

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2025.03.004

城市空中交通公众接受度研究

常鑫^{1,2}, 廖语嫣^{1,2}, 汪林^{3,4}, 汤新民^{1,2}, 胡松^{*3,4}

1. 中国民航大学 交通科学与工程学院, 天津 300300;
2. 天津市城市空中交通系统技术与装备重点实验室, 天津 300300;
3. 车路一体智能交通全国重点实验室, 北京 100088;
4. 交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要:【目标】为探究城市空中交通的公众接受度评估方法及其影响因素,为城市空中交通发展利益相关方提供指导,全面梳理并总结了城市空中交通公众接受度领域相关研究现状。【方法】首先,从了解程度、信任度、治理期望及对城市空中交通新技术追求4个方面定义并阐释了接受度的内涵。然后,围绕接受度调查方法,从调查对象选取、问卷设计与数据分析、理论框架与模型构建3方面展开,总结已有文献关于公众接受度的调查数据收集与分析方法。最后,以问题为导向,以需求为牵引,从城市空中交通关键技术发展、出行特性、社会人口属性及政策支持等方面分析了公众接受度影响因素,并探讨这些影响因素对公众接受度的作用机理。【结论】可靠的适航安全性能、严密的隐私保护能力、可控的事故风险率、可持续的清洁能源推广、短暂的出行时间、高性价比的支付价格及良好的可达性将大幅提高公众接受度水平。年轻、受教育程度高且高收入的男性及高出行需求的群体一般具有较高的接受度意愿。此外,如何保障城市低空航空器安全运行,完善配套保障设施,改善交通设施的连通性及退役电池的再利用等仍为当今尚未攻克的难题。研究结果可为城市空中交通相关利益方决策提供依据,为争取引导公众理解、信任与支持及推动城市空中交通可持续发展提供参考。

关键词: 智能交通; 城市空中交通; 综述; 公众接受度; 出行特性

中图分类号: U121

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2025) 03-0034-11

Review on public acceptance of urban air mobility

CHANG Xin^{1,2}, LIAO Yuyan^{1,2}, WANG Lin^{3,4}, TANG Xinmin^{1,2}, HU Song^{*3,4}

1. School of Transportation Science and Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;
2. Key Laboratory of Technology and Equipment of Tianjin Urban Air Transportation System, Tianjin 300300, China;
3. State Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Beijing 100088, China;
4. Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: [Objective] To provide the guidance for stakeholders in the urban air mobility development, this paper comprehensively reviews and summarizes the relevant research on the public acceptance of urban air mobility and its influencing factors. [Method] First, the connotation of acceptance was defined and explained from 4 aspects, i. e., understanding, trust, governance expectations, and pursuit of novel urban air

收稿日期: 2024-09-12 修改日期: 2025-01-23

基金项目: 车路一体智能交通全国重点实验室自主研究项目(2024-Z007); 天津市教委科研项目(2024KJ094)

作者简介: 常鑫(1991-), 男, 河南南阳人, 博士, 研究方向为智能交通系统、低空交通运行。(xchang@cauc.edu.cn)

* 通讯作者: 胡松(1992-), 男, 河北邢台人, 博士, 研究方向为智能交通与数据挖掘、交通行为建模。(s.hu@rioh.cn)

引用格式: 常鑫, 廖语嫣, 汪林, 等. 城市空中交通公众接受度研究 [J]. 公路交通科技, 2025, 42 (3): 34-44. CHANG Xin, LIAO Yuyan, WANG Lin, et al. Review on public acceptance of urban air mobility [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2025, 42 (3): 34-44.

© The Author(s) 2025. This is an open access article under the CC-BY 4.0 License. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

mobility technologies. Then, the paper summarized the existing literatures on collection and analysis methods for public acceptance survey data by focusing on the acceptance survey method. It was carried out from 3 aspects, i. e., survey subject selection, questionnaire design and data analysis, and theoretical framework and model construction. Finally, the analysis was problem-oriented and demand-driven. It analyzed the influencing factors of public acceptance from the aspects, e. g., urban air mobility key technology development, travel characteristics, social demographic attributes, and policy support. The mechanism of these influencing factors on public acceptance was discussed. [**Conclusion**] The public acceptance level will be greatly improved by the reliable safety performance, strict privacy protection capabilities, controllable accident occurrence risk rate, sustainable use of clean energy, short travel time, high cost-effective payment prices, and good accessibility. Moreover, young, highly educated, and high-income males, as well as groups with high travel demand, have higher willingness to accept. In addition, how to ensure the urban low-altitude aircraft safe operation, perfect the supporting facilities, improve the connectivity of transportation facilities, and improve the re-use of retired batteries are still the unresolved challenges currently. The study findings can provide the basis for stakeholders' decision-making in urban air mobility, and provide the reference for guiding public understanding, trust, and support, as well as promoting the sustainable development of urban air mobility.

Key words: intelligent transport; urban air mobility; review; public acceptance; travel characteristics

0 引言

城市空中交通 (Urban Air Mobility, UAM) 成为当前交通运输研究领域的热门话题^[1]。作为新时代交通运输模式重要组成部分, UAM 受到全球多家领先企业的青睐。UAM 的引入将带来更安全、更可靠、更环保的替代方案, 有望缓解城市交通网络的拥堵问题^[2]。以螺旋桨为动力的电动垂直起降飞行器 (eVTOL) 代表了 UAM 飞行器的未来发展方向, 是解决城市拥堵问题的极佳方案^[3]。然而, UAM 的成功应用除了依赖于技术发展, 还需要考虑社会公众的接受态度^[4]。利用 Elsevier SD 网站对从 2001 年起的有关城市空中交通接受度文献发表量进行统计, 如图 1 所示。由图可知, 自 2018 年后, 在全球范围内涌现出大量对该领域的研究。公众接受度对于技术的进一步推广和应用具有重要意义, 为了早日实现更便捷的出行方案, 各利益相关者之间的协作及技术的整合至关重要, 而针对 UAM 接受度的研究是整个城市低空交通运输研究体系中不可或缺的重要环节。

