控制功能;L3级为条件自动驾驶阶段,车辆能够在某个特定的交通环境下实现自动驾驶,但驾驶人需要时刻保持对车辆的监督,在特殊情况下随时接管车辆;L4级为高度自动驾驶阶段,主要依靠自动驾驶系统完成行驶,对驾驶人的操控介入没有硬性要求;L5级则是完全自动驾驶阶段,由车辆完成所有驾驶操作,不再需要驾驶人的操控介入。当进入完全自动驾驶阶段时,拥有驾照不再是驾车的必要条件,由于身体缺陷现今不能驾驶车辆的人群也能独自享受驾驶出行的乐趣,传统用于驾驶或乘坐的车厢也会转变为供乘客进行更多活动

的空间<sup>[11-15]</sup>,这些关于自动驾驶美好前景的描述使公众对自动驾驶充满期待。然而,近年来发生了多起关于自动/智能辅助驾驶的交通事故,甚至有乘客和行人在事故中死亡,这些负面新闻又在一定程度上降低了公众对自动驾驶技术的信任<sup>[16-19]</sup>,因此,公众对自动驾驶的接受度问题应得到持续关注。

目前,有关自动驾驶公众接受度方面的研究成果已有一定数量的累积<sup>[20-27]</sup>。Becker等<sup>[20]</sup>在2017年针对研究自动驾驶接受度的调查进行过总结,但他们分析的关键文献较少且没有包含2017年3月以后的研究,而近3年关于自动驾驶公众接受度的研究成果还在持续增长;Gkartzonikas等<sup>[28]</sup>在2019年总结了公众对自动驾驶汽车偏好与选择意愿的研究结果,对可能会影响人们使用自动驾驶汽车的因素进行了梳理分类,并概括了人们对自动驾驶潜在效益的看法。虽然上述2篇文献已针对自动驾驶公众接受度方面的研究做了一定程度的总结,但其侧重点都是在比较和分析研究结论上。然而如何针对研究目标开展相应的问卷设计、采用了怎样的调查方式来获取受访者对自动驾驶的看法,调查数据通过怎样的处理得出了相应的结论,对这些问题尚缺乏系统综述。此外,以往研究中较少关注中国在自动驾驶接受度领域的研究成果。考虑到高等级自动化水平(L4、L5级)的汽车仍处于研发测试阶段,尚未在市场中普遍应用,而设计意向试验并开展调查几乎是了解公众接受度的唯一途径,研究方法的合理性和正确性将极大程度地影响研究结论,因此,有必要在现有基础上进一步从总结研究方法的角度系统回顾该领域研究成果。

本文全面检索了有关自动驾驶公众接受度的研究,共提取138篇相关文献;在此基础上,以研究主题相关度、研究语境中自动驾驶等级、数据来源可靠度、研究结论重要度4项指标为筛选标准,锁定了64篇关键文献进行详细分析,所有关键文献所指的自动驾驶均包含L4、L5级;通过系统梳理各研究中对公众接受度的定义和分类、数据采集和分析方法、影响接受度的关键因素等问题,探讨了造成同一研究主题下结果不一致的潜在原因,总结了现有研究存在的问题,展望了未来研究方向,为相关领域学者进一步深入研究公众对自动驾驶的接受度问题提供了思路,为自动驾驶未来普遍应用于运输市场提供了依据和参考,为政府部门、汽车制造厂商和出行服务提供商提供了决策支持,以促进自动驾驶的良性发展。

## 1 自动驾驶公众接受度的定义和分类

从心理学的角度定义,接受度是指人们对于一种情况、过程或条件表示赞成或同意的程度<sup>[29]</sup>。在有关自动驾驶公众接受度的研究中,不同学者从多种角度阐述了接受度的内涵。为了能够在各研究之间开展对比分析,本文沿用了Bearth等<sup>[30-31]</sup>提出的分类标准,将自动驾驶公众接受度分为接受自动驾驶的可能性与态度、了解与信任程度、感知与关注点、支付意愿和使用偏好5类。表1总结了关键文献中具体研究的接受度类型和研究对象,可见,大多数研究者会选择2个及以上在接受度类型作为研究目标,其中研究接受自动驾驶的可能性、态度和使用偏好等类型的最多,而有关支付意愿的研究还相对较少。

### 1.1 接受自动驾驶的可能性与态度

接受自动驾驶的可能性与态度主要指不同群体在不同情况下接受自动驾驶的可能性及对其持有的积极或消极的态度等,通常采用直接询问受访者是否愿意接受自动驾驶或通过态度量表等方式衡量。多数研究表明,公众对自动驾驶持较积极的态度。Payre等<sup>[24]</sup>于2014年调查了421名法国驾驶人,其中68.1%的受访者表示愿意接受自动驾驶;Hajjafari<sup>[79]</sup>于2018年调查了300名美国达拉斯-沃斯堡居民,有54%的受访者愿意接受自动驾驶;Nordhoff等<sup>[73]</sup>于2018年调查了全球116个国家的7755名受访者,有81.7%的受访者对自动驾驶持积极态度,同时,他们对比了各国之间的调查结果,发现低收入国家受访者的接受度更高。然而,也有少部分研究得出了相反的结论,Hudson等<sup>[33]</sup>于2015年调查了欧盟国家的1000名受访者,发现多数受访者对自动驾驶汽车持消极态度,态度量表均值仅为3.65(总分为10)。

### 1.2 了解与信任程度

了解与信任程度主要指公众对自动驾驶技术的了解程度和对其的信任程度等,通常采用量表的方式进行衡量。在了解程度方面,多数研究表明人们对自动驾驶的概念并不陌生,且对自动驾驶汽车的功能有一定程度的了解。Schoettle等<sup>[25]</sup>于2014~2015年调查了来自中国、印度和日本的1722名受访者,发现绝大多数受访者在受调查之前听说过自动驾驶,对自动驾驶的功能有一定了解,并对自动驾驶未来的应用抱有较高期望;Regan等<sup>[54]</sup>于2017年在澳大利亚开展了一项包含5263名受访者的全国性民意调查,结果显示,59%的受访者了解过自动驾

表1 关键文献研究的接受度类型和研究对象

Tab.1 Acceptance types and objects for studies of key literatures

文献 编号	接受度类型					研究对象
	接受自动驾驶的可能性与态度	了解与信任程度	感知与关注点	支付意愿	使用偏好	
[21]	√	√	√	√	√	公众(≥18岁)
[22]	√		√		√	公众(≥18岁)
[23]	√	√			√	公众(18~65岁)
[24]	√	√			√	汽车用户
[25]	√	√	√	√	√	公众(≥18岁)
[32]					√	公众(≥18岁)
[33]	√					公众
[34]	√	√				公众
[35]					√	公众
[36]	√		√	√		公众(≥18岁)
[37]				√	√	公众(≥18岁,每月至少旅游2次)
[38]	√				√	自动驾驶巴士乘客
[39]		√				公众(母语为荷兰语,拥有驾照)
[40]			√	√	√	公众(≥18岁)
[41]			√		√	汽车用户
[42]					√	公众(≥15岁)
[43]					√	公众
[44]	√				√	公众
[45]				√	√	公众(≥18岁)
[46]	√		√	√	√	公众(≥18岁)
[47]	√	√	√			公众
[48]	√				√	公众
[49]				√	√	汽车用户
[50]	√	√	√	√	√	公众
[51]			√		√	学生
[52]					√	公众
[53]	√				√	公众(20~59岁)
[54]	√	√	√	√	√	公众
[55]	√	√	√			公众(≥18岁)
[56]	√				√	汽车用户
[57]	√	√	√			公众(≥18岁)
[58]	√				√	公众
[59]	√		√		√	学生、教师
[60]			√		√	公众
[61]	√		√			公众(18~64岁)
[62]		√				公众
[63]	√					自动驾驶巴士乘客
[29]	√	√	√	√	√	公众
[64]	√	√	√			公众
[65]					√	公众
[66]					√	公众
[67]				√	√	公众(≥18岁,家庭拥车,非出租车驾驶人)
[68]	√		√	√	√	公众(休闲场所)
[69]	√					公众
[70]	√		√			成年父母(孩子年龄为0~14岁,拥有汽车)
[71]	√	√	√			驾驶人
[72]	√	√		√	√	公众
[73]	√	√	√			公众
[74]				√	√	汽车用户
[75]	√	√			√	公众(18~73岁)
[76]	√		√			公众
[77]	√	√	√			学生
[78]	√		√			公众(持有驾照)
[79]	√	√	√		√	公众(包括残疾人)
[80]			√			本科学生
[81]	√	√	√		√	公众(≥16岁)
[82]				√	√	汽车爱好者
[83]	√	√				智力障碍患者
[84]	√					公众
[85]	√	√	√			公众(听说过自动驾驶)
[86]	√		√			公众
[87]		√	√	√		公众
[88]		√	√		√	公众
[89]			√		√	汽车制造商员工

