

文章编号:1671-1637(2026)03-0045-15

低空无人机物流公众接受度研究综述

张圣忠*, 刘台莉, 曾苗华, 武 珊

(长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064)

摘要:为全面了解低空无人机物流公众接受度领域的研究进展,促进技术创新与社会采纳的协同发展,本文综合运用文献计量方法和系统综述方法梳理并总结了相关研究。从文献分布、理论模型、数据分析方法3个方面进行了分析,归纳了影响低空无人机物流公众接受度的关键因素,剖析了其对公众接受度的影响;构建了低空无人机物流公众接受度领域的研究框架;指出了现有研究的不足与未来研究方向。研究表明:低空无人机物流公众接受度文献数量总体呈现上升趋势,研究内容具有跨学科特点;理论模型以技术接受模型及其扩展模型为基础,并逐步整合感知风险、信任等认知理论形成综合分析框架,研究方法以结构方程模型等定量分析为主,呈现与机器学习、大数据分析等多元方法融合的趋势;无人机功能属性维度的技术特征、服务功能、环境效益等因素和公众心理认知维度的态度、感知易用性、感知有用性、感知风险、个人创新性、信任、主观规范等因素是关键影响因素。然而,面对低空无人机物流规模化发展趋势,现有研究在构建中国情境下的理论分析框架,丰富数据分析与量化方法,以及拓展考虑公众接受度的低空无人机物流决策研究方面有待深入,以期为行业政策制定与运营优化提供科学思路和决策依据。

关键词:低空交通;无人机物流;综述;公众接受度;影响因素;文献计量分析

中图分类号:U8 **文献标志码:**A **DOI:**10.19818/j.cnki.1671-1637.2026.151

Research review on public acceptance of low-altitude unmanned aerial vehicle logistics

ZHANG Sheng-zhong*, LIU Tai-li, ZENG Miao-hua, WU Shan

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: To comprehensively understand the research progress in the field of public acceptance of low-altitude unmanned aerial vehicle (UAV) logistics and to promote the coordinated development of technological innovation and social adoption, this paper employed bibliometric analysis and systematic review methods to synthesize and summarize relevant studies. The analysis was conducted from three perspectives: literature distribution, theoretical models, and data analysis methods. Key factors influencing public acceptance of low-altitude UAV logistics were identified, and their impacts were analyzed. A research framework for this field was constructed, and limitations of existing studies as well as future research directions were proposed. Research results show that the number of publications in this area is generally increasing, and the research exhibits interdisciplinary characteristics. Theoretical models are

出版历程:2025-08-29 收稿,2025-12-17 修回,2026-01-23 录用

基金项目:国家自然科学基金国际(地区)合作交流项目(42220104005);中央高校基本科研业务费专项资金项目(300102234602)

* 作者简介:张圣忠(1978-),男,安徽寿县人,教授,博士生导师,工学博士,博士后,E-mail:szzhang@chd.edu.cn。

引用格式:张圣忠,刘台莉,曾苗华,等.低空无人机物流公众接受度研究综述[J].交通运输工程学报,2026,26(3):45-59.

Citation:ZHANG Sheng-zhong, LIU Tai-li, ZENG Miao-hua, et al. Research review on public acceptance of low-altitude unmanned aerial vehicle logistics[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2026, 26(3): 45-59.

primarily based on the Technology Acceptance Model (TAM) and its extensions, gradually integrating cognitive theories such as perceived risk and trust to form a comprehensive analytical framework. Quantitative methods, especially structural equation modeling (SEM), dominate current research, with a growing trend toward integration with machine learning and big data analytics. Key influencing factors include technical features, service functions, and environmental benefits in terms of drone functional attributes, as well as attitude, perceived ease of use, perceived usefulness, perceived risk, personal innovativeness, trust, and subjective norms in terms of public psychological cognition. However, in the context of the large-scale development of low-altitude UAV logistics, existing research still requires further advancement in developing theoretical frameworks tailored to the Chinese context, enriching data analysis and quantitative methodologies, and expanding decision-making research that incorporates public acceptance. These efforts aim to provide scientific insights and a solid foundation for industry policy formulation and operational optimization.

Keywords: low-altitude traffic; unmanned aerial vehicle logistics; review; public acceptance; influencing factor; bibliometric analysis

Publication history: Received 2025-08-29; Received in revised form 2025-12-17; Accepted 2026-01-23

Funding: International Cooperation and Exchange of the National Natural Science Foundation of China (42220104005); Fundamental Research Funds for the Central Universities (300102234602)

* **Corresponding author:** ZHANG Sheng-zhong, professor, PhD, E-mail: szzhang@chd.edu.cn.

0 引 言

低空经济是一种以低空飞行技术为核心并实现多场景应用的新型技术形态,它在国家政策和科技创新的双重驱动下,逐渐发展成为经济高质量增长的新引擎^[1]。低空无人机物流作为低空经济生态的基础应用场景,凭借灵活高效、绿色低碳的技术优势,正从应急救援、农林监测等特定场景向城市干支-配等货运高频领域渗透,成为培育和发展交通运输新质生产力的核心载体^[2-5]。然而,低空技术的先进性并不必然转化为公众对大规模低空无人机物流商业应用的支持,其高频次、常态化、异质性的低空飞行带来的隐私侵犯、噪声污染、视觉干扰等相关接受度问题已成为制约低空无人机物流发展的关键阻碍^[6]。国内外关于无人机物流公众态度调查均显示,公众对于商业用途的无人机物流实际支持度偏低且不稳定^[7-10]。欧洲航空部门及国际运输论坛亦强调,解决公众关切是成功整合低空交通运输系统、实现空地协同运行的关键先决条件^[11-13]。从马克思主义空间政治经济学视角看,低空无人机物流的发展实质是将低空空域这一自然资源转化为新型生产要素而进行的空间资本化过程,面临着追求运输效率的技术逻辑与关注空间负外部性的社会逻辑之间的平衡^[14-15]。因此,低空无人机物流不应仅被视为

单纯的运输技术应用,而应被界定为一个涉及多相关利益主体的复杂社会-技术系统^[16]。从交通运输系统规划视角看,公众接受度是低空无人机物流系统健康运行的社会基础与资源优化配置的约束条件,可以为管理理论与物流决策优化提供更加现实的发展思路和研究方向^[17-20]。因此,研究低空无人机物流的公众接受度是技术创新发展过程的关键一步,对于实现低空无人机物流系统的社会效益与运行效率双重提升具有重要的现实意义。