有关 UAM 公众接受度方面的研究已有一定数量的成果积累。欧洲航空安全局 (EASA) 比较系统地调查了公众对 eVTOL 市场化的态度, 结果显示, 公众在考虑 eVTOL 作为 UAM 载运工具时特别关注航空器适航安全性和噪音问题^[4]。以往研究主要从市场发展前景的角度出发, 较少关注治理期望、可达

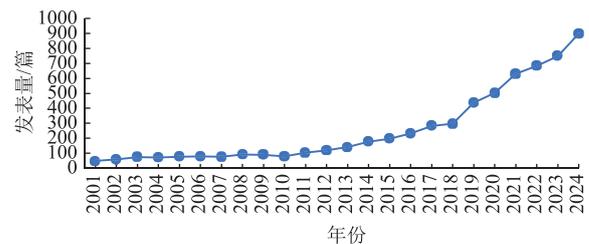


图 1 城市空中交通接受度文献发表量

Fig. 1 Published literature quantity for urban air mobility acceptance

性、出行目的等因素对接受度的影响。为了更深入探讨 UAM 公众接受度研究现状、趋势及影响因素, 本研究系统回顾了 UAM 当前研究热点, 从公众对 UAM 的了解程度、信任度、治理期望及新技术追求 4 个方面定义并阐释了接受度的内涵。随后, 围绕接受度研究调查方法, 从调查对象选取与问卷发放、数据收集与分析、问卷设计及分析理论框架与模型建立等纬度, 总结已有研究方法。最后, 以问题为导向, 需求为牵引, 从 UAM 关键技术分析、居民出行特性、社会人口属性及政策支持等方面总结公众接受度影响因素, 并进一步结合技术发展现状指出当前研究的不足及发展趋势, 为未来 UAM 实现商业化落地提供参考依据。

1 城市空中交通接受度的概念界定

概念理解是科学和物理教育研究的主要主题之一^[5]。对接受度影响因素的概念界定将直接影响接

受度测量指标体系的构建。尽管 UAM 好处无限,但被社会广泛接受的挑战依然存在^[6]。已有研究对公众接受度的考量方式为:通过设置特定场景,分别从时间、成本、距离、交通拥堵情况、安全保障、隐私和噪音等方面与其他出行方式对比来探究公众的接受度^[4,7]。本节归纳已有研究对 UAM 接受度的概念界定,并从了解程度、风险感知、信任度、治理期望、对新技术的期望及社会人口属性及个性偏好分类等方面进行阐释。

1.1 公众对 UAM 的了解程度

Karimi 等^[8]发现决定个人踏上 UAM 之旅的一个重要因素是其对 UAM 的熟悉程度。已有研究主要采取 2 种方式来调查公众的了解程度:(1) 受访者是否听说过 UAM,从宏观上调查受访者对 UAM 整个服务体系的主观了解。(2) 就基础设施、法规等某一具体内容询问公众的了解程度,聚焦于受访者对 UAM 的某个具体方向的客观了解。

1.2 公众对 UAM 的风险感知

安全是影响 UAM 市场化应用最重要的因素^[9]。个人风险感知可以被确定为人类行为的关键先因^[10]。用户对使用 UAM 所带来风险的主观判断,在极大程度上影响了用户的接受度。这些风险可被归类为航空器适航安全、天气的不确定性及紧急情况下的避险方案等^[11]。

1.3 公众对 UAM 的信任度

信任在科学理解与风险沟通领域占据着举足轻重的地位。与感知有用性相比,信任对 UAM 接受度的影响更大,其中,安全、安保和道德问题是影响信任度的决定性因素^[12]。已有研究主要关注 2 类信任:一是对 UAM 的载运工具设计或运行技术的信任,二是对 UAM 监管和政策制订机构的信任。第 2 类信任归根结底是一种制度信任。

1.4 公众对 UAM 的治理期望

在 UAM 领域实施适当的治理以满足公众的治理期望对促进公众接受度有正向作用。在治理期望领域有 3 个方面的内涵。(1) 治理力度。询问受访者是否赞同对 UAM 实施强化管理,以及这种管理的力度应达到何种程度;通常关于政策引领机制、技术驱动机制、场景驱动机制及金融支持机制对 UAM 的治理力度。(2) 治理主体。调查在 UAM 的治理过程中谁应当扮演主要的责任承担者,一般包括无人机的技术和服务提供商、科研机构、咨询公司、金融组织、投资者等。西班牙马德里的一项研究结果表明,公众相对于行业代理,更加倾向于信任能让他

们的自身利益得到保障的政府^[13]。(3) 治理内容通常从市场环境、政策环境、技术环境和社会环境展开,目的是确定用户们对 UAM 监管策略应当聚焦的领域,如时间、成本、距离和安全等。

1.5 公众对 UAM 新技术的追求

(1) 技术刺激

部分技术爱好者受到 UAM 集管理模式智能化、数字化、自主化及协同化等技术于一体的高尖端技术刺激而选择接受其作为一种新兴交通方式。这一群体的早期选择对于提高公众对 UAM 接受度具有积极影响^[13]。据统计,截至 2023 年底,中国国内实名认证的无人驾驶航空器数量已达到 126.7 万架,比 2022 年增长了 32.2%,同时持有无人机操控员执照的人数也达到了 19.4 万人。

(2) 绿色与环保

越来越多的企业和消费者注意到环境保护和可持续发展对推行新技术的重要性^[14]。而空中出租车为公共交通部门提供了本地的无排放运输选择和基础设施保护解决方案^[15]。绿色与环保这一议题可从多维度进行考究:UAM 所使用的能源类型,如电力推进;由于噪音污染对城市居民的生活质量有着直接的影响,UAM 的噪音水平也是评估环保性能的重要指标之一。

