**报告正文**

# 立项依据与研究内容

## 研究背景与意义

现阶段随着人工智能的迅速发展，自动驾驶技术已经进入大众的视野中，伴随着城市化的迅速进行，城市中的人口密度也不断攀升。在将来，自动驾驶车辆有望普及，届时，自动驾驶车辆与行人会共享道路空间，据统计，全球每年大约有124万人死于交通事故，其中自动驾驶技术下的交通事故也层出不穷，如何加强自动驾驶技术的安全性，协调行人与自动驾驶汽车的道路使用权问题成为研究的重点与趋势。

近年来，许多搭载智能驾驶系统的车辆开始出现在交通环境中，这也是一种减少相关道路交通事故的解决方案。其中，车外人机交互界面(eHMI)受到较多的关注，它是行人与自动驾驶汽车在碰撞等交互场景中进行协商的一种新颖而明确的通信方式，能够为驾驶员提供额外的交互信息来弥补相关线索的缺失，增强行人与自动驾驶汽车的交互行为。然而，行人与自动驾驶汽车交涉的经验有限，可能对自动驾驶汽车通过eHMI传达的驾驶意图信息的含义缺乏全面和正确的理解，特别是在当前自动驾驶汽车和eHMI尚未成为主流的情况下。其次，行人的过街决策是一个复杂的过程，行人自身的特性是整个过街决策过程中最重要的影响因素，现有的研究方法是通过问卷调查的形式通过心理因素反映行人的过街决策过程，但是实验后的调查问卷是否有效，行人的认知决策能力是否会与问卷中的答案有所不同，这些都是有待研究的问题。通过建立基于多源数据的评价模型，利用特定的设备检测行人的生理数据，并将生理和心理数据与识别联系起来，建立认知-决策-行为模型是一种有效解决上述问题的方法。

## 国内外研究现状

**1.2.1 国内研究现状**

为了研究行人与自动驾驶汽车的交互过程，深入探索行人在自动驾驶汽车前过街的认知决策行为模型，近年来对eHMI的研究层出不穷。江志奇[1]从实车改装的角度出发结合相关要素研究现状，进行了eHMI显示载体和eHMI显示内容的设计，将行人视敏度极限和符号的动态属性加入进设计考量中,提出了eHMI内容设计的新要点。蒋倩妮等人[2]结合行人过街决策过程和情境意识理论，提出行人与自动驾驶汽车交互中的动态过街决策模型，从行人认知加工视角评估各种界面的沟通效果。王玥[3]探究了非自动驾驶汽车驾驶员与自动驾驶汽车在复杂交互场景下，通过eHMI进行车辆交互的有效沟通方式。通过实地观测，在虚拟平台搭建路口无保护左转驾驶场景，在无保护左转交互过程中为自动驾驶汽车增加eHMI信息，通过驾驶模拟实验测试不同eHMI呈现内容和文字颜色对驾驶员的决策行为的影响。吕伟等人[4]从行人-汽车-环境系统视角出发，探索道路交通系统中行人安全设施、自动驾驶汽车让行行为、驶近方向以及外部人机界面(eHMI)等因素对行人与自动驾驶汽车交互过程的影响。张然[5]在无信号路段，考虑eHMI，探索单个行人与单个自动驾驶汽车安全且高效的交互模式，设计了8种呈现信息的eHMI原型，利用E-prime编制实验程序，利用Unity 3D构建了42个动态交互情景，利用E-prime编制实验程序开展视频实验，探究无信号路段下自动驾驶汽车保守程度对行人决策的影响。陈子昂等人[6]研究提出考虑eHMI的行人过街行为决策模型，将行人过街决策过程分为三个阶段并总结出车辆行为线索和eHMI线索作用过程的决定性变化曲线及行人与自动驾驶汽车交互流程与关键性节点。吴天翔等人[7]针对智能车车外屏的人机界面设计理论进行研究，对智能汽车车外人机界面的信息架构及界面设计进行了探讨和实践。利用Arduino单片机、LED显示屏等硬件及相关软件进行了显示媒介的规划和硬件方面的设计实现。黎兰平等人[8]从文献研究出发，分析了一系列概念车的车外人机交互界面设计,并从中总结了汽车车外人机交互界面设计要素，通过车外人机交互界面设计实践与评估、语料分析等方法，总结了汽车车外人机交互界面的设计要点。