目前,有关低空无人机物流公众接受度研究已存有一定数量的积累。采用技术接受模型和计划行为等理论探讨不同国家公众的使用意愿,采用定性与文献综述方法初步探讨了不同应用场景中的公众接受度及影响因素。如 Aydin^[21]基于知识-态度-行为理论框架对无人机接受度进行计量分析,Smith等^[22]对物流场景中的无人机接受问题开展了批判性研究,Wang等^[23]从宏观视角考察了城市环境中无人机技术的社会接受度。虽然已有综述针对低空无人机物流公众接受度进行了阶段性的总结,但多基于西方制度背景,难以完全解释中国情境下的复杂社会心理。此外,考虑到中国低空无人机物流研究多集中于交通工程领域的技术议题,如飞行控制、路径规划、物流网络优化等^[24-26],而对公众这一利益相关主体的接受度研究相对薄弱^[27]。因此,有必要

在现有基础上对低空无人机物流公众接受度研究进行全面回顾,并结合国际前沿与中国情境,提出未来值得关注的研究议题。

为此,本文全面检索了有关低空无人机物流公众接受度的研究。在研究范围上,明确聚焦于无人机物流的商业应用,即由地面无线电设备或机载飞控系统操纵、具备不同自动化水平且航程与续航时间有限的无人飞行器(包括 Drone 和 Unmanned Aerial Vehicle, UAV)^[28],并将公众接受度界定为人们对于一种情况、过程、条件表示赞成或同意的程度,涵盖行为意愿与实际行为^[29]。在文献检索上,采用主题检索方式,以2015年至2025年7月为时间范围(该起始年份标志着以亚马逊、谷歌为代表的全球电商和科技巨头推动无人机物流商业化,引发了全球范围的关注),在中国知网(CNKI)数据库和Web of Science(WOS)核心数据库中进行全面检索,初步获得563篇文献;在此基础上,以研究主题相关度、研究语境中低空无人机物流的应用场景、数据来源可靠度、研究结论重要度等方面为准则,确定116篇文献进行详细分析。通过对文献进行计量分析和系统梳理,明确了宏观研究态势,总结了理论模型、分析方法、关键因素与影响,构建了基本研究框架,指出了现有研究的不足与未来研究方向,为相关领域学者深入研究低空无人机物流的公众接受度问题提供了思路,为低空无人机物流系统规划者和运营者提供社会维度下的管理启示,以促进中国低空交通运输系统实现技术可行、社会可接受和运营可持续发展的协同发展。

1 文献计量分析

文献计量分析法是现代学术研究中常用的科学计量学方法,通过可视化的知识图谱分析现有文献,直观展示研究主题或学科的研究概貌和聚焦^[30-32]。为了解低空无人机物流公众接受度的宏观研究态势,本文运用CiteSpace软件,对116篇文献的年发文量、期刊分布、发文国家、研究机构、关键词进行了分析。

1.1 文献发布量和期刊分析

为明确低空无人机物流公众接受度研究的发展趋势和学科分布,本文对发文数量和期刊分布进行了分析。近10年文献统计(图1)显示,相关文献虽然总体数量较少,但伴随着全球商业化应用的推进,呈现出稳步增长与关注度持续上升的态势。在期刊分布上,跨学科特征显著,涵盖无人机物流技术与社

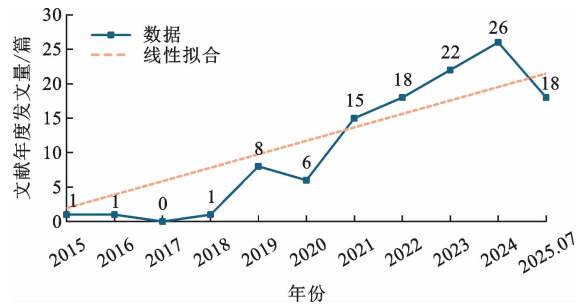


图1 2015至2025年7月的发文量

Fig. 1 Publication volume, 2015-2025.07

会影响、物流与供应链管理以及商业与消费者行为科学等多个领域,主要发文期刊包括 *Technology in Society*、*Drones*、*International Journal of Hospitality Management* 等。这种分布格局折射出“技术-社会-服务”的多元分析视角,表明该领域正逐步向多维系统综合分析演进。

1.2 发文国家和研究机构分析

为厘清低空无人机物流公众接受度研究的合作格局和研究分布,本文对发文国家和研究机构进行可视化分析。如图2所示,韩国、美国、中国、新加坡是主要的发文国家。核心研究机构包括韩国的世宗大学、新加坡的南洋理工大学等,推动了低空无人机物流公众接受度研究在全球范围内的持续发展和进步。值得注意的是,尽管中国在发文总量上居于前列,但已有研究基于中国独特制度环境和治理政策、社会文化和城乡差异及产业发展阶段等情境因素,开展理论建构与机制深入探讨的成果仍较为有限^[33-34]。总体而言,该领域已形成全球研究网络,但区域间发展不均衡,研究机构间的网络较为松散。

1.3 关键词共现和聚类分析

为把握低空无人机物流公众接受度研究的知识结构 with 热点分布,本文对关键词进行共现和聚类分析。节点的大小直观映射了关键词的出现频次,节点间的连线则表征了关键词之间的共现强度^[35]。如图3所示,技术接受模型(Technology Acceptance Model, TAM)及态度(Attitudes)等核心节点反映出当前研究以技术接受模型为理论基础,分析无人机物流属性对公众态度的驱动机制。关键词聚类分析(模块度 $Q=0.5479$, 轮廓系数 $S=0.8103$)进一步将研究内容划分为10个研究热点,包括特定配送场景下的公众接受度,影响因素研究,低空无人机物流融入城市空中交通体系的可持续性等问题。

2 模型构建与数据分析方法

由于低空无人机物流尚未实现大规模商业化应



图2 发文国家和研究机构合作网络
Fig. 2 Collaboration network of publishing countries and research institutions