(3) 支付意愿

支付意愿直接反映了公众对于新型交通方式的价值认知和经济承受能力,进而影响其接受度和市场潜力。诸多因素影响了支付意愿:(1) 公众对 UAM 的认知水平,这体现出调查公众对 UAM 了解程度的重要性;(2) 经济因素,虽然 UAM 服务很快将推出第一批使用,但仍然不确定用户负担得起的价格点^[16];(3) 政策环境和市场竞争,近年来,中国政府出台一系列鼓励低空产业发展的政策措施,如中国民用航空局发布的《国家空域基础分类方法》等,很大程度上增强了市场期望和公众使用的信心。

(4) 出行驾乘体验

对积极情感态度、愉悦感和有趣的驾乘体验需求是人们生活质量显著提高而应运而生的产物。UAM 在出行时间上为用户带来良好的驾乘体验,相关数据表明,空中出租车运营可以减少部分通勤交通到市中心的旅行时间,并且缓解地面交通拥堵程度高达 25%^[17]。相比于其他城市出行交通服务,UAM 在货运领域、消防、急救服务等领域也能提供更高效、更安全的解决方案。

1.6 社会人口属性与个性偏好

Straubinger 等^[18]研究表明,社会人口属性包括收入、年龄和家庭成分等,是显著影响模式选择的因素。在一项欧洲 UAM 可持续发展研究中,将收入作为一项重要的社会群体分类指标,其余如年龄、性别、教育水平、受教育程度及居住地的交通状况等作为不同群体的显著特征^[19]。

2 数据分析与问卷设计

在调查公众对 UAM 接受度的研究中,研究者常采用分发调查问卷的方式进行数据收集,但鲜有研究对该调查方式、方法进行系统的回顾与总结。本节旨在综述数据分析与问卷设计方法,包括调查对象选取与问卷发放、数据收集与分析方法、问卷设计及理论模型构建等方面,为研究者提供可行的方案指导。

2.1 调查对象与问卷发放

调查对象选取是数据的收集及后续分析结论的关键,对象的筛选取决于调查者的研究目的。调查对象的筛选项一般分为了解程度、年龄、受教育程度、居住地和出行特性 5 类。若研究者以普查公众对 UAM 的了解程度为目的,则应尽可能覆盖全样本。若是为了针对具有一定 UAM 认可度的人群,调查如何进一步提升公众接受度,从而为技术部门或政府管理部门提供研究方向及改善措施,则一般应重点关注年轻、受教育程度高且高收入、高需求的群体。

(1) 了解程度

受访者对调查内容的熟悉和理解在很大程度上影响了问卷填写数据的有效性和代表性。Reiche 等^[20]研究发现,对个人来说,在不了解的情况下对创新做出反应是极富挑战的。在一项分析影响城市空中交通机动性的因素和未来需求的研究中显示,60%的受访者均为专业人士^[21]。一般来说,调查者会先通过一段视频或文字描述,告知被调查者调查目的,同时会在问卷选项中设置不同的问题选项,以便了解被调查者的了解程度。

(2) 年龄

理解认知和知识水平在一定程度上与年龄相对应,年龄段差异的受访者对 UAM 的使用体验也截然不同。Morast 等^[22]发现年龄通过影响对技术的熟悉程度间接影响接受度,可将年龄作为分析不同人群接受度的一项指标。

(3) 受教育程度

受教育程度高的人群通常具备良好的理解能力及更广泛的知识水平。有研究结果显示,与教育水平较低的受访者相比,教育水平较高的受访者的观点更加稳定和集中^[2]。另有一项基于技术接受模型(Technology Acceptance Model, TAM)理论框架的城市空中交通社会接受度研究中,将调查问卷受访者提高至 54.3% 为大学毕业生,并确定其为保障本次问卷结果具备参考性的重要前提^[23]。

(4) 居住地

一项关于韩国出行者使用 UAM 意图的研究表明,居住在公共交通附近的人更易接受 UAM 作为替代交通方式^[23]。与居住在郊区的居民不同,城市中心区域的居民更希望通过空中交通缓解地面交通拥堵问题。此外,居住地区经济发展和市场运营情况也会影响 UAM 服务的价格:对于美国旧金山市飞往圣何塞市的 70 km 航行,费用约为 265 欧元/人;而从德国慕尼黑市飞往英戈尔施塔特市的 70 km 区域航行的费用则至少 346 欧元/人^[19]。然而这些研究也存在一定局限性,目前 UAM 市场化地区大多集中在欧美或经济发达地区,缺少发展中国家相关应用市场案例分析^[23]。

(5) 问卷发放

大部分问卷通过学术网站、电子邮件或社交平台等线上形式发放,部分研究者在发放网络问卷的同时投放了纸质问卷;有研究采用调查访谈方式,并由经验丰富的采访者进行,并在正式调查前加入预调查,根据反馈结果确定正式问卷^[24]。网络问卷比纸质问卷容易操作且便于收集与统计数据,但与调查访谈相比,数据可靠性明显不足,回收率及真实率偏低。

2.2 问卷设计与数据收集

(1) 样本量大小

在问卷调查中,样本量过少会引起抽样误差的增大,从而降低检验效能;样本含量过大则会增加研究者的工作量,所以应当确定合适的样本量。在与 UAM 相关的调查问卷中,Karami 等^[6]回收了 828 份来自伊朗德黑兰地区的在线问卷;Mostofi 等^[25]得到了 819 份来自德国柏林市及斯图加特和埃尔福特这 2 个州府的样本;Rice 等^[26]通过对美国和印度地区进行抽样得到了 1 125 份问卷。按照问卷抽样的要求,一般抽样数与问卷题项的比例最好为 10 : 1 至 15 : 1 之间^[27]。