驶的功能,但很少有乘坐经验,来自不同区域的居民对自动驾驶汽车的认知程度具有较大差异,其中来自南澳大利亚和省会城市的居民相对于其他地区的居民对自动驾驶表现出更高的接受度。在公众对自动驾驶汽车的信任程度方面,Woldeamanuel 等<sup>[59]</sup>于 2017 年对比了不同年龄层样本的调查结果,发现不同年龄层的信任程度具有显著差异,年轻群体更容易信任全自动驾驶,但他们的信任也更容易受外界刺激而发生改变;Verberne 等<sup>[39]</sup>于 2015 年邀请了 111 名受访者参与驾驶模拟试验,结果表明,与乘客相似的虚拟代理驾驶会增加人们对自动驾驶汽车的信任感。

### 1.3 感知与关注点

感知与关注点主要指人们感受到的使用自动驾驶能够带来的好处、可能存在的风险以及人们在讨论自动驾驶时会主动关注的技术或社会问题。研究人员一方面通过直接询问的方式收集相应信息得出结论,另一方面也通过建立技术接受模型来研究感知与信任/使用意愿之间的关系。从感知的角度来看,多数研究表明,感知与人们对自动驾驶的信任/使用意愿显著相关。Koul 等<sup>[89]</sup>于 2018 年调查了 377 名美国汽车制造厂员工,发现感知有用性、感知易用性和使用意愿之间存在显著正相关关系;Jing 等<sup>[88]</sup>于 2018 年调查了 906 名中国受访者,发现感知风险是阻止他们使用自动驾驶的主要障碍,使公众了解自动驾驶带来的好处有望提高人们对自动驾驶的接受度。从关注点的角度来看,现有研究表明:公众对自动驾驶的关注点主要包括安全、控制模式、隐私和法律责任等,其中安全问题在许多研究中为公众关注的第一要素;不同群体对自动驾驶的安全问题担忧程度具有显著差异,年老、居住于发达国家和女性受访者对自动驾驶安全问题担忧程度显著高于年轻、居住于发展中国家和男性受访者<sup>[25,54,59]</sup>。杨洁等<sup>[50]</sup>于 2017 年访问了 238 名中国公众,受访者普遍认为具备全自动驾驶功能的车辆能有效减少交通事故数量,降低交通事故的严重性,在特殊紧急情况下能更为灵敏地做出响应,但他们也对自动驾驶系统在发生意外情况时的处理能力、交通事故责任和个人隐私等问题表示担忧。

### 1.4 支付意愿

支付意愿主要指人们为了拥有/使用自动驾驶汽车或汽车中的某项自动化功能所愿意付出的金钱,通常通过直接询问受访者愿意支付的金钱数或开展选择试验等方式来衡量。Schoettle 等<sup>[21]</sup>于

2014 年调查了美国、英国和澳大利亚的 1 533 名受访者,发现这 3 个国家中均有超过 50% 的受访者表示不愿意为自动驾驶支付额外费用;10% 的美国受访者愿意为汽车新增自动驾驶功能平均支付 5 800 美元,而同比例的英国和澳大利亚受访者则分别愿意支付 5 130、9 400 美元。然而,愿意为自动驾驶额外支付金钱的人群比例在不同的研究中有较大差异。Kyriakidis 等<sup>[36]</sup>在 2015 年调查了 109 个国家的 4 886 名受访者后发现:仅有 22% 的受访者不愿意为新增自动驾驶设备支付额外费用;人们愿意为更高的自动化水平支付更多费用,但许多人并不愿意完全放弃对汽车的控制权;男性、驾驶经验多和目前正在使用自适应巡航控制系统的受访者愿意为自动驾驶汽车支付更高的金钱。Bansal 等<sup>[40]</sup>于 2016 年调查了 347 名美国公众,结果表明:24% 和 57% 的受访者分别愿意为增加 L3 和 L4 级自动驾驶系统支付超过 5 000 美元;人们对 L4 级自动驾驶系统的平均支付意愿显著高于 L3 级。综上所述,现有研究对于人们的支付意愿及具体愿意支付的金额等方面的结论未完全统一,这主要是因为各项研究的调查地点、调查时间以及问卷设计方式不一致所致,还需要开展更多的实证研究以进一步明确公众对自动驾驶的支付意愿。

### 1.5 使用偏好

使用偏好主要指自动驾驶汽车的使用场景(城市/郊区)、车辆的自动化等级、车厢设计和车载功能、车内时间分配和车辆所有权等问题的偏好,主要通过设计并开展选择试验来研究。Bansal 等<sup>[40]</sup>于 2016 年调查了 347 名美国奥斯汀市的居民对自动驾驶车内的时间分配偏好,受访者大多选择观察窗外、阅读和交谈;对于使用场景,大部分受访者希望在高速公路或拥堵地区使用自动驾驶;收入水平高、熟悉自动化技术的男性、居住于市区和经历过交通事故的受访者更倾向于使用自动驾驶技术。Shabanpour 等<sup>[60]</sup>于 2017 年设计了选择试验,调查了 1 253 名美国公众,结果显示人们更愿意在专用道上使用自动驾驶汽车。Webb 等<sup>[65]</sup>于 2017 年访问了澳大利亚布里斯班市 275 名居民,获取了他们对共享自动驾驶汽车的使用意愿,结果显示:相对于仅使用传统私家车,超过 80% 的受访者倾向于将共享自动驾驶汽车与传统汽车结合使用,超过 50% 的受访者表示在共享自动驾驶汽车市场成熟的情况下愿意放弃购买私家车;费用对受访者出行方式选择偏好的影响最显著,其次是出行时间和交通事故经历;高收入人群、通勤

者和已婚夫妇更愿意使用共享自动驾驶汽车。

## 2 数据采集和分析方法

由于自动驾驶尚未普及,调查几乎是了解公众接受度的唯一途径,不同的调查方式和数据分析方法都可能对研究结论产生重要影响,因此,有必要对各关键文献所述的数据采集与分析方法开展专门的分析。

### 2.1 调查对象的选取

调查对象的选取通常与研究目标直接相关,同时也受制于研究的客观条件,如调查经费和人员的投入能力。关键文献中,一部分研究未具体指明调查对象的特征,仅以公众、人们、居民等词汇来称呼调查对象;另有一部分研究虽然也声明以公众为调查对象,但明确规定了受访者的年龄、对技术的认知水平、出行经验和母语等条件;还有一部分研究特别指明了调查群体(如有驾驶经验的人、残障人士等),以专门了解这部分人群对自动驾驶的接受度。基于此,本文将现有研究选取的调查对象归纳为低/无限制条件的群体和高限制条件的群体 2 类,以分别进行讨论。

(1)低/无限制条件的群体。一部分学者未明确指定调查群体的特征<sup>[29,60,69,84,88]</sup>,但仍有许多学者希望受访者具备完整的思考能力、判断能力和使用汽车的资格,以尽可能提高问卷的有效性,因此,在调查时限制了受访者年龄:Krueger 等<sup>[42]</sup>要求受访者年龄需要不小于 15 岁;Pettigrew 等<sup>[81]</sup>设置的年龄限制为不小于 16 岁;Cyganski 等<sup>[22,32]</sup>将受访者年龄限制为不小于 18 岁。还有一些研究设置了年龄上限,如 Röedel 等<sup>[23,61]</sup>将受访者年龄上限设置为 65 岁。此外,还有部分研究在限制年龄的基础上设置了附加条件。Yap 等<sup>[37]</sup>认为保持一定旅游出行强度的受访者更可能选择更加明智的出行方式,因此,要求受访者需为每月至少进行过 2 次旅游出行的成年人,研究结果表明,拥有更高旅游出行频率的人对自动驾驶的接受度更高。其他限制条件还包括拥有有效驾照<sup>[39]</sup>、家庭拥车<sup>[67]</sup>、对自动驾驶有一定认知<sup>[78]</sup>和母语为特定语言等<sup>[85]</sup>。

(2)高限制条件的群体包括有驾驶经验的人、有自动驾驶汽车乘坐经验的人、家长和残障人士等。Payre 等<sup>[24,49,56,82,89]</sup>指定了有驾驶经验的人群或汽车爱好者作为调查对象,认为这类驾驶人对自动驾驶汽车与现有传统汽车的对比感知将更强烈,研究其对于驾驶控制权及身份转变的态度具有重要价

值;Salonen 等<sup>[38,63]</sup>分别于 2015、2017 年在芬兰万塔和赫尔辛基调查了刚乘坐过当地自动驾驶巴士的乘客,获得了有自动驾驶车辆乘坐经验的人群对该技术的看法,发现乘客在乘坐自动驾驶巴士时具有较高的安全感,对自动驾驶巴士的行车速度敏感度较低,对行车路线较为敏感,乘客对自动驾驶引发事故较传统巴士更加宽容;Lee 等<sup>[70]</sup>为了研究成年人携带小孩乘坐自动驾驶汽车的意愿,于 2018 年调查了 1 001 名受访者,要求受访者正在抚养至少 1 名 0~14 岁的孩子并拥有汽车;Bennett 等<sup>[83]</sup>于 2018 年在英国调查了 177 名智力障碍受访者,发现影响智力障碍群体对自动驾驶汽车接受度的因素与正常群体具有显著区别,相对于普通群体主要受感知安全的影响,智力障碍群体更加关注自动驾驶汽车所能提供给乘客的自由空间,感知自动驾驶的易用性也显著影响该群体使用自动驾驶汽车的意愿。Hajjafari<sup>[79]</sup>在调查对象中包含了 10% 的肢体残疾人士,研究者将该条件作为变量放入影响自动驾驶接受度的模型中,结果显示肢体残疾人士与非残疾人士群体对自动驾驶的支付意愿不存在显著差异。