**1.2.2国外研究现状**

Bindschädel Janina等人[9]建立了一个更真实的实验装置，它允许行人在模拟的AV接近时开始通过路口，实验者与一个模拟的AV进行交互，并不得不推断其意图，在完全析因设计中,探索了3种不同的通信线索的影响。Song Yuanming等人[10]开发了一个新的eHMI概念,旨在通过显示预测的实时风险水平来支持行人的风险评估。并在虚拟现实环境中测量了行人在同一车道遇到该eHMI和手动驾驶车辆(MV)的AV时的过街行为。Horn Stefanie等人[11]研究了行人对AV的运动模式和外部人机界面(eHMIs)的反应。统计分析显示，eHMI的存在对行人的过街决策和减速感知没有影响，但在FLB和PLB设计的可见性方面存在显著差异。两种eHMI解决方案总体上都得到了好评，参与者提供了感知安全性的高评级，以及围绕AV的信心。Lim Dokshin等人[12]提出一个具体的用例，使未来AV的eHMI在其他道路使用者(ORU)的安全中发挥不可或缺的作用。从能见度有限的驾驶员角度出发，测试了乱穿马路的人驶入道路时eHMI的影响。在eHMI上呈现了颜色、形状和信息级别的组合。结果表明，在一个乱穿马路的人和一个司机都缺乏可见性的死锁场景中，与没有eHMI时相比，显著减少了反应时间。Fratini Elena等人[13] 根据复杂程度对不同的交叉场景进行排序，这些因素已经被证明会增加穿越任务的难度和风险，然后在一个基于运动的虚拟现实环境中测试了这些场景，结果表明，一些过街场景对行人的征税比其他场景更多。Shah Ali Hassan等人[14]研究了在高速公路盲区检测场景中，距离和亮度对比的变化及其对人类驾驶行为和可接受性的影响，结果表明，自车驾驶人偏好5 ~ 10 m的投影距离。Guo Fu等人[15]进行了一项基于视频的眼动追踪研究,以探讨行人如何以不同的模式和地点对eHMI进行AV反应。结果表明，基于文本、图标和箭头的eHMIs决策时间最短，清晰度评分最高，视觉注意力集中。基于光条的eHMI没有显著减少决策时间，但注视时间更长，表明在没有学习的情况下难以理解其含义。Hensch Ann Christin等人[16]研究关注多个eHMI故障对参与者对系统评估的影响同时研究年龄效应，结果显示，与系统的初始评估相比，与有效的系统交互会产生积极影响，该系统对车辆的运动起到一致的作用。此外，老年参与者在所有情况下对eHMI的评估都比年轻参与者更积极。研究结果表明，除了在遭遇过程中提供的eHMI信号外，参与者还将车辆的运动视为隐含的通信线索。Lee Yee Mun等人[17]使用现有的、公认的让步信息（闪光前照灯-FH）作为基准，调查了一种新型eHMI（慢脉冲光带-SPB）的学习速度。为了研究eHMI可见性对交叉决策的影响，还测量了每个eHMI可感知的距离。结果表明，与SPLB相比，FH在车辆减速过程中会提前通过，尤其是在较低的接近速度和较小的时间间隔下。因此，如果AV要提供安全、可信的通信信息，这将提高交通流量和效率，那么理解、长期接触和熟悉新信息在这种情况下的作用是重要的。Ezzati Amini Roja[18]等人研究了自动驾驶系统与作为最脆弱道路使用者群体之一的行人的相互作用，研究表明与通信环境、行人特性和现有通信方法有关的广泛因素已被发现在行人的决策过程中具有重要意义。Papakostopoulos Vassilis[19]等人创建了一个交通冲突场景,两个相互对立的车辆被指示在四通路口执行左转，同时在同一时间点。40名参加者被分配到两个小组中，一个是有eHMI的AV,另一个是没有eHMI的AV。研究结果表明，在AV上存在eHMI可以加速驾驶员对某个AV屈服意图的推断，并具有在歧义交通情境下优化AV-驾驶员交互的潜力。Wilbrink Marc[20]等人考虑了主观和客观测量，考察了配备静态(仅显示当前车辆自动化状态)和动态(传达车辆的感知和意图)eHMI的AVs对与行人交互的潜在积极和消极影响。结果表明，与没有任何电子人机界面的非自动车辆相比，静态电子人机界面对行人的过街决策和行为没有影响。然而，与具有静态eHMI或非自动化车辆的AV相比，参与者在与具有动态eHMI的AV交互时，通过更早地做出过街决定和更高的决策确定性，从动态eHMI中受益。Faas Stefanie M.[21]等人考察了显示自动驾驶模式(a.无eHMIvs.b.有eHMI)的外部人机界面(eHMI)是否影响行人对不同驾驶员状态的反应，并在每次试验结束后评估了知觉到的安全性和过境时间。研究发现，在没有eHMI的情况下，当挡风玻璃被涂刷或驾驶员注意力分散时，行人的安全感受明显低于专注驾驶员。在eHMI环境下，行人对驾驶员状态的感知安全性没有差异。Ferenchak Nicholas[22]等人采用Likert量表测量被试对eHMIs的感知，并用有序logistic回归对结果进行分析。我们还统计了参与者的性别和陈述的AVs兴趣，对这一研究领域的新颖贡献，发现eHMI的存在可以改善被试对AVs的感知。这项研究支持制定标准、统一的AV-行人通信策略，并加强人类与AV之间的联系。