(2) 数据筛选和抽样方法

为确保数据质量,各问卷进行数据分析时均应

对不符合填写时间要求、未回答完整等的问卷数据进行剔除。景鹏等^[28]通过在问卷中设置问题陷阱的方式去除了逻辑错误的的数据。另外,根据研究目的,问卷对象优先选取也可作为剔除标准的参考。与UAM有关的研究大部分采用随机位置抽样和分层抽样。Melo等^[29]采用随机位置抽样在线上进行样本发放,从而使数据来源分布均匀;由于分层抽样适用于层间有较大异质性且每层个体具有同质性的群体,Stolz等^[30]在选取的6个国家中设定好各自的性别和年龄作为人口代表性配额,之后便分析不同层个体间的差别。

(3) 设计思路

已有研究问卷设计思路大致为:询问受访者的社会人口属性,这些因素直接体现了群体间的显著特征;问卷主体主要集中在调查影响接受度的相关因素,包括感知有用性、感知易用性、信任度、态度、行为意向等。大多问卷采用5点式李克特量表或7点式量表^[31]。

(4) 问卷信效度检验

信度分析旨在系统评估数据的可靠性、稳定性和一致性。研究者通常使用统计分析软件SPSS对问卷数据进行信度检验。也有研究使用平均提取方差值来核验问卷信度与收敛效度^[32],克伦巴赫系数是常见的信度测量方法,如果克伦巴赫系数在0.6以上,则该量表可以不修订;反之,则需要重新设计题项^[33]。效度评价是为了检验量表中提取的因子真实反映各潜在变量的准确程度。相关研究通常使用Bartlett球形检验和Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)系数进行分析和测试。合格的Bartlett球形检验的Sig.值应小于0.005,KMO值为0~1;合格的KMO值应大于0.7,这表明该结构具有较强的效度^[34]。另外,也可以通过福内尔-拉克尔准则来评价区分效度^[31]。

(5) 注意事项

为保证问卷质量,需要注意问卷长度适中及适当采用自由文本的形式。Keller等^[35]在调查中创建相当长的问卷,使某些受访者在填写过程中失去了诚实填写的兴趣,这导致试验结果出现误差。设置开放式问题使受访者可充分发表自己的看法。Stolz等^[30]要求参与者以开放的文本形式写下他们对无人机的担忧。由于很难保证所有受访者对UAM的有足够的认识,Keller等^[35]在调查前向受访者定义了无人机的概念并附上一段科普视频,以中立和客观的方式展示了不同的使用案例,这样的方式有利于受访者充分理解问卷背景并作出真实有效的选择。此

外,还可利用多项式逻辑回归模型等将受访者的个人特性进行细分来深入挖掘UAM领域中不同个体行为与态度背后的影响因素^[36]。另外,问卷中的用词要贴近生活,通俗易懂,忌生僻字词等,因调查群体、年龄等差异悬殊,在设计问卷时要尽可能避免引起回答者的抵触情绪。

2.3 理论框架与模型建立

关于UAM公众接受度研究大部分都采用描述性分析方法,另一些则通过验证性因子、回归分析等量化分析方法来分析变量之间的关系及变量与接受度的关系。这2种方法侧重点不同,描述性分析方法可以识别数据的内在规律及发现异常值,而量化分析方法通过具体的数值来体现影响力度,结果更直观。

基于理性行为理论建立的技术接受模型(TAM),计划行为理论(TPB)及整合型技术接受模型(UTAUT)是被频繁用于描述使用UAM意图的模型^[3,37]。其中,TAM主要用于解释用户对信息系统的接受行为,UTAUT是将不同模型整合到一起的综合模型,而TPB由于具有较好的全面性及解释力,能更准确地表示接受度^[38]。值得注意的是,大部分研究人员使用模型时也会根据研究目标和具体情况扩展上述模型。例如,Nikolopoulos等^[39]通过对TAM模型进行扩展,更有效地解释了个体接受和使用新技术的行为的关系。在Xu等^[40]的假设中,增加了包括对UAM的感知安全、感知风险、信任等影响维度。但这些模型仍有难以表述精确的问题,因此在研究时可以多引入量化分析手段。Eker等^[41]采用双变量有序probit模型来识别人口特征和出行行为对使用UAM的影响;Fu等^[42]通过多项Logit模型分析在多重交通选择中公众采用UAM的可能性。同时由于TAM模型扩展时加入了外部变量和潜在变量,可能导致模型之间的因素过多,研究者可以引入结构方程模型来定量描述变量之间的因果关系及变量对接受度的影响^[43]。

3 影响UAM接受度的关键因素及其作用

探索影响公众对UAM接受度的关键因素及其作用是研究的核心目标。本研究旨在为未来的学术探索提供更明确的参考,并为试验设计或理论模型的构建提供一定的导向,从而更精确地预测和评估公众对UAM的接受程度。

3.1 技术层面及其影响

在技术及其相关属性方面,适航安全性、用户

隐私及清洁能源的应用是核心要素。欧洲航空安全局(EASA)的调查显示,适航安全性被评为欧洲受访者最普遍关注的问题^[17]。Kalakou等^[13]的研究表明,参与者了解UAM可能给人们带来的风险,但他们秉持一个乐观的态度。因此,城市低空载运工具适航安全性是世界各地制造商和监管机构的最高优先事项。部分研究者已走到该领域前沿,陈修贤等^[44]对电机臂进行轻量化破损安全结构设计,以确保UAM飞行器能够在各种条件下提供安全、高效的运输服务。郝鹏^[45]从城市低空三维航路网络和飞行器的冲突避撞算法展开研究,进而实现eVTOL飞行器在城市低空空域的安全运行。Dai等^[46]提出设计低空停留区,以此降低恶劣天气给运行中的航空器带来的安全风险。此外,在UAM的运行过程中,大量个人信息的收集、存储和处理是不可避免的,这就涉及到用户隐私权的保护。研究发现,乘客对于个人数据隐私存在担忧,这可能成为他们拒绝使用UAM系统的重要原因之一^[47]。

清洁能源的使用也是公众预估UAM技术成熟度的重要指标。Kasliwal等^[48]发现UAM搭载一名乘客的电动垂直起降航空器的温室气体排放量比燃油汽车低35%,比电动汽车高28%。随着环保技术的应用,可将动力电池作为UAM系统的主要动力来源,从而符合可持续发展的目标^[49]。