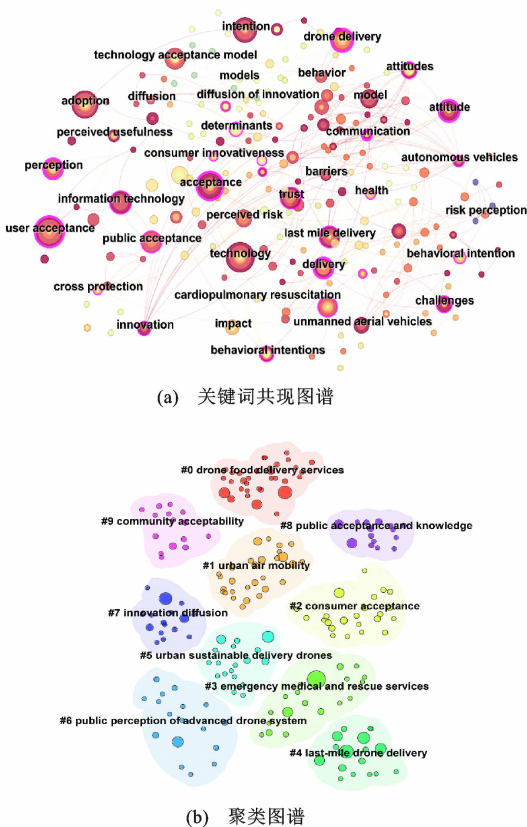


图3 研究关键词共现和聚类图谱
Fig. 3 Research keywords co-occurrence and clustering map

用,问卷调查是探究公众接受度的主要方式。现有研究普遍基于技术接受模型等设计问卷结构和题目,遵循“认知-态度-行为”的理论分析框架,并运用相关分析、回归分析或结构方程模型等统计方法,检验各变量对公众接受度的影响。

2.1 理论模型

关于低空无人机物流公众接受度的分析模型从对技术效能、经济成本与服务收益的量化权衡,逐步整合不确定性环境中的心理信任、情感反应与社会价值判断,构建了理解公众接受行为的整体性分析框架。

2.1.1 技术接受模型及其变体

技术接受模型是应用最广泛的理论框架(图4),解释公众对技术工具性价值的评估过程。首先,技术接受模型以感知有用性与感知易用性为核心变量,阐释了公众如何通过衡量无人机物流的效率提升与操作复杂度形成使用态度;TAM2 在此基础上引入工作相关性等前因变量,进一步解释了理性认知的形成^[36-38];其次,技术接受与使用统一模型(Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, UTAUT)整合了多理论视角,通过绩效期望和努力期望等变量,系统解析了公众对技术效能的评估过程^[39];其拓展模型 UTAUT2 进一步引入价格价值变量,突出了商业化应用中公众对服务性价比的理性计算^[40];最后,创新扩散理论(Diffusion of Innovations Theory, DOI)从技术传播的视角,通过相对优势、复杂性和兼容性等变量,解释了低空无人机物流的创新技术属性对公众接受度的影响^[41-43]。

2.1.2 感知风险、信任等理论模型

随着研究视角的深化,学者们在构建模型时考虑的影响因素越来越复杂。首先,对技术应用中的不确定性,研究利用感知风险变量,分析公众对隐私侵犯、安全隐患及噪音干扰等风险的感知^[44];同时,信任理论解释了公众如何在信息不对称环境下,通过对运营的能力认可和善意推断来缓解对风险的担忧,提升其接受度的作用过程^[45];其次,社会规范理论视角将分析维度拓展至社会关系网络与价值体系。计划行为理论(Theory of Planned Behavior, TPB)的主观规范以及 UTAUT 中的社会影响变量,揭示了从众心理与群体压力对技术采纳行为的作用^[36,46]。“价值-信念-规范”理论(Value-belief-norm Theory, VBN)则进一步解释了公众如何将环保信念转化为支持无人机配送的亲环境行

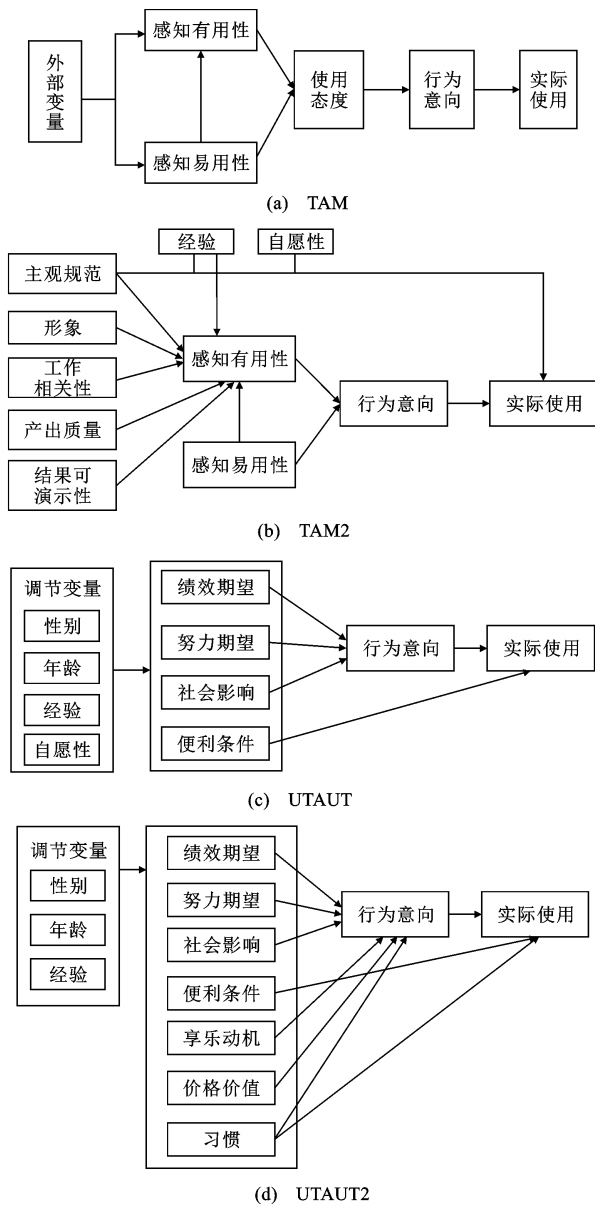


图 4 TAM、TAM2、UTAUT、UTAUT2 的结构

Fig. 4 Structure of TAM, TAM2, UTAUT, and UTAUT2 of [23,47]. 此外,UTAUT2 中的享乐动机变量,关注使用过程中的新奇感与趣味性,证明了功能满足外,技术本身带来的娱乐体验也是驱动使用意愿的重要因素[48]。