综上所述,尽管现在经常使用汽车的人群将是未来自动驾驶面向的主要用户群体,调查中要求受访者有驾驶经验或小汽车出行经验会使调查结果显得更有说服力,但高等级自动驾驶汽车对用户具有极大的兼容性,因此,选择一般公众作为调查对象也是合理的。此外,对于一些特殊群体,尤其是残障人士、行动不便者、有特殊出行目的的人群等的研究在实现交通公平方面有重要意义,还需要进一步细化和补充相关实证研究。

### 2.2 问卷设计

问卷设计的质量将极大程度地决定数据的有效性,表 2 中统计了关键文献中问卷的问题设置形式和数量,可见,约 76% 的研究采用了量表,近 1/2 的量表问卷设置的问题数为 20~40;量表问卷要求受访者对陈述问题进行评分或排序,对于衡量受访者心理属性具有良好的效果,但使用量表通常会带来较大的认知负担。Nordhoff 等<sup>[73]</sup>在其问卷中设置了 94 个问题,涵盖了社会人口属性、心理测评、出行相关属性等方面,虽然收集的信息较全面,但受访者的答案可能存在较大偏差。选择试验在问题数量的设置上远低于量表,但过多的选择枝、属性及属性水平的组合也会带来一定的认知负担。Lustgarten 等<sup>[58]</sup>为了研究受访者在远途探亲出行时的出行方式偏好,设置了包含全自动自动驾驶汽车在内的 4 个选择枝,要求受访

表 2 问卷问题设置形式及数量

Tab. 2 Formats and numbers of questions in questionnaires

项目	类别	频率%	数值
问题设置形式	量表	76	49
	选择试验	13	8
	开放式问题及其他	11	7
量表问卷问题数	<20	22	11
	[20,40)	48	23
	[40,60)	20	10
	[60,80)	8	4
	≥80	2	1
	最小/最大值		12/94
	平均值		34
选择试验	选择任务数(平均数/中位数)		6/6
	选项数(平均数/中位数)		4/4
	属性数(平均数/中位数)		5/6
	属性水平数(平均数/中位数)		3/3

者在超过 300 个情境下进行选择,受访者很可能会随意作答,从而难以保障问卷的有效性。由此可见,问卷问题的设置数量及方式需要综合考虑目标群体的认知负担,研究者可以采用焦点小组和试调查的形式来完善问卷设计,如 Daziano 等就在调查正式开始前进行了多轮研讨和试调查<sup>[49,69,76]</sup>。

问卷设计的内容主要包括受访者个人基本信息、有关自动驾驶技术的描述、选择情境描述、态度量表、有关心理与行为偏好测评的问题和针对研究目标的特定问题等。绝大多数研究设置了与个人基本信息相关的问题,同时,为了尽可能使受访者理解问卷内容,部分研究在问卷开头增加了对自动驾驶技术的描述,主要包括自动驾驶技术的定义、分级标准和应用现状等。杨润<sup>[29]</sup>定义了全自动驾驶,并进一步设置了相关问题来衡量公众对全自动驾驶汽车的接受度;Schoettle 等<sup>[25]</sup>介绍了自动驾驶的定义,详细阐述了自动驾驶技术的分级和各级别的应用现状,并进一步设置了用于测评态度与行为偏好的相关问题。为便于研究者了解出行相关变量对研究结果的具体影响,部分研究设计了多种假设的出行情境。Liljamo 等<sup>[61]</sup>为了研究公众在不同出行环境中对自动驾驶汽车的选择偏好,在问卷中分别设置了位于城市、农村、郊区、市中心等区域的出行起讫点,并对各出行方式赋予了不同的属性值,要求受访者在包含自动驾驶与传统出行方式的多个出行方式中做出选择;Lee 等<sup>[70]</sup>为了研究家长对自动驾驶汽车

的态度和使用意愿,在问卷中假定了仅父母自己乘坐、父母与孩子同乘以及孩子单独乘坐自动驾驶汽车等多个对比情境,要求受访者在对比情境下对不同的行为及心理陈述进行认同性评分。此外,现有研究大多对不同特征的群体使用同样的问卷,这在一定程度上忽略了群体间的异质性。由此可见,问卷内容的设计应主要取决于研究目标,同时需要考虑数据分析方法、调查对象的认知负担、调查群体间的差异化特征等问题。

### 2.3 调查方式与抽样方法

在调查地点上,关键文献涉及的调查区域主要分布于中国、美国、澳大利亚和英国等地区,近 50% 的研究在美国开展,见图 1。此外,有部分研究涉及到多个国家并识别了区域间的异质性,结果表明:人均收入及自动化技术发展程度越高的国家,其受访者对自动驾驶的接受度越低,并且对自动驾驶隐私安全问题表现出更高的关注;相对于道路交通事故率较高的国家,道路交通事故率较低的国家受访者更不愿意接受自动驾驶,其中美国的受访者对自动驾驶的整体接受度最低<sup>[21,25,33,36,44,73]</sup>。现有大部分研究多在发达国家或地区展开,来自发展中国家的实证报告还较缺乏。

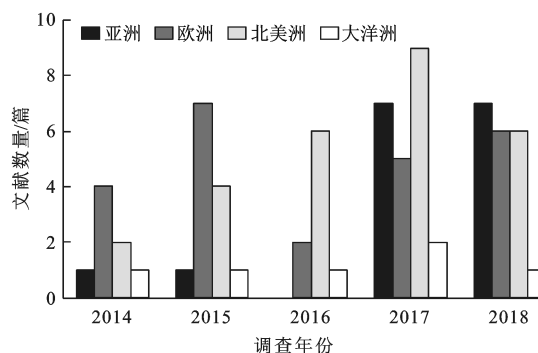


图 1 关键文献的调查时间和调查地区分布

Fig. 1 Survey times and regional distributions of key literatures

在调查方式上,绝大多数研究采用了意向调查法,个别团队采用了行为调查法结合模拟驾驶或实地乘车试验进行问卷调查<sup>[38,39,51,62,80,84]</sup>。大部分问卷通过专业网站、电子邮件和社交软件等发放,这种方法容易操作且便于收集与统计数据,但与面谈相比,在数据可靠度上容易受到质疑。Nielsen 等<sup>[48,83]</sup>认为结构化及半结构化面谈更适用于衡量人们对于自动驾驶汽车的接受度。Payre 等<sup>[24]</sup>提出将网络调查与面谈相结合,先基于网络调查收集的数据评估和调整调查方案,再进行面对面调查。

抽样方法主要包括简单随机抽样、分层随机抽

样和便利抽样等。大多数研究采用了简单随机抽样,小部分研究采用了分层随机抽样<sup>[28,81]</sup>,但在分层比例的确定上具有一定的主观性,少有研究在数据回收后将样本与目标群体结构进行对比,以衡量样本的代表性。此外,许多研究为了方便数据获取,采用了便利抽样的方法。Verberne 等<sup>[39,62,84]</sup>由于需要使用试验地的模拟设备,选择了附近的居民和学生等作为抽样框架;Xu 等<sup>[51]</sup>要求受访者到达指定地点实地乘坐试验车,因此,就近在本校学生中随机抽取了志愿者。总的来说,便利抽样是一种非概率抽样方法,尽管实施起来相对简单,但可能会造成较大的样本偏差,在讨论研究结果时需要特别指明结论适用的群体。

在样本大小上,关键文献中的样本量差异较大:有效调查人数最少的研究的样本量为 30<sup>[84]</sup>,最多为 8 862<sup>[34]</sup>,平均值约为 1 280,中位数约为 742;基于简单随机抽样的样本量均值及中位数分别约为 1 708、1 253;基于分层抽样的样本量均值和中位数分别约为 998、1 000;基于便利抽样的样本量均值和中位数分别为 280、241。可见,样本量的选取在很大程度上取决于调查对象与抽样方法,以低限制条件的群体为调查对象并采用简单随机抽样方法的研

究对样本量大小的要求明显高于其他研究。

## 2.4 模型构建与数据分析方法

现有研究几乎都采用描述性分析方法初步分析数据,还有一部分研究进一步采用因子分析、相关性分析或回归分析等量化方法验证变量间的关系及其对公众接受度影响的显著性。值得关注的是,近年来有一部分研究者建立了更先进的量化分析模型来明确影响自动驾驶公众接受度的关键因素及其作用。

常用于衡量接受度的模型主要包括 2 种:技术接受模型(Technology Acceptance Model, TAM)和整合型技术接受(Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, UTAUT)模型。TAM 和 UTAUT 模型通常整合了结构方程模型、偏最小二乘法和中介分析等方法。Davis<sup>[90]</sup>于 1989 年基于理性行为理论建立了 TAM,用于解释用户接受信息系统的决定性因素,见图 2,该模型后来被广泛应用于有关自动驾驶技术接受度的研究中。TAM 将感知有用性和感知易用性作为 2 个关键决定因素,其中感知有用性指一个人认为使用某一特定的系统能提高其工作绩效的程度,而感知易用性指一个人认为使用某一特定系统的容易程度。