## 综合评述

目前，国内外关于车外人机交互界面（eHMI）的研究主要聚焦于单个行人与单个车辆，或单个行人与多个车辆等，同时穿插了不同的eHMI设计，不同的测量行人对于eHMI风险认知的方法。相比于现有的研究，以人群为对象以及在多个车辆的环境下的复杂性较大，未知因素更多，故仅考虑在个体数量较少的实验下的eHMI的应用效果并不能直接反应其优劣性，同时，现有的研究中，大多数实验采用问卷调查形式对被试者关于eHMI的认知决策行为能力数据进行收集分析，这种方式存在一定程度上的主观性，且数据的真实性也有待考量，因此，如何将复杂的环境应用在实验中使得实验结果更加真实，以及如何真实的反应出行人在遇到eHMI的心理变化，同时又保证这些心理数据有据可依是目前研究的关键之处：

1. 人的注意力分配机制

在现实生活中，“中国式”过马路行为屡见不鲜，可见在行人过街的过程中，人对人产生的影响也是一个重要的方面。在设计行人过街时的认知决策行为实验时，人的注意力分配机制是一个重要的研究点，行人在过街时不仅受到车辆的影响，还会受到同行或对侧行人的决策行为的影响，故在设计实验时应将行人的因素考虑其中。具体而言，实验对象可以设置为每组三人来代表一个人群，通过不同的组合模拟同行人群以及对侧人群对行人过街时的认知、决策所产生的影响，这样的实验设置具有真实性。

1. 心理数据与生理数据结合

基于现有的研究中，通过已有文献和较为成熟的量表设计的一系列调查问卷测量被试者关于过街行为的认知决策行为风险感知，并结合统计学相关知识对调查结果所获得的一系列数据进行聚类拟合，这样获得的结果尽管具有一定的代表性，但被试者的主观性对结果的影响较强。因此，需要将生理数据与心理数据结合进行分析，利用监测人体生理数据的相关设施，从人体的脑电、眼动着手进行实验，通过检测行人在过街时眼睛首次关注迎面行驶来的车辆的时间、眼神停留在车辆上的时间以及眼神注视行驶车辆的次数等相关行为数据，并结合脑电的变化推测行人在过街时的压力变化情况。除了这些最直接的检测数据外，通过行人过街时的步态变化情况也可间接反映出行人关于过街行为风险认知的变化情况，这一数据可通过实时检测行人的人体骨骼关键点的方式，通过利用关键点坐标可以计算出行人过街的速度变化，从而间接反映出行人的压力变化情况。

1. 现场实验与VR虚拟实验相结合

从现有的研究结果来看，通过VR虚拟现实技术搭建相关的实验平台进行模拟实验相比现场实验更具实用性和安全性，现场实验相较于VR虚拟实验更具真实性和代表性，通过现场实验向行人演示eHMI的工作过程，以获取行人对eHMI的信任度和了解情况，此数据可以作为整个实验的基础进行比对；通过VR实验模拟行人过街的决策认知行为的整个过程，并通过虚拟实验获取被试者的生理数据，在现场试验和虚拟实验之后，再次通过调查问卷的方式对行人过街行为的风险认知进行调查，最后将监测到的生理数据、心理数据与调查问卷中获取的数据进行融合分析，评估在自动驾驶车辆eHMI影响下行人群体过街认知-决策-行为的风险认知情况。

# 参考文献

[1]江志奇. 自动驾驶车辆与行人交互中的eHMI设计研究[D].华南理工大学,2023.

[2]蒋倩妮,庄想灵,马国杰.自动驾驶汽车与行人交互中的沟通界面设计：基于行人过街决策模型的评估[J].心理科学进展,2021,29(11):1979-1992.

[3]王玥. 基于无保护左转的自动驾驶汽车外显交互界面对驾驶行为的影响研究[D].北京建筑大学,2023.

[4]吕伟,郭伏,刘莉等.行人与自动驾驶汽车的交互研究[J].中国机械工程,2023,34(05):515-523.

[5]张然. 无信号路段考虑外显界面的行人与自动驾驶汽车交互研究[D].北京建筑大学,2023.