2.1.3 既有理论模型的适用性局限

相关技术接受和行为理论模型为理解低空无人机物流的公众接受度提供了基础性分析框架。然而,这些模型多源于西方制度与文化背景,直接应用于中国低空无人机物流发展场景时,面临情境适配性与外部效度等方面的挑战。

一方面,西方现有研究多将低空无人机物流置于通用航空或城市空中交通范畴,将其视为市场与企业主导的商业化交通运输解决方案[49-50]。然而,

中国低空经济具有国家战略驱动特征,低空无人机物流被定义为承载新质生产力的立体交通新业态。这种政府主导的发展模式,使得公众接受行为不仅关乎运输方式的选择,也包含对国家产业政策与基础设施规划的心理感知[51]。另一方面,既有理论模型的基本假设与中国现实情境之间存在深层次差异。西方主流经济学模型通常隐含空间中性的前提,而中国低空无人机物流的规模化推进,本质上是空域资源向生产要素转化的空间生产过程[52-53]。在高密度的社会人口环境与独特的政府治理结构下,低空空域表现出准公共产品属性[54]。现有分析框架多基于方法论个人主义,以个人效用最大化为核心视角,难以充分衡量中国情境中的宏观制度性、社会性因素对公众接受度的复杂影响[3,55]。

因此,未来研究有必要对技术接受模型等经典微观框架进行情境化拓展,构建适配中国低空无人机物流发展特征的本土化理论解释框架[56-57]。

2.2 研究方法分析

2.2.1 主要数据分析方法

低空无人机物流公众接受度研究的核心在于检验理论模型,解析影响因素的作用机制。由于涉及感知有用性、信任、感知风险等不可直接观测的潜变量,研究方法从早期的描述性统计转向采用结构方程模型(Structural Equation Model, SEM)。作为当前研究的主要分析工具,SEM 通过测量模型确立问卷观测指标与心理潜变量之间的映射关系,并通过结构模型量化潜变量之间的因果路径[58-59]。

具体而言,基于协方差的 结构方程模型(Covariance-based Structural Equation Modeling, CB-SEM)通过最小化样本协方差与模型隐含协方差的差异来估计参数,适用于验证 TAM 等成熟理论框架,但其对数据的多元正态分布、大样本量以及模型拟合度有严格假设[60-61]。相比之下,偏最小二乘结构方程模型(Partial Least Squares Structural Equation Modeling, PLS-SEM)在理论探索与预测能力上具有应用性优势[62-63]。由于低空无人机物流公众接受度研究处于理论扩展阶段,且调查数据多呈偏态分布,PLS-SEM 作为一种非参数估计方法,放宽了对数据分布的严格限制[64-65]。此外,PLS-SEM 支持反映性与形成性指标混合建模,能够处理多变量、多路径的复杂模型,契合同时推进理论构建与行为预测的研究需求[3,66]。

综上,SEM 分析工具本质上仍属于验证性分析,基于严格的假设条件,难以明晰关键因素的边际

效应和非线性规律,还需引入更深层次的量化分析方法。

2.2.2 其他数据分析方法

传统的结构方程模型侧重于考察单个因素的净效应。然而,低空无人机物流公众接受度往往是多因素并发、非对称作用的结果。为此,有学者整合了定性访谈与大规模问卷调查,并运用模糊集定性比较分析方法(Fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis, fsQCA)揭示影响因素间的非对称性关联^[67-68]。fsQCA 基于集合论与布尔代数逻辑,将影响无人机物流公众接受度的各类因素视为不同的条件组态,通过分析条件集合的必要性与充分性,识别了驱动高接受度的多种等效路径。这种混合方法有效揭示了因素间的非对称性关联,从整体论视角分析了低空物流系统的因果复杂性特征。

为提升模型的预测精度和应用价值,有学者利用机器学习算法对受访者的社会人口属性、行为习惯等特征进行深度的特征聚类,识别出具有异质性的潜在用户群体。在此基础上,构建基于效用最大化理论的 Probit 模型,解析各类群体的行为驱动因素^[69]。通过机器学习构建精准用户画像与计量模型回归分析相结合的混合方法,既有效处理了高维数据的异质性,又保留了计量模型在参数解释上的优势。

考虑到传统问卷调查存在时滞性和社会期许偏差,亦有研究利用大数据抓取公众评论,运用机器学习对非结构化的文本数据进行清洗和预处理,使用自然语言处理算法量化公众的情感倾向与情绪分布,结合主题分析深度挖掘潜在的焦点议题^[70]。该方法策略能够真实分析公众对特定事故、政策变化的即时情绪波动,然而,研究者需要重点关注社交媒体数据的非随机性偏差,并不断优化算法以应对网络语境下反讽与隐喻的识别挑战^[71]。

综上,多元数据分析方法的应用增强了研究结论的稳健性与解释深度。未来的研究应继续推进方法论的整合与创新,为全球不同文化背景国家的无人机物流的可持续发展提供理论指导^[23]。

3 影响低空无人机物流公众接受度的关键因素及其作用

探究影响低空无人机物流公众接受度的关键因素及作用是本领域研究的主要目的之一,可为后续研究提供思路和相关利益方决策提供依据,推动低空无人机物流可持续发展^[72-73]。通过对现有文献的