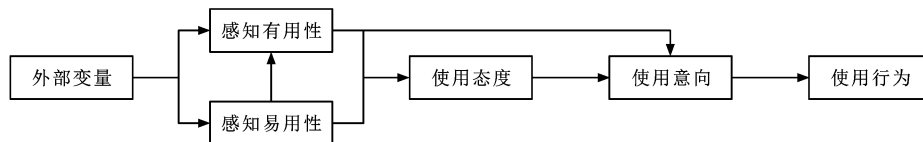


图 2 TAM 结构

Fig. 2 Structure of TAM

部分研究结合自动驾驶技术的特性,在传统 TAM 的基础上进行了优化。优化方式主要有 2 种。一种是增加模型自变量并验证其对公众接受度影响的显著性,模型中增加的自变量主要包括个人对环境的关心度、感知风险和信任等<sup>[52,68,71]</sup>。Wu 等<sup>[52]</sup>为了更有针对性地研究感知风险的影响,又将其细分为感知人身安全风险与感知隐私风险。研究显示,个人对环境的关心度、感知风险和信任对自动驾驶公众接受度影响显著,其中感知风险为消极影响,而个人对环境的关心度和信任为积极影响。另一种方式是在增加自变量的同时细化模型因变量的维度,细化的维度主要包括态度、支付意愿和使用偏好等。研究表明,信任、感知收益和感知风险与接受度各细化变量之间存在显著相关性<sup>[29,68]</sup>。Xu 等<sup>[51]</sup>研究了感知有用性、感知易用性、感知乘坐安全和信任等变量与不同等级自动驾驶汽车接受度之间的关

系,结果显示感知有用性、感知乘坐安全和信任的正向影响显著,而感知易用性的影响不显著。

Venkatesh 等<sup>[91]</sup>基于 TAM 结构和计划行为理论等,考虑了影响使用者认知的相关因素,提出了 UTAUT 模型,见图 3。该模型分为绩效期望、付出期望、社群影响和配合情况 4 个核心维度。绩效期望是指个人感觉使用系统对工作有所帮助的程度;付出期望指个人使用系统所需付出努力的多少;社群影响指个人所感受到的受周围群体的影响程度,主要包括主观规范、社会因素和对外展示的公众形象 3 个方面;配合情况则指个人所感受到组织在相关技术、设备方面对系统使用的支持程度。

一部分学者改进了 UTAUT 模型。Leicht 等<sup>[82]</sup>为了衡量创新性如何影响消费者购买自动驾驶汽车的意愿,将绩效期望、付出期望、社群影响和消费者创新性作为模型变量,将消费者创新性分为高低



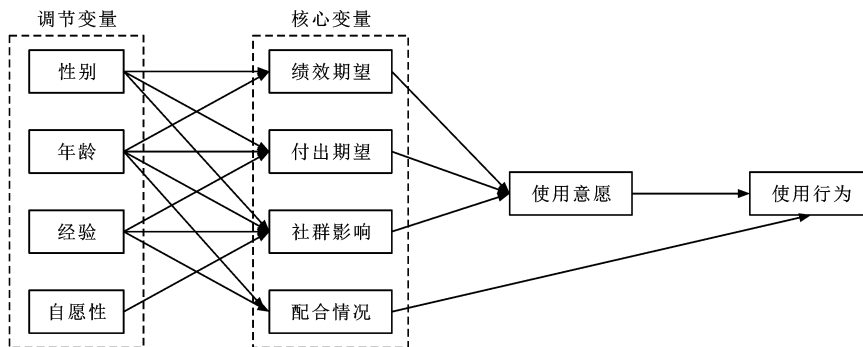


图 3 UTAUT 模型结构

Fig. 3 Structure of UTAUT model

2 类,重点讨论了消费者创新性与前三者之间的关系,结果表明,绩效期望、付出期望和社群影响与自动驾驶汽车的支付意愿正相关,消费者创新性对这 3 个因素具有正向影响,创新性越高,影响力越强;Hewitt 等<sup>[78]</sup>在 UTAUT 模型的基础上增加了态度、自我效能感知、焦虑和感知安全作为关键变量,研究结果证实了关键变量对自动驾驶汽车使用意愿影响的显著性,他们还发现公众接受度随车辆自动化等级的提升呈下降趋势。

随着研究的深入,研究人员在构建模型时考虑的影响因素越来越复杂。Deb 等<sup>[57]</sup>为了衡量过街行人对自动驾驶汽车的接受度,将行人分为违规型、知识缺乏型、过失型、侵略型和积极型 5 类,以态度、社会规范、信任、自动驾驶汽车功能有效性与兼容性作为模型的关键变量,结果表明,违规型和侵略型行人对自动驾驶表现出更高的接受度;Ro 等<sup>[53]</sup>在模型中设置了便捷性、安全性、成本、使用经济性、法律责任和决策规则等关键变量,发现便利性、安全性、法律责任、决策规则和成本对态度有直接影响,而态度对接受度有显著影响。

为了更加全面地衡量自动驾驶的公众接受度,

Nordhoff 等<sup>[26]</sup>基于 TAM 和 UTAUT 模型,提出了自动驾驶汽车接受度模型(Autonomous Vehicles Acceptance Model, AVAM),见图 4。AVAM 详细描述了可能决定用户接受度的因素,不仅包含了社会人口属性、出行相关属性、车辆自身属性及环境相关属性,还包括对技术使用的情感和情感反应等。然而,尽管 AVAM 对影响因素的考虑较全面仔细,但该模型尚属于理论探讨阶段,缺乏实证研究来验证模型的有效性和先进性。

除了 TAM 及其改良模型,部分学者也使用了离散选择模型以进一步明确人口统计学特征、技术了解程度、出行相关属性、社会因素和环境因素等对公众接受自动驾驶的影响力。Jiang 等<sup>[74]</sup>在选择试验中考虑了汽车不同的自动驾驶功能,使用混合多项 Logit 模型分析了该属性对支付意愿的影响,发现受访者愿意支付一定费用购买自动驾驶功能,相对于传统汽车,近 1/2 受访者表示更愿意选择自动驾驶汽车,同时自动驾驶汽车的停车成本、保险费用、市场分担率和上市时间会显著影响支付意愿;Cynganski 等<sup>[22]</sup>构建了多项 Probit 模型,研究了影响人们将原有的驾车时间用在自动驾驶汽车内从事

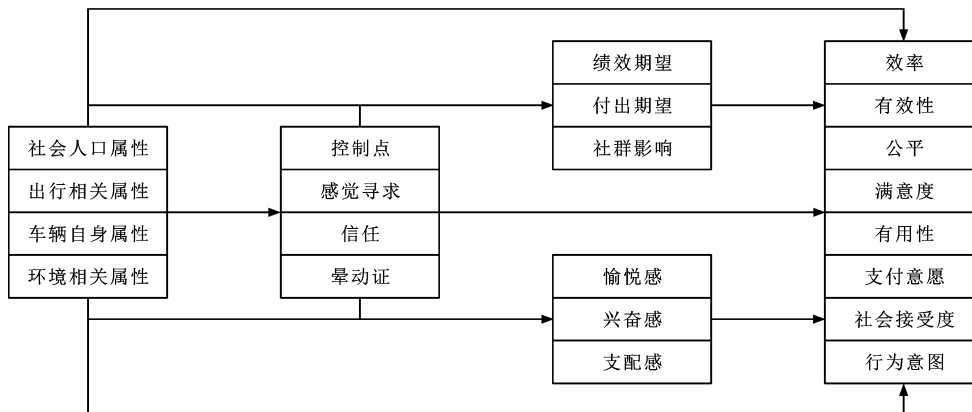


图 4 AVAM 结构

Fig. 4 Structure of AVAM

其他活动的因素,结果表明,性别、出行频率和出行中从事工作活动的频率是关键影响因素,男性、经常出行和在以往出行中从事工作活动频率更高的受访者更倾向于在未来乘坐自动驾驶汽车的过程中工作。也有学者对访谈型的数据采用定性分析法来获得相关结论。Harrow 等<sup>[76]</sup>通过在研讨会中进行分组讨论,基于纸质问卷并通过绘画、建立实物模型、制作视频及评述汇报等方式综合确定了参与者对自动驾驶的偏好。

综上所述,多数研究常使用描述性分析法,但该方法无法深入挖掘数据。TAM 及其改良模型虽然可以帮助研究人员明确影响公众接受度的关键因素,但难以给出诸如自动驾驶的价格弹性、边际效应等更精确的分析结果,因此,在未来研究中还需要引入更多更深入的量化分析手段。还需注意的是,类似多项 Logit 模型、结构方程模型等计量经济学模型通常有较强的假设条件,需要专门探讨自动驾驶背景下的交通行为研究是否与这些假设条件存在冲突,是否需要改进模型的基本假设等问题。