总之,安全性能越高,隐私保护能力更强及清洁能源的使用将大幅度提高用户的接受度。相关企业及研究机构已在这些内容上做出了较多的探索,但保障eVTOL飞行器安全运行、清洁能源的大规模推广仍为当今尚未攻克的难题。

3.2 UAM出行特性及其影响

创新产品本身的属性和公众的心理因素是影响公众对新兴技术接受度的主要因素。

(1) 出行时长

Fu等^[42]将出行时间确定为影响UAM作为居民出行方式的主导因素。Haddad等^[3]指出旅行持续时间是第3重要的采取因素。UAM可大幅度缩短用户的出行时长,被广泛应用于机场间摆渡服务,是UAM的未来应用领域之一^[50]。在调查用户对城市交通系统引入UAM看法的研究中表明,对当前交通方式不满意的人会欢迎使用城市空中交通^[51]。飞行汽车被提出用于在城市地区运行,以最终缩短运输时间并缓解道路拥堵^[51]。如果人们对于现有交通方式的时间效率不满意,则会更倾向于选择UAM作为替代的交通方式。但已有研究鲜少关注当UAM能缩短

多少行程时间时,公众更倾向于选择该种交通出行方式。

(2) 支付意愿

Fu等^[42]还将出行成本确定为影响接受度的主导因素。Rimjha等^[52]发现只有足够低的票价,才能激发公众使用UAM通勤的需求。一项调查在慕尼黑大都市区对UAM的使用偏好问卷中提到,年轻人或家庭收入高的老年人更有可能采用UAM^[42]。对于亚特兰大、洛杉矶和达拉斯地区的乘客来说,票价一般定在50美元/人较为合理^[53]。另有研究结果表明,UAM服务每比出租车缩短20min,那么UAM只需多收取乘客23美元/人,这表明UAM的性价比高于出租车^[50]。

到2035年,美国先进空中出行(Advanced Air Mobility, AAM)市场的价值预估将达到1150亿美元^[54]。但就目前的形势来看,初期对于投资者来说成本投入较大,单是一座垂直起降机场就需花费100万美元。所以,相关技术人员和政策制订者应尽可能降低UAM带来的运行费用及制订相关优惠政策,以缓解由于投入成本或定价过高给UAM持续发展带来的负面影响。

(3) 可达性水平

当前主要交通方式面临诸多困难,公路交通对地面空间占用大,运输效率低;轨道交通建设周期长、成本高、对地形要求高、新增或调整线路困难^[55]。总而言之,目前的交通工具已满足不了当今社会人口的出行需求,可达性较低。Kalakou等^[13]研究发现,农村地区使用UAM预计会带来更高效益,这些地区人口分布稀疏,UAM的使用会大幅提高可达性。Straubinger等^[18]提出UAM起降场布局应主要位于大城市交通枢纽、住宅区和商业CBD之间,从而解决目前地面交通拥堵或难以直接到达的问题。但在提高UAM可达性水平时也存在诸多阻碍,其中飞行汽车的电池能量密度是影响动力性能的关键技术参数^[56]。另外,配套的保障服务设施完善性也是影响UAM运行服务可持续的重要因素。美国关于电动汽车可达性的一项研究结果表明,约60%~80%的普查小区没有公共充电设施接入^[57],这反映出进一步提高UAM可达性的难度。

综上,较短的出行时间、性价比较高的支付价格和便捷的可达性水平将大幅度提高公众吸引力;同时,提升电池动力性能及改善交通设施可达性依旧是研究者的努力的目标。

3.3 社会人口属性及其影响

(1) 社会人口属性

社会人口属性包括年龄、性别、教育背景和收入水平等。通常来说,年轻、受过高等教育和高收入群体更倾向于接受新技术,他们对UAM的接受度可能更高。Haddad等^[3]研究表明,女性受访者采用UAM的可能性总体上低于男性受访者。部分研究显示年轻人的支付意愿更高,使用意愿更强。此外,对于那些行动不便的老年人、孕妇等特定人群,UAM可能成为其首选的交通方式^[21]。

(2) 出行目的

出行目的也是影响公众对UAM接受度的一个重要因素。Boucher^[58]发现根据出行目的不同,社会对无人机使用的接受程度也可能不同。Fu等^[42]认为UAM的潜在消费者更倾向于将其用于非通勤旅行。Pukhova等^[59]提出UAM应主要用于应急救援或交通网络不发达的偏远地区之间的长途旅行。

综上,年轻、受教育程度高且高收入的男性及高需求量的群体具有较高的接受度意愿。在使用UAM时,人们更愿意将其作为非通勤旅行的交通工具。

3.4 政策支持及其影响

科技发展水平较高、创新性较强的国家一直走在研究UAM相关技术领域的前沿,美国、加拿大、意大利、韩国及中国等国家已有大量的研究成果^[60]。国家层面的政策支持可为研究提供源泉和动力,美国通过建立城市空中交通协调和评估小组,分别从UAM的市场前景、发展愿景与框架及系统成熟度分级展开讨论,以推动社会关注。一些发达国家(如德国、日本等)通过公私合作模式,鼓励企业参与城市空中交通的技术开发和市场推广,政府则在政策和资金上给予相应的支持。法国巴黎市为了评估对乘坐电动垂直起降飞机旅客的保护水平,依据欧盟法(第261/2004号条例)对此进行全面评估并考虑结合客运空中出租车服务对其新技术、新兴的商业惯例等进行修订^[61]。在中国,深圳市发布了一系列行动指南,《深圳市龙岗区创建人工智能全域全时应用示范区的行动方案(2024—2025年)》中分别为从事低空智能融合基础设施、电池使用及土地利用等领域研究及应用提供政策激励。2024年4月,中国民用航空中南地区管理局向总部位于广州市的某企业颁发了全球首张无人驾驶载人航空器生产许可证。可见,国家层面的政策支持将进一步推动UAM领域的蓬勃发展,进而促使大批知名企业的涌现。