归纳和总结,关键影响因素可以分为 3 个维度:无人机功能属性、公众心理认知、社会人口属性^[74-75]。

3.1 无人机功能属性及影响

作为交通运输产业中的新兴形态,低空无人机物流的技术特征、服务功能与环境效益共同构成了公众建立初始认知与价值判断的现实依据。

(1)技术特征。在迈向规模化商用的过程中,无人机技术特征构成了公众接受低空无人机物流的基础。公众的疑虑和担忧主要来自技术层面的不确定性及可能引发的负外部性影响,可靠性与安全性是首要因素。无人机在应对极端复杂气象条件与高密度城市环境时的技术稳定性尚有技术瓶颈,由此引发的设备故障,货物损毁乃至人身安全风险,是削弱公众支持的负面因素^[76];其次,消费者普遍担忧无人机在飞行与配送过程中,通过图像采集、轨迹追踪等功能构成对其私人空间与信息数据的隐私侵扰^[77];再次,当前技术标准、安全认证、空域管理规则尚不完善,存在诸如通信链路被劫持等安全漏洞,公众担心这可能会导致技术被滥用(如非法运输)^[78-79];此外,规模化运营可能会引发的公共影响也应被重视,包括噪音污染、对城市天际线的视觉干扰,以及自动化技术对相关就业岗位的潜在替代效应,这些均构成公众形成负面态度的深层技术性动因^[80-81]。

(2)服务功能。低空无人机物流能否为公众所采纳,关键在于其相较于传统地面运输方式所展现出的服务优势。无人机能够突破地形限制、规避地面交通拥堵,其显著的时效性与可达性提升了高频电商用户的感知有用性与使用意愿^[43,82-83]。然而,公众的物流方式选择存在明显的路径依赖。只有在无人机运输能提供兼具成本与时效的综合优势时,公众才可能改变其固有的选择习惯^[84]。由于尚未实现规模化运营,无人机物流的服务成本仍相对较高,对于价格敏感的用户群体,抑制了替代现有物流方式的意愿^[64,85]。因此,服务功能上的潜在优势要转化为广泛的公众接受,仍需克服成本约束与既有使用习惯的双重挑战。

(3)环境效益。低空无人机物流在节能降耗与路径优化方面具备的潜力为其塑造了积极的绿色技术形象,成为吸引部分公众接受的重要因素^[86]。相关研究表明,消费者对其环境效益的认可,能够通过态度、主观规范等心理路径正向预测使用意愿^[60]。这种由环保价值驱动在接受意愿,在具备高生态消费意识和亲和力年轻群体中表现得较为明

显^[87]。值得注意的是,在物流基础设施尚不完善的地区,相较于服务的经济性、可靠性、可达性等核心技术价值,环境意识对公众接受度的解释力相对有限;只有当基础配送需求得到有效满足后,绿色属性才会成为考虑因素^[67]。但随着技术不断迭代与应用场景的持续深化,预测环境效益的驱动作用将逐步演变为影响公众长期支持态度的核心影响因素^[88]。

3.2 公众心理认知及影响

通过对现有文献的梳理,可将影响公众接受度的心理认知变量归纳为3个方面:一是正向驱动因素,主要包括感知有用性与感知易用性;二是负向抑制因素,以各类感知风险为核心;三是个体及社会情境因素,如个人创新性、信任和主观规范等。

(1)态度。态度作为个体基于理性评估与情感倾向对特定技术形成的整体评价,已被广泛证实是预测使用意愿的关键前因变量^[38,89]。在低空无人机物流的最后一公里配送场景研究中,消费者因受到相对优势、兼容性等技术正向属性影响,倾向于形成积极态度,进而转化为使用意愿^[90]。研究表明,在强调集体主义的文化环境中,主观规范和社会影响对公众态度的影响作用会超越其个体偏好^[83,91-92]。在涉及公共安全的救援或医疗物资配送等高敏感情境下,公众态度的形成更多地被技术可靠性所驱动,而非对其便利性的积极预期^[93-94]。这表明态度随着个体对技术认知的深化以及对风险收益结构的权衡而动态演变。

(2)感知有用性。感知有用性作为技术接受模型的核心变量,指个体对采用特定系统能提升其工作绩效的主观预期^[95]。与自动驾驶等其他新兴交通领域的研究一致^[96-97],当无人机在配送中展现出时效性、可靠性、空间可达性时,用户对其优化配送体验的感知有用性会显著增强,进而直接或间接转化为更高的使用意愿^[61,66]。一些研究进一步拓展了感知有用性的内涵边界,将其从主要衡量私人效用的微观维度,延伸至包含社会公共利益的层面。通过引入预期收益、感知利益等概念^[98-99],发现当无人机被应用于搜救、消防等具有明确公共福祉属性的运输场景时,公众基于社会利益预期所形成的接受态度往往更为积极^[91,100-101]。这表明感知有用性对公众接受度的驱动机制是融合了个人效用最大化与社会价值认同的综合评价过程。

(3)感知易用性。感知易用性也是技术接受模型中的核心变量,指个体预期使用某项技术所需付

出的努力期望程度,它被证实对态度及感知有用性均有正向预测作用^[102]。在无人机物流服务中,通过降低技术操作门槛、简化交互流程,能够降低用户的认知负担,改善其对技术的情感态度^[103];同时,更高的感知易用性会增强用户对技术有用性的认同^[104],间接提升使用意愿。研究表明,在人道主义物流场景中,系统与设备的实际可用性与运行可靠性是影响判断感知易用性的主要因素^[105]。此外,个人创新性特质、社会规范、用户既有的知识储备与对无人机技术的理解深度,也是影响其感知易用性和使用意愿的重要基础^[13,22,65]。

(4)感知风险。感知风险代表了公众对采纳新技术可能产生的负面后果的主观预期,对公众态度和使用意愿具有抑制作用^[106]。在无人机物流服务情境中,感知风险并非单一维度,而是由物理安全、信息隐私、感官干扰、社会秩序等多个维度相互耦合构成的复杂集合^[52,107]。其中,感知安全风险构成了公众接受的最直接障碍,主要源于公众对技术成熟度与运行可靠性的不信任^[108]。感知隐私风险的影响更为深层,易引发公众对被持续监视的担忧,不仅影响对无人机物流服务本身的评价,甚至可能导致人们因害怕隐私泄露而抑制合法的社会、政治和创新行为^[109-110]。感知噪音风险的影响在高频次运行的城市环境中更为明显,易引发烦躁与心理不适,降低公众对低空无人机物流融入日常生活的接纳程度^[111]。此外,对城市景观的视觉干扰,对公共空间的无形侵占,以及监管缺位可能引发的秩序问题,易通过级联效应放大公众的整体感知风险,对公众接受度产生深刻且持久的负面抑制作用^[91,112]。