### 3 影响自动驾驶公众接受度的关键因素及其作用

探索影响自动驾驶公众接受度的关键因素及其作用是本领域研究的主要目的之一。明确关键影响因素一方面可为后续研究提供方向,并对试验设计和模型构建有重要的指导作用;另一方面也可为从事自动驾驶技术开发的人员提供改进技术的思路。几乎所有的现有研究都探讨了这个问题,基于以往研究的分类方式,影响自动驾驶公众接受度的关键因素主要可分为个人心理和生理属性,社会人口属性,伦理、法律责任和车辆安全水平,车辆自动化水平及相关属性,出行相关属性和环境因素 6 类。

#### 3.1 个人心理和生理属性及其影响

个人心理和生理属性主要包括感知有用性、感知易用性、感知风险、社群影响、信任、性格、情感、晕动症和身体/精神缺陷等。在感知有用性、感知易用性和感知风险方面,多数研究结果表明感知有用性和感知易用性能够较好地解释受访者为何愿意接受自动驾驶<sup>[29,51,52,55]</sup>。Wu 等<sup>[52]</sup>发现感知有用性和感知易用性均与人们使用自动驾驶电动汽车的意愿呈正相关;但 Xu 等<sup>[51]</sup>发现感知有用性为稳定且直接的影响因子,而感知易用性则表现不佳;Ward 等<sup>[55]</sup>发现感知风险会对自动驾驶公众接受度造成负面影响。此外,学者们还认为信任是产生使用意图的重要前提,与接受

度之间存在显著正相关关系,而感知有用性、感知易用性和感知风险对信任具有显著影响<sup>[55,71,72,77]</sup>。

在社群影响方面,Bansal 等<sup>[40]</sup>发现人们对于自动驾驶汽车的支付意愿显著依赖于周围的亲人、朋友和邻居等对自动驾驶的看法。在性格方面,Payre 等<sup>[24]</sup>使用量表测试了受访者的性格特征,发现具有创新精神的人更有可能使用自动驾驶,追求新奇的人可能会率先产生使用全自动驾驶汽车的愿望;许多学者的研究结果表明,那些喜欢驾驶且富有驾驶欲望的人更喜欢传统的汽车而非自动驾驶汽车<sup>[23,25,34,36,37,54,59]</sup>。在情感方面,Hohenberger 等<sup>[43]</sup>发现焦虑、愉悦等情感对人们使用自动驾驶汽车的意图具有较好的解释作用;Raue 等<sup>[47]</sup>研究了与传统驾驶相关的情感如何影响与自动驾驶相关的感知风险、感知利益、信任和接受度,发现积极的情感预示着更高的利益感知和信任,消极的情感则预示着更高的风险感知和更低的利益感知,从而影响公众对自动驾驶的接受度。值得一提的是,Sivak 等<sup>[35]</sup>发现 6%~12% 的美国成年人由于车内角色的转换(驾驶人转换为乘客)可能会在未来乘坐全自动驾驶汽车时发生晕动症,这在一定程度上会影响人们对全自动驾驶汽车的积极态度。

#### 3.2 社会人口属性及其影响

所述文献中近 3/4 的研究都考虑了社会人口属性中的相关变量,主要包括性别、年龄、职业、收入、居住地、受教育水平、家庭结构、家庭拥车水平、驾驶经验和国别等。在性别方面,许多研究发现男性比女性对自动驾驶更加感兴趣<sup>[44,54,59]</sup>,有更强的支付意愿和使用意愿<sup>[24,36,40,43,64]</sup>,也有一部分研究显示女性在这些方面有更强的意愿<sup>[23,25,55,75]</sup>,还有少量研究显示性别对公众接受度的影响无显著差异<sup>[41]</sup>,表明尚需进一步验证性别的作用。在年龄方面,部分结果显示年轻人对自动驾驶更关注<sup>[44]</sup>,支付意愿更高<sup>[40,87]</sup>,使用意愿更强<sup>[25,42,56,86]</sup>,但 Röedel 等<sup>[23]</sup>发现年纪更大的人使用自动驾驶汽车的意愿更强,而 Payre 等<sup>[24]</sup>的研究显示年龄在公众接受度和使用意愿方面无显著影响,表明年龄同样是一个需要更多实证研究来验证其影响作用的变量,同时各项研究在选择调查群体上的差异性也可能造成结果不一致。

在收入方面,Kyriakidis 等<sup>[36,40]</sup>发现收入与自动驾驶支付意愿和使用意愿之间存在正相关关系;但 Sivak 等<sup>[41]</sup>的研究显示收入对公众接受度的影响并不显著。在居住地位置方面,Schoettle 等<sup>[25,44,57,59]</sup>发现居住的地区差异对公众接受度的影响显著,住在

城区的受访者相比郊区居民更期待自动驾驶汽车的出现。在家庭结构方面, Kyriakidis 等<sup>[36]</sup>发现有孩子的家庭更愿意使用自动驾驶; Webb 等<sup>[65]</sup>发现已婚人士更有可能接受自动驾驶, 但有孩子且喜欢开车的父母则不愿意。在受教育程度和家庭拥车方面, Liljamo 等<sup>[61]</sup>发现受过高等教育和家庭不拥有汽车的受访者对自动驾驶的态度更为积极; 相反, Schoettle 等<sup>[25,40]</sup>的研究显示已经拥有汽车的车主更期待自动驾驶的到来, 并更愿意使用和购买自动驾驶汽车; Kyriakidis 等<sup>[36]</sup>的研究也发现驾驶经验越丰富的人越欢迎自动驾驶。在国别方面, Kyriakidis 等<sup>[36]</sup>调查了 109 个国家的 4 886 名受访者, 发现来自发达国家的受访者对自动驾驶的态度更消极; Schoettle 等<sup>[25]</sup>发现低收入国家受访者选择自动驾驶出租车的意愿强于高收入国家, 来自中国和印度的受访者对自动驾驶汽车的态度也比日本、美国、英国和澳大利亚更为积极, 但他们都同样关注与全自动驾驶有关的安全问题, 该结果与 Anania 等<sup>[69]</sup>的研究结果一致。

### 3.3 伦理、法律责任和车辆安全水平及其影响

伦理、法律责任和车辆安全水平主要包括自动驾驶系统的伦理决策准则、与自动驾驶汽车相关的特殊政策、自动驾驶汽车发生道路交通事故时的责任判定、车辆保险责任范围和自动驾驶系统保障乘客人身与隐私安全的水平。现有研究多侧重于定性讨论伦理和法律责任问题是否影响公众对自动驾驶技术的接受度。许多学者都认为自动驾驶汽车的法律问题将直接影响高自动化水平车辆引入各级道路的成功率, 是否具备完整与可靠的法律责任判定准则是公众能否接受自动驾驶技术的重要因素<sup>[92-97]</sup>。Adnan 等<sup>[12]</sup>认为在车辆、行人、乘客与生产商间的责任判定是否合理将直接影响消费者的接受度, 人们更愿意在自动驾驶系统决策准则和法律责任判定有利于使用者时购买自动驾驶汽车, 同时, 他们提出从保持计算机与人类之间的公平性的角度进行法律责任判定将是未来的发展方向。也有少数学者通过定量的方法衡量了伦理和法律责任与公众接受度之间的关系。Ro 等<sup>[53]</sup>建立了包含自动驾驶伦理和法律责任相关因素的技术接受模型, 主要有自动驾驶系统决策能力、未成年人的乘坐权限和驾照需求等方面, 结果表明, 伦理和法律责任等因素对公众态度有显著的正向影响, 但对使用意愿无显著影响; Shabanpour 等<sup>[60]</sup>设计了选择试验, 对乘客在交通事故中的责任和自动驾驶专用车道优先级等设定了不同等级, 并使用

离散选择模型标定相关参数, 研究结果表明, 人们对自动驾驶法律责任判定准则及相关政策表现出较高的敏感度, 在发生事故时免除驾驶人的责任以及为自动驾驶汽车提供专用车道会使人们更愿意选择使用自动驾驶汽车; Hajjafari<sup>[79]</sup>的研究结果与之相似, 发现政府的规范管理与政策倾斜将显著提高人们对自动驾驶汽车的接受度, 人们更倾向于在发生交通事故时让自动驾驶车辆或生产商承担法律责任, 同时希望系统在发生紧急交通事故时以挽救多数人生命为决策准则。此外, Schoettle 等<sup>[25]</sup>还发现当保险公司将自动驾驶汽车事故纳入保险赔偿责任范围时, 受访者对自动驾驶的接受度会显著提高。

在车辆安全水平方面, 公众对自动驾驶汽车的接受度随安全水平的提升而提高。Xu 等<sup>[51]</sup>发现车辆安全水平与受访者接受度之间有显著正向关系; Dong 等<sup>[96]</sup>发现多数受访者认为有人在车内监管运营的自动驾驶汽车具有更高的安全水平, 并更倾向于在此情况下乘坐。此外, 公众对隐私安全较为关注, 人们(尤其是发达国家的居民)非常重视乘坐自动驾驶汽车时的数据隐私, 倾向于选择拒绝分享数据隐私的自动驾驶汽车<sup>[21]</sup>, 相对愿意接受数据传输给周边车辆、车辆生产商和参与道路维护组织等的自动驾驶汽车, 而不是传输给保险公司或税务机关等<sup>[36]</sup>。