4 结论

通过对城市空中交通接受度的深入探讨,可以看出公众对于UAM新型交通方式的态度受到多种因素的影响。其中,了解程度、风险感知、信任度、治理期望及对新技术的追求都是不可忽视的重要方面。但现有研究很少将治理期望及以技术刺激纳入评估UAM接受度的指标。研究者通常采用问卷调查的方式对公众的接受度进行测量,其中应注意到,发放问卷应根据研究目的的不同设置相应的筛选项。通常,重点关注对UAM了解程度高、受教育程度高的人群,同时针对不同年龄段进行不同侧重的考察。考虑到受众的广泛性,居住在农村和城市的居民都应成为调查对象。线上线下均有局限性,问卷宜通过二者结合的形式发放。此外,在数据收集阶段,合适的样本量、剔除不符规定的样本、控制问卷的长度、用词通俗易懂及避免引起调查者的抵触情绪等是保证结果具有指导性价值的关键。对于已有研究模型构建与数据分析方法,大多采用描述性分析,引入量化分析可以避免出现难以精确表达的问题。同时,在原有模型中扩展外部变量和潜在变量可使变量间的因果关系更加清晰明了。

通过总结以往研究成果发现,在技术层面,适航安全性越高、隐私性保护能力更强、事故发生的风险率更低及清洁能源的使用将大幅度提高用户的接受度。相关研究已在这些内容上做出了较多的探索,但如何保障低空飞行器安全持续运行、清洁能源的大规模推广以及退役电池的再利用仍为当今尚未攻克的难题。在出行特性方面,可靠且更短的出行时间、性价比较高的支付价格及更好的可达性将大幅度提升UAM吸引力。但对于提升电池性能及改善交通设施可达性等依旧是研究者的探索目标。社会人口属性方面,年轻、受教育程度高且高收入的男性及高需求量的群体具有较高使用意愿,若能首先在以上人群中打开应用市场,将为后续大规模推动UAM应用作出极大贡献。此外,大多关于UAM研究集中于欧美发达地区,鉴于不同地区的通勤模式和公共交通网络的不同,未来有必要更多结合发展中国家交通特点开展相关研究。

参考文献:

References:

- [1] ABBASI F A, NGOUNA R H, MEMON M A, et al.

- Fostering UAM implementation: From bibliometric analysis to insightful knowledge on the demand [J/OL]. *Social Network Analysis and Mining*, 2024, 14: 80. (2024-04-06) [2024-09-01]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13278-024-01210-3>.
- [2] SHAHEEN S, COHEN A, FRRAR A. The potential societal barriers of urban air mobility (UAM) [R]. Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration, 2018.
- [3] HADDAD C A, CHANIOTAKIS E, STRAUBINGER A, et al. Factors affecting the adoption and use of urban air mobility [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2020, 132: 696–712.
- [4] YUNUS F, CASOLINO D, AVALLONE F, et al. Efficient prediction of urban air mobility noise in a vertiport environment [J/OL]. *Aerospace Science and Technology*, 2023, 139: 108410. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2023.108410>.
- [5] AKTAN D C. Investigation of students' intermediate conceptual understanding levels: The case of direct current electricity concepts [J]. *European Journal of Physics*, 2013, 34 (1): 33–43.
- [6] KARAMI H, ABBASI M, SAMADZAD M, et al. Unraveling behavioral factors influencing the adoption of urban air mobility from the end user's perspective in Tehran: A developing country outlook [J]. *Transport Policy*, 2024, 145: 74–84.
- [7] LONG Q, MA J, JIANG F, et al. Demand analysis in urban air mobility: A literature review [J/OL]. *Journal of Air Transport Management*, 2023, 112: 102436. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102436>.
- [8] KARIMI S, KARAMI H, SAMADZAD M. The role of travel satisfaction and attitudes toward travel modes in the prospect of adoption of urban air taxis: Evidence from a stated preference survey in Tehran [J/OL]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2024, 179: 103885. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103885>.
- [9] GORDO V, BECERRA I, FRANSOY A, et al. A layered structure approach to assure urban air mobility safety and efficiency [J/OL]. *Aerospace*, 2023, 10 (7): 609. (2023-06-30) [2024-09-01]. <https://doi.org/10.3390/aerospace10070609>.
- [10] HUANG L, WU C, WANG B. An unsafe behaviour formation mechanism based on risk perception [J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 2019, 29 (2): 109–117.
- [11] VONGVIT R, MAENG K, LEE S C. Effects of trust and customer perceived value on the acceptance of urban air mobility as public transportation [J/OL]. *Travel Behaviour and Society*, 2024, 36: 100788. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100788>.
- [12] KIM Y W, LIM C, JI Y G. Exploring the user acceptance of urban air mobility: Extending the technology acceptance model with trust and service quality factors [J]. *International Journal of Human-computer Interaction*, 2023, 11 (15): 2893–2904.
- [13] KALAKOU S, MARQUES C, PRAZERES D, et al. Citizens' attitudes towards technological innovations: The case of urban air mobility [J/OL]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2023, 187: 122200. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122200>.
- [14] LUO Y Z, ZHU S, SUN L J, et al. Impact of environmental product quality and green brand image in the medical device industry on green customer satisfaction [J]. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 2022 (1): 236–242.
- [15] RIZA L, BRUEHL R, FRICKE H, et al. Will air taxis extend public transportation? A scenario-based approach on user acceptance in different urban settings [J/OL]. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2024, 23: 101001. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.101001>.
- [16] COPPOLA P, FABIIS F D, SILVESTRI F. Urban air mobility (UAM): Airport shuttles or city-taxis? [J]. *Transport Policy*, 2024, 150: 24–34.
- [17] CETIN E, CANO A, DERANSY R, et al. Implementing mitigations for improving societal acceptance of urban air mobility [J/OL]. *Drones*, 2022, 6 (2): 28. (2022-01-18) [2024-09-01]. <https://doi.org/10.3390/drones-6020028>.
- [18] STRAUBINGER A, ROTHFELD R, SHAMIYEH M, et al. An overview of current research and developments in urban air mobility: Setting the scene for UAM introduction [J/OL]. *Journal of Air Transport Management*, 2020, 87: 101852. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101852>.
- [19] BIEHLE T. Social sustainable urban air mobility in Europe [J/OL]. *Sustainability*, 2022, 14 (15): 9312. (2022-07-29) [2024-09-01]. <https://doi.org/10.3390/su14159312>.
- [20] REICHE C, COHEN A P, FERNANDO C. An initial