(5)个人创新性。个人创新性反映了个体尝试新技术的内在倾向性,通过影响个体对技术相对优势、复杂性、兼容性的感知作用于公众态度^[48,87]。具体而言,高创新性个体更倾向于将无人机物流视为促进生活效率与社会进步的机遇,在认知加工过程中对潜在的负面评价进行选择过滤,从而更容易感知到技术的易用性与便利性,形成使用意愿^[91,113-116]。相反,低创新性群体则更容易对技术复杂性产生认知偏差,放大使用过程中可能遇到的功能性障碍,由此形成心理抗拒与较为负面的评价^[117-118]。因此,在低空无人机物流推广初期,将高创新性群体作为目标用户进行示范应用与体验推广,是有效降低早期市场阻力的重要策略。

(6)信任。信任是行为主体对另一方的能力与善意所持有的积极期望,其建立依赖于基于过程、特

征、制度的3种机制路径^[119]。一方面,信任指向公众对服务提供商技术能力与履约可靠性的信心,能够有效降低因信息不对称而产生的感知风险与决策成本^[3,120];另一方面,则体现为公众对政府监管能力与相关制度有效性的积极预期,构成了技术在社会层面合法化运行的基础^[56-57]。信任的核心影响在于降低感知风险与促进价值认同。研究表明,在面对隐私或安全等高风险情境时,高度的信任能够显著缓解公众的忧虑,影响其持续接受意愿^[70,121]。此外,公众对无人机物流环境友好性所形成的生态信任,也成为驱动特定环保支持者群体产生积极态度的重要信念基础^[122]。因此,建立并维护多方的信任体系,是提升和维持公众接受度的关键所在。

(7)主观规范。主观规范指的是个体的思想、信念以及随后的行为受到他人影响的情况,包括家人、朋友、媒体,是影响其态度与行为的关键社会心理因素^[123]。主观规范在理性行为理论中被首次确定,被验证是预测公众接受交通技术创新的重要指标之一^[38,124-125]。在低空无人机物流尚未普及、公众普遍缺乏直接使用经验的当下,个体难以形成基于亲身体验的独立判断。社会舆论和他人评价所构成的主观规范,在很大程度上也是影响个体形成初步认知与判断的主要依据^[22]。有研究基于UTAUT2模型发现,主观规范显著影响着新加坡民众对城市无人机物流的使用意向,凸显了在社会化决策中参照他人态度的重要性^[92]。另一项基于计划行为理论的研究也证实,主观规范对韩国民众使用无人机食品配送服务的意愿具有显著驱动作用^[102]。因此,主观规范是在新兴技术不确定性环境下,公众进行社会化学习与风险评估的重要影响因素。

3.3 社会人口属性及影响

既有文献对社会人口属性进行了广泛探讨,但关于各变量的具体影响效应尚未形成一致结论,本文主要对年龄、教育水平、性别的影响进行分析。

(1)年龄。年龄对公众接受度的影响并非简单的线性关系。在商业配送等市场化场景中,老年群体由于数字素养相对匮乏和技术熟悉度差,导致对风险的感知被放大,采纳意愿低于年轻群体^[126]。成长于数字时代的年轻群体,在技术兼容性认知、创新性特质和环境意识的驱动下,展现出更高的接受意愿^[127]。然而,在医疗药物配送场景中,年长受访者基于对健康保障的刚性需求,倾向于支持无人机物流的使用,其接受度与对无人机技术有所了解的公众相当^[128]。这表明应用场景的社会价值属性能

有效调节年龄因素的影响。在中国老龄化社会与低空经济交汇的背景下,未来需重点关注数字鸿沟对老年群体获取无人机医疗服务的公平性影响,推动适老化的配送机制设计与辅助服务体系构建。

(2)教育水平。教育水平对接受度的影响具有区域异质性。部分研究指出,拥有高等教育背景的个体,通常具备更强的认知处理能力,倾向于将自动化服务视为效率工具,能够更准确地评估技术价值,因而表现出更显著的采纳倾向,符合创新扩散理论中的早期采用者特征^[126]。然而,在技术和互联网普及率高的区域,公众对无人机物流的知识水平已通过社会网络广泛传播,降低了理解新技术的认知门槛,导致教育程度与接受度之间的关联不明显^[129]。尽管结论存在差异,相关研究均强调,在基础设施条件成熟的前提下,加强针对公众的科普教育,对于弥合知识鸿沟、优化公众态度并最终提升整体接受度具有关键作用。

(3)性别。公众性别差异深刻影响着对无人机物流的技术认知框架与风险应对策略。研究显示,女性对隐私泄露和操作安全等负面外部性风险敏感性更高,导致其初始采纳态度更为审慎^[126],但对严格监管框架表现出更高水平的支持,反映了其期望通过外部制度性约束来弥补技术信任缺口的理性策略^[108]。相比之下,男性群体更关注无人机的创新属性与功能优势,倾向于将技术风险视为可控的挑战,因此更容易形成积极的采纳意向^[22]。这要求物流服务商在推广中实施差异化沟通策略:针对女性群体应强调安全承诺与隐私保护机制,而针对男性群体则可以凸显技术创新与效率优势。

4 研究结论

本文通过文献计量和系统综述方法对低空无人机物流公众接受度文献进行了梳理与分析,总结出该领域的研究框架(图5),研究结论如下:

首先,在研究趋势方面,相关成果数量上升,韩国、美国、中国与新加坡逐渐形成核心研究集群,学术关注度持续增强;研究内容融合了无人机物流技术影响评估、物流供应链管理及消费者行为科学等领域,具有跨学科研究属性。

其次,在模型构建与数据分析方法方面,理论模型以技术接受模型及其扩展模型为基础,并逐步整合感知风险、信任等认知理论形成更为综合的分析框架,研究方法以结构方程模型等定量分析为主,并呈现与机器学习、大数据分析等多元方法融合的趋势。