### 3.4 车辆自动化水平和相关属性及其影响

车辆的自动化水平和相关属性主要包括自动化水平、自动驾驶汽车的功能和售价等。多项研究表明, 汽车的自动化水平是影响公众接受度的关键因素, 公众的接受度随着自动化水平的提高反而会降低<sup>[21,23,25,41]</sup>, 但 Bansal 等<sup>[40,46]</sup>发现人们愿意为全自动自动驾驶汽车支付的费用显著高于部分自动驾驶汽车。在自动驾驶汽车的功能方面, König 等<sup>[44]</sup>发现人们更倾向于使用功能更加多样化的自动驾驶汽车; 而 Sivak 等<sup>[35]</sup>发现自动驾驶汽车提供的功能越多, 人们所能从事的车内活动也将增加, 这在一定程度上会导致严重的晕动症, 对人们使用自动驾驶汽车将造成消极影响。在自动驾驶汽车的售价方面, Shabanpour 等<sup>[60]</sup>发现人们对购买价格十分敏感; Bansal 等<sup>[45]</sup>发现若自动驾驶汽车的价格随年份下降 5%, 到 2045 年全自动自动驾驶汽车将占据美国道路车辆的 24.8%。

### 3.5 出行相关属性及其影响

出行相关属性主要包括出行费用、出行时间、出行距离和出行经验等。在出行费用和出行时间方面, 一些研究发现出行费用对自动驾驶公众接受度的影响显著, 但更多人是在使用自动驾驶汽车与传

统出行方式的出行费用相差不大的情况下才愿意选择自动驾驶汽车<sup>[37,42,49,53]</sup>。出行时间也对公众接受度有显著影响,人们通常认为乘坐自动驾驶汽车的出行时间应该会比使用传统出行方式更少,并愿意为之支付额外的费用<sup>[42]</sup>。Yap 等<sup>[37]</sup>设计了一项选择试验,为包含全自动驾驶汽车的多种出行方式设置了相关属性,要求受访者在“最后一公里”的情境中选择偏好的出行方式,结果表明,出行时间和出行费用显著影响受访者的出行方式选择,相对于手动驾驶的车辆,乘坐全自动驾驶汽车时人们对车内时间的敏感度要高得多,乘客甚至愿意支付一定的费用以减少车内时间。在出行距离方面,Bansal 等<sup>[40]</sup>发现出行距离并不显著影响自动驾驶汽车公众接受度。在出行经验方面,Yap 等<sup>[37]</sup>发现在火车旅行中经常乘坐一等座的乘客更愿意选择自动驾驶汽车作为“最后一公里”交通工具;Krueger 等<sup>[42]</sup>的研究表明,使用共享产品较多的用户更容易接受共享自动驾驶汽车。过去的交通事故经历可能会对受害者造成心理阴影,自动驾驶汽车的出现使他们找到了新的替代方式,因此,有事故经历的人群对自动驾驶的接受度普遍较高<sup>[36,40]</sup>。

### 3.6 环境因素及其影响

环境因素主要包括自动驾驶汽车的使用模式(私人拥有或共享)和使用场景等。在使用模式方面,Nielsen 等<sup>[48]</sup>发现相对于使用共享自动驾驶汽车,人们更愿意购买自动驾驶汽车作为私家车;而 Webb 等<sup>[65-66]</sup>的研究得出了不同的结论,发现人们在了解共享自动驾驶汽车的好处后会倾向于选择共享自动驾驶汽车;Hajjafari<sup>[79]</sup>发现人们对于共享自动驾驶汽车的选择与周围建筑环境有一定关系,提高交通可达性将对共享自动驾驶汽车的推广有着关键作用。在使用场景方面,Payre 等<sup>[24,40]</sup>发现人们更倾向于在高速和拥堵场景下使用自动驾驶,以减少驾车的疲惫;Qu 等<sup>[85]</sup>发现人们对于当地交通环境的感知会显著影响人们对于自动驾驶汽车的态度;Payre 等<sup>[24]</sup>调查了 421 名法国汽车用户,约 71% 的受访者表示愿意使用全自动驾驶汽车,而其中有 45% 的驾驶人有经常饮酒的经历,这表明驾驶人倾向于将自动驾驶汽车作为饮酒或醉酒后的交通工具。

综上所述,大部分研究都考虑了多种因素对公众接受度的影响。现有研究中,考虑最多的影响因素是社会人口属性,其次为个人心理及生理属性,而出行相关属性对公众接受度影响的有关研究还较少,这可能与自动驾驶汽车尚未在运输市场中得到

足够的应用及其出行属性难以确定有关。在伦理、法律责任与安全水平方面,研究者都认为其对公众接受度影响显著,但现有研究多以定性的方法进行讨论,缺乏定量化的实证研究。车辆自动化水平相关属性及环境因素对公众接受度的影响尚需深入研究,尤其针对未来城市交通场景下高自动化水平自动驾驶汽车功能以及相关环境配备方面需要更加精细化的设计与讨论。此外,以性别、年龄和收入水平等社会人口属性为代表的部分关键因素的影响仍然存在争议,后续研究需要重点关注并讨论。

## 4 总结与展望

(1)现有数据采集方式和量化分析方法较单一,还需拓展和丰富。现有研究受限于自动驾驶技术的应用推广现状,仅采用问卷调查收集数据,并采用单一的模型分析数据。在未来研究中,对于实现了部分自动化的汽车,可通过在车内安装监视监听等设备,采集车辆行驶过程中乘客的姿态、声音和表情等数据,并将该数据融合至 TAM 中分析乘客的接受度。同时,还可以引入功能性近红外光谱成像仪等大脑测量设备,设计精细化的自动驾驶乘坐场景,采集参与者在试验过程中的脑电波、心率和血氧浓度等数据,并与问卷调查数据进行融合来开展分析。另一方面,现有研究虽有定量讨论影响公众接受度的关键因素,但并未充分解释这些因素造成差异化影响的原因,也少有研究探讨如何改进自动驾驶技术以提高人们对自动驾驶的接受度。未来还需要进一步强化对数据的量化分析能力。在模型构建中,需要更多地考虑伦理和法律责任等方面的因素,同时应综合考虑模型复杂性与适用性的问题。

(2)调查设计的精细度(包括问卷设计和调查的具体实施方案)不足,还有待完善。问卷在问题数量的设置上应尽量考虑受访者的认知负担,只有在受访者所能承受的认知负担范围内开展调查才能获得有效的响应。可以在问卷中通过短视频等方法向他们介绍自动驾驶汽车及其应用场景,以使他们初步了解自动驾驶,进而更好地理解并完成问卷中的问题;也可在调查前与受访者进行访谈并告知这项调查设计的目的和主要内容,使其了解假设偏差的存在以及认真完成调查任务对双方的重要性,以便取得受访者对研究的认同和认真对待。此外,未来还可以在调查中预先设置分类试验,通过观测参与者对自动驾驶的反应(积极或消极)进行分类,针对不同态度的人群分别设计专门的问卷。

(3)对样本构成和样本代表性的讨论偏少,还有待加强。许多现有研究的样本规模普遍较小或样本层次模糊。在研究受访者的社会人口属性或态度对接受自动驾驶的影响时,需要足够大的样本规模才能够检测出相关属性的显著性。现有研究虽然有助于人们了解自动驾驶公众接受度的总体情况,但仍然缺乏高质量样本的实证研究。需要在明确调查对象的同时尽可能丰富调查对象的结构。同时,现有研究较少关注当自动驾驶和现有车辆混行状态下,汽车驾驶人和行人等其他交通参与者对自动驾驶持有的看法,因此,在研究汽车使用者的基础上,未来还需要研究其他交通参与者与新技术交互时的接受度和行为意愿。