[6]陈子昂,徐娟芳,刘征.考虑eHMI的行人过街行为研究与决策模型构建[J].包装工程,10[2023-11-07].

[7]吴天翔,王建民,蔡泽佳.车外照明系统交互设计[J].照明工程学报,2023,34(02):

[8]黎兰平,郭修远.自动驾驶汽车车外人机交互界面设计研究[J].包装工程,2020,41(02):57-64.

[9]Janina B ,Pauline W ,Andrea K .Using eHMI, acoustic signal, and pitch motion to communicate the intention of automated vehicles to pedestrians: A Wizard of Oz study[J].Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour,2023,97

[10]Yuanming S ,Qianni J ,Wenxiang C , et al.Pedestrians’ road-crossing behavior towards eHMI-equipped autonomous vehicles driving in segregated and mixed traffic conditions[J].Accident Analysis and Prevention,2023,188

[11]Stefanie H ,Ruth M ,Mun Y L , et al.Pedestrians’ perceptions of automated vehicle movements and light-based eHMIs in real world conditions: A test track study[J].Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour,2023,95

[12]Dokshin L ,Yongwhee K .How to Design the eHMI of AVs for Urgent Warning to Other Drivers with Limited Visibility?[J].Sensors (Basel, Switzerland),2023,23(7):

[13]Elena F ,Ruth W ,Pete T .Ranking Crossing Scenario Complexity for eHMIs Testing: A Virtual Reality Study[J].Multimodal Technologies and Interaction,2023,7(2):

[14]Hassan A S ,Xiaodong S ,Yandan L .Study the Effect of eHMI Projection Distance and Contrast on People Acceptance in Blind-Spot Detection Scenario[J].Applied Sciences,2022,12(13):

[15]Fu G ,Wei L ,Zenggen R , et al.A Video-Based, Eye-Tracking Study to Investigate the Effect of eHMI Modalities and Locations on Pedestrian–Automated Vehicle Interaction[J].Sustainability,2022,14(9):

[16]Christin A H ,Isabel K ,Matthias B , et al.The Effect of eHMI Malfunctions on Younger and Elderly Pedestrians’ Trust and Acceptance of Automated Vehicle Communication Signals#13;[J].Frontiers in Psychology,2022,13

[17]Mun Y L ,Ruth M ,Chinebuli U , et al.Learning to interpret novel eHMI: The effect of vehicle kinematics and eHMI familiarity on pedestrian’ crossing behavior[J].Journal of Safety Research,2022,80

[18]Roja A E ,Christos K ,Andreas R , et al.Interaction of automated driving systems with pedestrians: challenges, current solutions, and recommendations for eHMIs[J].Transport Reviews,2021,41(6):

[19]Vassilis P ,Dimitris N ,Evangelia P , et al.Effect of external HMI for automated vehicles (AVs) on drivers’ ability to infer the AV motion intention: A field experiment[J].Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour,2021,82

[20]Marc W ,Merle L ,Johannes I , et al.Impact of External Human–Machine Interface Communication Strategies of Automated Vehicles on Pedestrians’ Crossing Decisions and Behaviors in an Urban Environment[J].Sustainability,2021,13(15):

[21]M. S F ,Vanessa S ,Martin B .Self-Driving Vehicles and Pedestrian Interaction: Does an External Human-Machine Interface Mitigate the Threat of a Tinted Windshield or a Distracted Driver?[J].International Journal of Human–Computer Interaction,2021,37(14):

[22]Nicholas F ,Sheheryar S .Pedestrians' Perceptions of Autonomous Vehicle External Human-Machine Interfaces[J].ASME J. Risk Uncertainty Part B,2021,

# 项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题

## 2.1 研究目标

本项目主要针对具有eHMI的自动驾驶车辆的影响下行人过街行为的认知决策行为认知风险进行研究，以探索未来自动驾驶汽车的eHMI设计：（1）挖掘在人群过街时人对人的注意力分配机制产生影响的前提下，行人在面对具有eHMI的自动驾驶车辆时的过街行为风险认知情况；（2）通过结合生理数据与心理数据的方法更直观全面的展现行人过街时的心理状态变化情况；（3）利用现场试验和VR实验相结合的方式，综合利用两种实验方式的优势进行研究，基于已有的监测、识别设计完成对行人过街认知决策行为的实时检测，并结合问卷调查的方式将采集到的生理数据、心理数据进行融合分析，从而验证eHMI在未来自动驾驶中发挥的作用。

## 2.2 研究内容

基于上文中的研究目标以及对现有的研究的总结，本项目的研究内容可分为：“行人对自动驾驶汽车以及eHMI的认识了解研究”—>“”—>（具体实验过程）