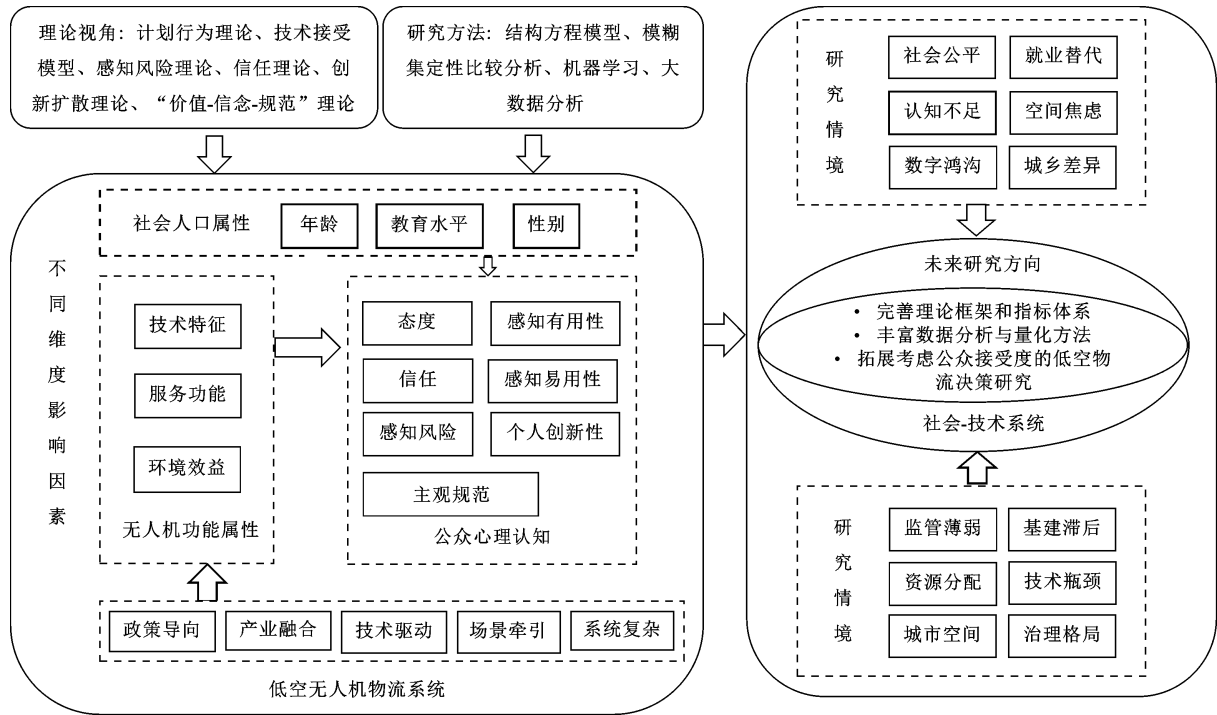


图 5 低空无人机物流公众接受度研究框架

Fig. 5 Research framework for public acceptance of low-altitude UAV logistics

最后,在影响因素及作用方面,公众接受度受技术属性-心理认知-个体特征三维要素的协同驱动:无人机功能属性维度的技术特征、服务功能、环境效益等因素是客观基础,通过公众心理认知维度的态度、感知易用性、感知有用性、感知风险、个人创新性、信任、主观规范等因素转化为行为意愿,社会人口属性因素对公众接受度具有调节作用。

5 结 语

随着中国低空经济战略推进与低空物流系统建设加速,将深刻影响城市空间和治理格局,同时也伴随着社会公平、公共安全、生态环境、就业替代等多重风险挑战^[15]。立足中国现实发展情境,未来应聚焦公众、现实和整体视角^[18],围绕以下 3 个方向进行深入研究,以增强低空无人机物流公众接受度研究对综合交通运输系统规划的决策支撑。

(1)构建中国情境下的理论分析框架。中国低空物流的发展不仅是技术创新的扩散过程,也是空域资源向生产要素转化的空间生产过程,现有技术接受模型在中国复杂发展背景下,具有情景适应性和解释力上的不足。为提升研究的外部效度与决策参考价值,未来研究需构建适配中国情境的理论分析框架。首先,立足空间政治经济学、社会-技术系统以及风险社会等视角,针对中国城市高密度人居

的空间特征,重点探究隐私侵犯、噪声干扰等负外部性风险对公众心理的具体影响和放大效应,揭示低空无人机物流融入社会系统的深层结构性矛盾,从而明确监管策略和管理规则应当聚焦的关键领域^[130-131]。其次,结合中国从低空管理向低空治理转型的制度背景,将政府监管信任、风险治理能力等宏观制度性变量纳入分析模型中,解析公众制度信任和治理预期对接受度的正向促进影响,从而论证高效能治理如何转化为低空无人机物流发展的社会支持力。最后,基于中国社会文化拓展传统技术接受模型,一方面关注老龄化社会结构和数字鸿沟,分析不同代际群体的认知差异,另一方面考虑面子文化、集体主义文化与总体国家安全观念等,明确公众在公共服务与商业消费不同场景下的差异化心理阻力,为精准测量中国情境下的公众接受度提供科学支撑。

(2)丰富数据分析与量化方法。现有研究主要采用问卷调查收集数据,分析工具多以结构方程模型等验证性方法为主,难以充分刻画公众心理的动态演变与复杂因果机制。为促进未来低空无人机物流的大规模推广应用,研究需突破单一量化验证,丰富数据分析与量化方法,提升研究的解释力与预测精度。首先,强化定性挖掘与大数据监测,以明确推广初期的潜在社会风险。研究应优先采用焦点访谈

与扎根理论,挖掘公众对隐私、噪声敏感问题的真实态度与深层情绪。同时,引入基于大语言模型的文本挖掘技术,对社交媒体及政务平台的评论和舆情数据进行情感计算与主题聚类,为社会风险的管理提供情报支持;其次,深化公众接受度的动态演变与因果推断,以评估干预策略的有效性。在时间维度上,引入纵向追踪研究与事件历史分析,解析公众从接触到接受的心理变化轨迹。在因果维度上,开展情境实验法或随机对照试验,严格量化特定推广措施对接受意愿的净效应,为政策工具的选择提供科学依据;最后,融合空间计量测度公众接受度的空间分异特征与技术扩散路径,应用定性比较分析探究技术、社会、经济等多重因素的差异化影响机制和组态效应,探究造成区域公众接受度差异的复杂成因,为制定区域适配的推广策略提供实证依据。