(4)意向试验设计的假设偏差问题在现有研究中尚未得到关注,还需深入分析和讨论。由于现阶段大部分地区的受访者不太可能具有高等级自动驾驶汽车的乘坐经验,因此,在面对研究者设计的包含有自动驾驶选项的情境时,均是在高度假设的环境中作答,具有较大的假设偏差,但现有研究几乎未讨论这种假设偏差的潜在影响。在传统交通运输领域,常用预测行为结果与实际市场上的分担率进行比较,以检验对分担率预测的准确性。然而,目前尚缺乏对自动驾驶的市场选择数据,这在一定程度上限制了对研究结果的验证,需要在未来的研究中探索如何来验证研究结果。可以考虑引入外部有效性检验的方法,随着自动驾驶选择行为实证研究的积累,将自身研究结果与同类研究结果展开横向对比,以分析结果的有效性。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] ZHANG Tao, LI Qing, ZHANG Chang-shui, et al. Current trends in the development of intelligent unmanned autonomous systems[J]. *Frontiers of Information Technology and Electronic Engineering*, 2017, 18(1): 68-85.
- [2] LAM S, TAGHIA J, KATUPITIYA J. Evaluation of a transportation system employing autonomous vehicles[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2016, 50(8): 2266-2287.
- [3] GREENBLATT J B, SAXENA S. Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles[J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5: 860-866.
- [4] ARAKAWA T. Trial verification of human reliance on autonomous vehicles from the viewpoint of human factors[J]. *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, 2018, 14(2): 491-501.
- [5] STRÖMBERG H, PETTERSSON I, ANDERSSON J, et al. Designing for social experiences with and within autonomous vehicles—exploring methodological directions[J]. *Design Science*, 2018, 4(13): 1-29.
- [6] BAHAMONDE-BIRKE F J, KICKHÖFER B, HEINRICHS D, et al. A systemic view on autonomous vehicles policy aspects for a sustainable transportation planning[J]. *disP—The Planning Review*, 2018, 54(3): 12-25.
- [7] LUETTEL T, HIMMELSBACH M, WUENSCHKE H J. Autonomous ground vehicles—concepts and a path to the future[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2012, 100(S): 1831-1839.
- [8] CZECH P, TUROŃ K, BARCIK J. Autonomous vehicles: basic issues[J]. *Scientific Journal of Silesian University of Technology—Series Transport*, 2018, 100: 15-22.
- [9] WINNER H. Introducing autonomous driving: an overview of safety challenges and market introduction strategies[J]. *at—Automatisierungstechnik*, 2018, 66(2): 100-106.
- [10] SOUSA N, ALMEIDA A, COUTINHO-RODRIGUES J, et al. Dawn of autonomous vehicles: review and challenges ahead[J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers—Municipal Engineer*, 2018, 171(1): 1-32.
- [11] MILLARD-BALL A. Pedestrians, autonomous vehicles, and cities[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2018, 38(1): 6-12.
- [12] ADNAN N, NORDIN S M, BIN BAHRUDDIN M A, et al. How trust can drive forward the user acceptance to the technology? In-vehicle technology for autonomous vehicle[J]. *Transportation Research Part A—Policy and Practice*, 2018, 118: 819-836.
- [13] MASOUD N, JAYAKRISHNAN R. Autonomous or driver-less vehicles: implementation strategies and operational concerns[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2017, 108: 179-194.
- [14] FAVARÒ F, EURICH S, NADER N. Autonomous vehicles' disengagements: trends, triggers, and regulatory limitations[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2018, 110: 136-148.
- [15] BHAVSAR P, DAS P, PAUGH M, et al. Risk analysis of autonomous vehicles in mixed traffic streams[J]. *Transportation Research Record*, 2017(2625): 51-61.
- [16] CLAYBROOK J, KILDARE S. Autonomous vehicles: no driver no regulation[J]. *Science*, 2018, 361(6397): 36-37.
- [17] COLLINGWOOD L. Privacy implications and liability issues of autonomous vehicles[J]. *Information and Communications Technology Law*, 2017, 26(1): 32-45.
- [18] SCHOONMAKER J. Proactive privacy for a driverless age[J]. *Information and Communications Technology Law*, 2016, 25(2): 96-128.
- [19] PFLUGFELDER E H. Autonomous vehicles and gender a commentary[J]. *Transfers—Interdisciplinary Journal of Mobility Studies*, 2018, 8(1): 104-111.
- [20] BECKER F, AXHAUSEN K W. Literature review on surveys investigating the acceptance of automated vehicles[J]. *Transportation*, 2017, 44(6): 1293-1306.
- [21] SCHOETTLE B, SIVAK M. A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the U. S. , the

- U. K., and Australia[R]. Ann Arbor: The University of Michigan, 2014.
- [22] CYGANOSKI R, FRAEDRICH E, LENZ B. Travel-time valuation for automated driving a use-case-driven study[R]. Berlin: German Aerospace Center, 2014.
- [23] RÖEDEL C, STADLER S, MESCHTSCHERJAKOV A, et al. Towards autonomous cars: the effect of autonomy levels on acceptance and user experience[C]// ACM. Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. New York: ACM, 2014: 1-8.
- [24] PAYRE W, CESTAC J, DELHOMME P. Intention to use a fully automated car: attitudes and a priori acceptability[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2014, 27: 252-263.
- [25] SCHOETTLE B, SIVAK M. Public opinion about self-driving vehicles in China, India, Japan, the US, the UK, and Australia[R]. Ann Arbor: The University of Michigan, 2014.
- [26] NORDHOFF S, VAN AREM B, HAPPEE R. Conceptual model to explain, predict, and improve user acceptance of driverless podlike vehicles[J]. Transportation Research Record, 2016(2602): 60-67.
- [27] ISKANDER J, ATTIA M, SALEH K, et al. From car sickness to autonomous car sickness: a review[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2019, 62: 716-726.
- [28] GKARTZONIKAS C, GKRTZA K. What have we learned? A review of stated preference and choice studies on autonomous vehicles[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019, 98: 323-337.
- [29] 杨 润. 高度自动与完全自动驾驶汽车的公众接受度研究[D]. 天津:天津大学,2017.  
YANG Run. Study on the public acceptance of highly autonomous vehicles and fully autonomous vehicles [D]. Tianjin: Tianjin University, 2017. (in Chinese)
- [30] BEARTH A, SIEGRIST M. Are risk or benefit perceptions more important for public acceptance of innovative food technologies: a meta-analysis[J]. Trends in Food Science and Technology, 2016, 49: 14-23.
- [31] ADELL E. Acceptance of driver support systems[C]// KREMS J, PETZOLDT T, HENNING M. Proceedings of the European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems. Berlin: Humanist VCE, 2010: 475-486.
- [32] LAVIERI P S, GARIKAPATI V M, BHAT C R, et al. Modeling individual preferences for ownership and sharing of autonomous vehicle technologies [J]. Transportation Research Record, 2017, 2665: 1-10.
- [33] HUDSON J, ORVISKA M, HUNADY J. People's attitudes to autonomous vehicles[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2019, 121: 164-176.
- [34] BAZILINSKY P, KYRIAKIDIS M, DE WINTER J. An international crowdsourcing study into people's statements on fully automated driving[J]. Procedia Manufacturing, 2015, 3: 2534-2542.
- [35] SIVAK M, SCHOETTLE B. Motion sickness in self-driving vehicles[R]. Ann Arbor: The University of Michigan, 2015.
- [36] KYRIAKIDIS M, HAPPEE R, DE WINTER J C F. Public opinion on automated driving: results of an international questionnaire among 5 000 respondents[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2015, 32: 127-140.
- [37] YAP M D, CORREIA G, VAN AREM B. Valuation of travel attributes for using automated vehicles as egress transport of multimodal train trips[J]. Transportation Research Procedia, 2015, 10: 462-471.
- [38] SALONEN A O. Passenger's subjective traffic safety, in-vehicle security and emergency management in the driverless shuttle bus in Finland[J]. Transport Policy, 2018, 61: 106-110.
- [39] VERBERNE F M F, HAM J, MIDDEN C J H, et al. Trusting a virtual driver that looks, acts, and thinks like you[J]. Human Factors, 2015, 57(5): 895-909.
- [40] BANSAL P, KOCKELMAN K M, SINGH A. Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: an Austin perspective [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016, 67: 1-14.
- [41] SCHOETTLE B, SIVAK M. Motorists' preferences for different levels of vehicle automation[R]. Ann Arbor: The University of Michigan, 2016.
- [42] KRUEGER R, RASHIDI T H, ROSE J M. Preferences for shared autonomous vehicles [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016, 69: 343-355.
- [43] HOHENBERGER C, SPORRLE M, WELPE I M. How and why do men and women differ in their willingness to use automated cars? The influence of emotions across different age groups[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2016, 94: 374-385.
- [44] KÖNIG M, NEUMAYR L. Users' resistance towards radical innovations: the case of the self-driving car [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2017, 44: 42-52.
- [45] BANSAL P, KOCKELMAN K M. Forecasting Americans' long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 95: 49-63.
- [46] BANSAL P, KOCKELMAN K M. Are we ready to embrace connected and self-driving vehicles? A case study of Texans [J]. Transportation, 2018, 45(2): 641-657.
- [47] RAUE M, D'AMBROSIO L A, WARD C, et al. The influence of feelings while driving regular cars on the perception and acceptance of self-driving cars[J]. Risk Anal, 2019, 39(2): 358-374.
- [48] NIELSEN T A S, HAUSTEIN S. On sceptics and enthusiasts: what are the expectations towards self-driving cars? [J].