- assessment of the potential weather barriers of urban air mobility [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System* [J]. 2021, 22 (9): 6018–6027.
- [21] HWANG J H, HONG S. A study on the factors influencing the adoption of urban air mobility and the future demand: Using the stated preference survey for three UAM operational scenarios in South Korea [J/OL]. *Journal of Air Transport Management*, 2023, 112: 102467. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102467>.
- [22] MORAST A, VOß G M I, DAUTZENBERG P S C, et al. A survey on the acceptance of unattended trains [J/OL]. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2023, 25: 100370. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2023.100370>.
- [23] LEE C J, BAE B J, LEE Y L, et al. Societal acceptance of urban air mobility based on the technology adoption framework [J/OL]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2023, 196: 122807. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122807>.
- [24] 刘永, 黄学源, 严霆. 基于 TAM 的高速公路建设管理一体化平台接受度研究 [J]. *公路工程*, 2023, 48 (4): 167–173.
LIU Yong, HUANG Xueyuan, YAN Ting. Research on the acceptance of construction management integration platform of expressway projects based on TAM [J]. *Highway Engineering*, 2023, 48 (4): 167–173.
- [25] MOSTOFI H, BIEHLE T, KELLERMANN R, et al. Modelling public attitude towards air taxis in Germany [J/OL]. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2024, 24: 101045. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101045>.
- [26] RICE S, WINTER R S, CROUSE S, et al. Vertiport and air taxi features valued by consumers in the united states and India [J]. *Case Studies on Transport Policy*, 2022, 10 (1): 500–506.
- [27] 吴婷. 中国网络媒体国际传播受众需求小样本问卷调查研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2016.
WU Ting. The small sample questionnaire research on the audience demand in the China's international internet communication [D]. Changsha: Hunan University, 2016.
- [28] 景鹏, 王伟, 吴麟麟. 老年人对自动驾驶汽车接受度研究 [J]. *中国公路学报*, 2021, 34 (6): 158–171.
JING Peng, WANG Wei, WU Linlin. Acceptance of autonomous vehicles for the elderly [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2021, 34 (6): 158–171.
- [29] MELO S, SILVA F, ABBASI M, et al. Public acceptance of the use of drones in city logistics: A citizen-centric perspective [J/OL]. *Sustainability*, 2023, 15 (3): 2621. (2023-02-01) [2024-09-01]. <https://doi.org/10.3390/su15032621>.
- [30] STOLZ M, PAPENFUB A, DUNKEL F, et al. Harmonized skies: A Survey on drone acceptance across Europe [J/OL]. *Drones*, 2024, 8 (3): 107. (2024-03-20) [2024-09-01]. <https://doi.org/10.3390/drones8030107>.
- [31] 徐刚. 单车智能与车路协同自动驾驶技术接受度研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2020.
XU Gang. Research on the acceptance of independent and cooperative vehicle-highway autonomous driving technology [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2020.
- [32] 杨尚将, 陈艳青, 吴宇鹏, 等. 自动驾驶公交的公众接受度研究 [J]. *交通工程*, 2022, 22 (5): 32–38.
YANG Shangjiang, CHEN Yanqing, WU Yupeng, et al. Study on the public acceptance of self-driving buses [J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2023, 22 (5): 32–38.
- [33] 王云泽, 李英杰, 唐立. 交通运输从业者对自动驾驶接受度建模与分析 [J]. *交通运输工程与信息学报*, 2023, 21 (2): 42–54.
WANG Yunze, LI Yingjie, TANG Li. Modeling and analysis of autonomous driving acceptance by transportation practitioners [J]. *Journal of Transportation Engineering and Information*, 2023, 21 (2): 42–54.
- [34] 王璐. 基于信任及感知价值的自动驾驶汽车公众接受度研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2022.
WANG Lu. Research on public acceptance of autonomous vehicle based on trust and perceived value [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2022.
- [35] KELLER M, HULINSKA S, KRAUS J. Integration of UAM into cities: The public view [J]. *Transportation Research Procedia*, 2021, 59: 137–143.
- [36] 黄芳, 郭凤香, 周燕宁, 等. 新冠肺炎疫情对居民出行行为的影响 [J]. *公路交通科技*, 2023, 40 (10): 166–174.
HUANG Fang, GUO Fengxiang, ZHOU Yanning, et al. Impact of COVID-19 on residents' travel behavior [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2023, 40 (10): 166–174.
- [37] VENKATESH V, MORRIS M G, DAVIS F D, et al. User