- Transport Policy, 2018, 66: 49-55.
- [49] DAZIANO R A, SARRIAS M, LEARD B. Are consumers willing to pay to let cars drive for them? Analyzing response to autonomous vehicles[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, 78: 150-164.
- [50] 杨 洁,沈梦洁.中国自动驾驶汽车消费市场接受度调查[J]. *长安大学学报(社会科学版)*,2017,19(6):34-42.  
YANG Jie, SHEN Meng-jie. Investigation of consumer market acceptance of automated vehicles in China[J]. *Journal of Chang'an University (Social Science Edition)*, 2017, 19(6): 34-42. (in Chinese)
- [51] XU Zhi-gang, ZHANG Kai-fan, MIN Hai-gen, et al. What drives people to accept automated vehicles? Findings from a field experiment[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 95: 320-334.
- [52] WU Jing-wen, LIAO Hua, WANG Jin-wei, et al. The role of environmental concern in the public acceptance of autonomous electric vehicles: a survey from China[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2019, 60: 37-46.
- [53] RO Y, HA Y. A factor analysis of consumer expectations for autonomous cars[J]. *Journal of Computer Information Systems*, 2019, 59(1): 52-60.
- [54] REGAN M, CUNNINGHAM M, DIXIT V, et al. Preliminary findings from the first Australian national survey of public opinion about automated and driverless vehicles[R]. Melbourne: Australian Road Research Board, 2017.
- [55] WARD C, RAUE M, LEE C, et al. Acceptance of automated driving across generations: the role of risk and benefit perception, knowledge, and trust[C]//KUROSU M. *International Conference on Human-Computer Interaction*. Berlin: Springer, 2017: 254-266.
- [56] ABRAHAM H, LEE C, BRADY S, et al. Autonomous vehicles and alternatives to driving: trust, preferences, and effects of age[C]//TRB. *Transportation Research Board 96th Annual Meeting*. Washington DC: TRB, 2017: 17-04794.
- [57] DEB S, STRAWDERMAN L, CARRUTH D W D, et al. Development and validation of a questionnaire to assess pedestrian receptivity toward fully autonomous vehicles[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, 84: 178-195.
- [58] LUSTGARTEN P, VINE S L. Public priorities and consumer preferences for selected attributes of automated vehicles[J]. *Journal of Modern Transportation*, 2018, 26(1): 72-79.
- [59] WOLDEAMANUEL M, NGUYEN D. Perceived benefits and concerns of autonomous vehicles: an exploratory study of millennials' sentiments of an emerging market[J]. *Research in Transportation Economics*, 2018, 71: 44-53.
- [60] SHABANPOUR R, GOLSHANI N, SHAMSHIRIPOUR A, et al. Eliciting preferences for adoption of fully automated vehicles using best-worst analysis[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 93: 463-478.
- [61] LILJAMO T, LIIMATAINEN H, PÖLLÄNEN M. Attitudes and concerns on automated vehicles[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2018, 59: 24-44.
- [62] NIU D F, TERKEN J, EGGEN B. Anthropomorphizing information to enhance trust in autonomous vehicles[J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries*, 2018, 28(6): 352-359.
- [63] SALONEN A O, HAAVISTO N. Towards autonomous transportation passengers' experiences, perceptions and feelings in a driverless shuttle bus in Finland[J]. *Sustainability*, 2019, 11(3): 588.
- [64] 游 峰,初鑫男.中国智能驾驶接受度调查—以广州为例[J]. *广西大学学报(自然科学版)*,2019,44(2):534-545.  
YOU Feng, CHU Xin-nan. Research on investigation of consumer market acceptance for intelligent vehicles in China: case study in Guangzhou[J]. *Journal of Guangxi University (Natural Science Edition)*, 2019, 44(2): 534-545. (in Chinese)
- [65] WEBB J, WILSON C, KULARATNE T. Will people accept shared autonomous electric vehicles a survey before and after receipt of the costs and benefits[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2019, 61: 118-135.
- [66] STOIBER T, SCHUBERTA I, HOERLER R, et al. Will consumers prefer shared and pooled-use autonomous vehicles? A stated choice experiment with Swiss households[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019, 71(S): 265-282.
- [67] BANSAL P, DAZIANO R A. Influence of choice experiment designs on eliciting preferences for autonomous vehicles[J]. *Transportation Research Procedia*, 2018, 32: 474-481.
- [68] LIU Hong-wei, YANG Run, WANG Lin, et al. Evaluating initial public acceptance of highly and fully autonomous vehicles[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2019, 35(11): 1-13.
- [69] ANANIA E C, RICE S, WALTERS N W, et al. The effects of positive and negative information on consumers' willingness to ride in a driverless vehicle[J]. *Transport Policy*, 2018, 72: 218-224.
- [70] LEE Y C, MIRMAN J H. Parents' perspectives on using autonomous vehicles to enhance children's mobility[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 96: 415-431.
- [71] ZHANG Ting-ru, TAO Da, QU Xing-da, et al. The roles of initial trust and perceived risk in public's acceptance of automated vehicles[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019, 98: 207-220.
- [72] LIU Peng, YANG Run, XU Zhi-gang. Public acceptance of fully automated driving: effects of social trust and risk/benefit perceptions[J]. *Risk Analysis*, 2018, 39 (2): 326-341.
- [73] NORDHOFF S, DE WINTER J C F, KYRIAKIDIS M, et al. Acceptance of driverless vehicles: results from a large cross-national questionnaire study[J]. *Journal of Advanced*

- Transportation, 2018, 2018: 5382192.
- [74] JIANG Ying, ZHANG Jun-yi, WANG Yin-hai, et al. Capturing ownership behavior of autonomous vehicles in Japan based on a stated preference survey and a mixed logit model with repeated choices[J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2018, 13(10): 1517-1532.
- [75] CHARNNESS N, YOON J S, SOUDERS D, et al. Predictors of attitudes toward autonomous vehicles: the roles of age, gender, prior knowledge, and personality[J]. *Frontiers in Psychology*, 2018, 9: 2589.
- [76] HARROW D, GHEERAWO R, PHILLIPS D, et al. Understanding how attitudes towards autonomous vehicles can shape the design of cities[J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers—Municipal Engineer*, 2018, 171(1): 31-40.
- [77] HEGNER S M, BELDAD A D, BRUNSWICK G J. In automatic we trust: investigating the impact of trust, control, personality characteristics, and extrinsic and intrinsic motivations on the acceptance of autonomous vehicles[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2019, 35(19): 1769-1780.
- [78] HEWITT C, POLITIS I, AMANATIDIS T, et al. Assessing public perception of self-driving cars[C]//ACM. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*. New York: ACM, 2019: 518-527.
- [79] HAJJAFARI H. Exploring the effects of socio-demographic and built environmental factors on the public adoption of shared and private autonomous vehicles. A case study of Dallas-Fort Worth metropolitan area[D]. Arlington: The University of Texas, 2018.
- [80] LEE S, RATAN R, PARK T. The voice makes the car: enhancing autonomous vehicle perceptions and adoption intention through voice agent gender and style[J]. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2019, 3(1): 20.
- [81] PETTIGREW S, DANA L M, NORMAN R. Clusters of potential autonomous vehicles users according to propensity to use individual versus shared vehicles[J]. *Transport Policy*, 2019, 76: 13-20.
- [82] LEICHT T, CHTOUROUB A, YOUSSEFC K B. Consumer innovativeness and intentioned autonomous car adoption[J]. *The Journal of High Technology Management Research*, 2018, 29(1): 1-11.
- [83] BENNETT R, VIJAYGOPALB R, KOTTASZ R. Willingness of people with mental health disabilities to travel in driverless vehicles[J]. *Journal of Transport and Health*, 2019, 12: 1-12.
- [84] DEB S, STRAWDERMAN L J, CARRUTH D W. Investigating pedestrian suggestions for external features on fully autonomous vehicles: a virtual reality experiment[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2018, 59: 135-149.
- [85] QU Wei-na, XU Jing, GE Yan, et al. Development and validation of a questionnaire to assess public receptivity toward autonomous vehicles and its relation with the traffic safety climate in China[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2019, 128: 78-86.
- [86] LIU Peng, ZHANG Ya-wen, HE Zhen. The effect of population age on the acceptable safety of self-driving vehicles[J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2019, 185: 341-347.
- [87] LIU Peng, GUO Qian-ru, REN Fei, et al. Willingness to pay for self-driving vehicles: influences of demographic and psychological factors[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019, 100: 306-317.
- [88] JING Peng, HUANG Hao, RAN Bin, et al. Exploring the factors affecting mode choice intention of autonomous vehicle based on an extended theory of planned behavior—a case study in China[J]. *Sustainability*, 2019, 11(4): 1155.
- [89] KOUL S, EYDGAHI A. Utilizing technology acceptance model (TAM) for driverless car technology adoption[J]. *Journal of Technology Management and Innovation*, 2018, 13(4): 37-46.
- [90] DAVIS F D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology[J]. *MIS Quarterly*, 1989, 13(3): 319-340.
- [91] VENKATESH V, MORRIS M G, DAVIS G B, et al. User acceptance of information technology: toward a unified view[J]. *MIS Quarter*, 2003, 27(3): 425-478.
- [92] FAGNANT D J, KOCKELMAN K. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015, 77: 167-181.
- [93] GOODALL N J. Ethical decision making during automated vehicle crashes[J]. *Transportation Research Record*, 2014 (2424): 58-65.
- [94] HASHIM H H, OMAR M Z. Towards autonomous vehicle implementation: issues and opportunities[J]. *Journal of the Society of Automotive Engineers Malaysia*, 2017, 1(2): 111-123.
- [95] JOHNSEN A, STRAND N, ANDERSSON J, et al. Literature review on the acceptance and road safety, ethical, legal, social and economic implications of automated vehicles[R]. Madrid: Institute of Empirical Sociology, 2017.
- [96] DONG Xiao-xia, DISCENNA M, GUERRA E. Transit user perceptions of driverless buses[J]. *Transportation*, 2017, 46(1): 35-50.
- [97] 吴超仲, 吴浩然, 吕能超. 人机共驾智能汽车的控制权切换与安全性综述[J]. *交通运输工程学报*, 2018, 18(6): 131-141.
- WU Chao-zhong, WU Hao-ran, LYU Neng-chao. Review of control switch and safety of human-computer driving intelligent vehicle[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2018, 18(6): 131-141. (in Chinese)