- acceptance of information technology: Toward a unified view [J]. *MIS Quarterly*, 2003, 27 (3): 425-478.
- [38] VENKATESH V, DAVIS F D. A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies [J]. *Management Science*, 2000, 46 (2): 186-204.
- [39] NIKOLOPOULOS F, LIKOTHANASSIS S. Using UTAUT2 for cloud computing technology acceptance modeling [C] // *Proceedings of the Second International Conference on Internet of Things, Data and Cloud Computing*. New York: Association for Computing Machinery, 2017: 1-6.
- [40] XU Z G, WANG M L, ZHANG F Z, et al. PaTAVTT: A Hardware-in-the-loop scaled platform for testing autonomous vehicle trajectory tracking [J/OL]. *Journal of Advanced Transportation*, 2017. (2017-11-11) [2024-09-01]. <https://doi.org/10.1155/2017/9203251>.
- [41] EKER U, FOUNTAS G, ANASTASOPOULOS P C, et al. An exploratory investigation of public perceptions towards key benefits and concerns from the future use of flying cars [J]. *Travel Behaviour and Society*, 2020, 19 (2): 54-66.
- [42] FU M Y, ROTHFELD R, ANTONIOU C. Exploring preferences for transportation modes in an urban air mobility environment: Munich case study [J]. *Transportation Research Record*, 2019, 2673 (10): 427-442.
- [43] 温忠麟, 侯杰泰, 马什赫伯特. 结构方程模型检验: 拟合指数与卡方准则 [J]. *心理学报*, 2004, 36 (2): 186-194.
- WEN Zhonglin, HOU Jietai, MARSH H. Structural equation model testing: Cutoff criteria for goodness of fit indices and Chi-Square test [J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2004, 36 (2): 186-194.
- [44] 陈修贤, 董明, 董文俊, 等. 电动垂直起降复合翼飞行器电机臂结构设计 [J]. *航空工程进展*, 2024, (3): 1-7.
- CHEN Xiuxian, DONG Ming, DONG Wenjun, et al. Structure design of hybrid wing eVTOL motor beam [J/OL]. *Advances in Aeronautical Science and Engineering*, 2024 (3). (2024-10-30) [2024-11-11]. <http://hkgejz.ijournals.cn/hkgejz/article/abstract/2023210>.
- [45] 郝鹏. 面向 UAM 系统的 eVTOL 飞行器避障路径规划算法研究 [D]. 成都: 西华大学, 2022.
- HAO Peng. Research on obstacle avoidance path planning algorithm for eVTOL aircraft in UAM systems [D]. Chengdu: Xihua University, 2022.
- [46] DAI W, PANG B Z, LOW K H. Conflict-free four-dimensional path planning for urban air mobility considering airspace occupancy [J/OL]. *Aerospace Science and Technology*, 2021, 119: 107154. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.107154>.
- [47] WANG Y, XIA H C, YAO Y X, et al. Flying eyes and hidden controllers: A qualitative study of people's privacy perceptions of civilian drones in the US [J]. *Proceedings on Privacy Enhancing Technologies*, 2016, 2016 (3): 172-190.
- [48] KASLIWAL A, FURBUSH N J, GAWRON J H, et al. Role of flying cars in sustainable mobility [J/OL]. *Nature Communications*, 2019: 1555. (2019-04-09) [2024-09-01]. <http://doi.org/10.1038/s41467-019-09426-0>.
- [49] QIAO X T, CHEN G T, LIN W C, et al. The impact of battery performance on urban air mobility operations [J/OL]. *Aerospace*, 2023, 10 (7): 631. (2023-07-13) [2024-09-01]. <https://doi.org/10.3390/aerospace10070631>.
- [50] CHOI J H, PARK Y. Exploring economic feasibility for airport shuttle service of urban air mobility (UAM) [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2022, 162: 267-281.
- [51] PAN G, ALOUINI M S. Flying car transportation system: Advances, techniques, and challenges [J]. *IEEE Access*, 2021, 9: 24586-24603.
- [52] RIMJHA M, HOTLE S, TRANI A, et al. Commuter demand estimation and feasibility assessment for urban air mobility in Northern California [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2021, 148: 506-524.
- [53] LEWIS E, PONNOCK J, CHERQAOUI Q, et al. Architecting urban air mobility airport shuttling systems with case studies: Atlanta, Los Angeles, and Dallas [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2021, 150: 423-444.
- [54] GOYAL R, REICHE C, FERNANDO C, et al. Advanced air mobility: Demand analysis and market potential of the airport shuttle and air taxi markets [J/OL]. *Sustainability*, 2021, 13 (13): 7421. (2021-07-02) [2024-09-01]. <https://doi.org/10.3390/su13137421>.
- [55] 王翔宇. 关于加快我国城市空中交通发展的思考与建议 [J]. *大飞机*, 2023, 2023 (8): 38-40.
- WANG Xiangyu. Thoughts and suggestions on accelerating the development of urban air traffic in China [J].

- Jetliner, 2023, 2023 (8): 38-40.
- [56] 丁水汀, 丁硕, 孙爽, 等. 复合翼 eVTOL 电池需求及对动力总成安全性的影响 [J]. 推进技术, 2024, 45 (3): 207-221.
DING Shuiting, DING Shuo, SUN Shuang, et al. Compound wing eVTOL battery requirements and implications for powertrain safety [J]. Journal of Propulsion Technology, 2024, 45 (3): 207-221.
- [57] CARLTON G J, SULTANA S. Electric vehicle charging equity and accessibility: A comprehensive united states policy analysis [J/OL]. Transportation Research Part D, 2024, 129: 104123. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104123>.
- [58] BOUCHER P. 'You wouldn't have your granny using them': Drawing boundaries between acceptable and unacceptable applications of civil drones [J]. Science and Engineering Ethics, 2016, 22 (5): 1391-1418.
- [59] PUKHOVA A, LLORA C, MORENO A, et al. Flying taxis revived: Can urban air mobility reduce road congestion? [J/OL]. Journal of Urban Mobility, 2021, 1: 100002. <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2021.100002>.
- [60] 郑秀梅, 李智恒. 城市空中交通研究进展与趋势 [J/OL]. 飞行力学, 2025, 43 (1). (2025-01-23) [2025-01-23] <https://doi.org/10.13645/j.cnki.f.d.20240313.001>.
ZHENG Xiumei, LI Zhiheng. Progress and trends in urban air traffic research [J/OL]. Flight Dynamics, 2025, 43 (1). (2025-01-23) [2025-01-23] <https://doi.org/10.13645/j.cnki.f.d.20240313.001>.
- [61] SCOTT B I. Passenger air taxi services: An assessment of the current european union rules on consumer protection for passengers [J/OL]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2024, 110 (1): 37. <https://doi.org/10.1007/s10846-024-02057-8>.