(3)拓展考虑公众接受度的低空物流决策研究。现有文献多侧重于从心理学或行为学视角解释公众为何接受低空物流,却鲜少探讨如何将社会认知变量转化为低空物流网络设计与路径优化的决策依据。为强化公众接受度研究对低空无人机物流决策的支撑作用,未来研究应多关注公众接受度等社会层面因素,构建考虑社会风险约束的优化模型,实现从解释行为向优化决策的跨越。首先,基于实证数据进行社会接受度的参数转化。利用结构方程模型的路径系数确定各类心理变量的影响权重,量化公众对飞行密度、噪声干扰及隐私侵犯的敏感度阈值,将非结构化的心理数据转化为数学模型中的社会风险成本或空间惩罚系数,实现社会感知数据向工程约束条件的输入。其次,构建考虑社会影响的多目标路径规划模型,在无人机物流路径规划中引入社会感知变量,构建涵盖运营效率与社会可持续性的双层规划或多目标优化模型,以最小化社会负外部性为目标函数之一;探索基于风险规避的轨迹优化算法与时间窗分配策略,在算法层面主动避让公众高敏感区域,提升物流网络的社会鲁棒性。最后,针对中国高密度人居环境,优化设施选址与网络级联设计。量化测度公共服务与商业消费场景下公众对风险-收益权衡的差异化阈值,为无人机起降场站的选址决策、航线网络的级联设计以及政府的差异化空域授权提供定量依据,实现低空无人机物流系统与地面运输网络的韧性提升。

本文还存在以下不足和局限性:一是仅是对无人机物流公众接受度在技术影响、物流管理和商业领域研究现状的梳理,进一步还可以综述公众接受

度对无人机路径优化和低空物流网络设计方面的潜在影响;二是主要依赖文献归纳研究主题,后续可结合案例研究方法,对公众行为意愿等进行深入解析;三是低空无人机物流公众接受度作为一个社会-技术系统,在新闻报道和社交媒体中的评论、传播及引用情况对其发展具有重要价值,未来可以将相关文献纳入分析范围。

参 考 文 献 :

References :

- [1] 张晓兰,黄伟熔.低空经济发展的全球态势、我国现状及促进策略[J].经济纵横,2024(8):53-62.
ZHANG Xiao-lan, HUANG Wei-rong. Development of low-altitude economy: Global trend, China's current situation, and promotion measures[J]. Economic Review, 2024(8): 53-62.
- [2] 王宝义.我国低空经济的技术经济范式分析与发展对策[J].中国流通经济,2024,38(9):14-26.
WANG Bao-yi. The technological and economic paradigm analysis and countermeasures for developing low altitude economy in China[J]. China Business and Market, 2024, 38(9): 14-26.
- [3] LEON S, CHEN C, RATCLIFFE A. Consumers' perceptions of last mile drone delivery[J]. International Journal of Logistics Research and Applications, 2023, 26(3): 345-364.
- [4] NYAABA A A, AYAMGA M. Intricacies of medical drones in healthcare delivery: Implications for Africa[J]. Technology in Society, 2021, 66: 101624.
- [5] GARG V, NIRANJAN S, PRYBUTOK V, et al. Drones in last-mile delivery: A systematic review on Efficiency, Accessibility, and Sustainability[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2023, 123: 103831.
- [6] HUANG X. The small-drone revolution is coming: Scientists need to ensure it will be safe[J]. Nature, 2025, 637(8044): 29-30.
- [7] DANNENBERGER N, SCHMID-LOERTZER V, FISCHER L, et al. Traffic solution or technical hype representative population survey on delivery drones and air taxis in Germany [R]. Berlin: Science in Dialogue and Technical University of Berlin, 2020.
- [8] European Union Aviation Safety Agency. Study on societal acceptance of urban air mobility in Europe[R]. Cologne: European Union Aviation Safety Agency, 2021.
- [9] 南京都市报.“吵到不行”!深圳多小区居民投诉直升机扰民,低空飞行噪音怎么治? [EB/OL]. (2025-01-09) [2025-11-06]. https://www.sohu.com/a/847314161_161795.
Nanjing Metropolis Daily. "It's Too Noisy!": Residents in multiple Shenzhen communities complain about helicopter noise, how to manage low-altitude flight noise [EB/OL]. (2025-01-09) [2025-11-06]. https://www.sohu.com/a/847314161_161795.

- [10] 人民网-人民日报海外版. 中国“低空经济”如何成为发展“新引擎”(国际论道)[EB/OL]. (2025-02-24)[2025-11-06]. https://www.cqtn.com/web/article/1343604026818818048/web/content_1343604026818818048.htm.
People's Daily Online - People's Daily Overseas Edition. How can China's "low-altitude economy" become a new engine for development (international perspective)[EB/OL]. (2025-02-24)[2025-11-06]. https://www.cqtn.com/web/article/1343604026818818048/web/content_1343604026818818048.htm.
- [11] European RPAS Steering Group. Roadmap for the integration of civil remotely-piloted aircraft systems into the European aviation system [EB/OL]. (2013-11-20)[2025-07-19]. <https://publicintelligence.net/eu-rpa-roadmap/>.
- [12] Department for Transport. Future of Mobility: Urban strategy [EB/OL]. (2019-03-19)[2025-07-19]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/846593/future-of-mobility-strategy.pdf.
- [13] International Transport Forum. Ready for take-off integrating drones into the transport system[EB/OL]. (2021-02-24)[2025-07-19]. <https://www.itf-oecd.org/integrating-drones-transport-system>.
- [14] 郭子昂,黄旭,卢江. 新发展阶段中国经济空间扩展的政治经济学分析[J]. 社会科学研究,2025(6):84-94.
GUO Zi-ang, HUANG Xu, LU Jiang. Political economy analysis of China's economic space expansion in the new development stage[J]. Social Science Research, 2025(6): 84-94.
- [15] 刘庆丰. 低空经济的发展逻辑、社会影响与政策取向[J]. 浙江工商大学学报,2025(6):159-168.
LIU Qing-feng. The development logic, social impact and policy system of the low-altitude economy[J]. Journal of Zhejiang Gongshang University, 2025(6): 159-168.
- [16] 刘强强. 低空经济视角下的城市治理:空间叙事、技术适配和实践限度[J]. 宁夏社会科学,2025(3):77-86.
LIU Qiang-qiang. Urban governance from the perspective of low-altitude economy: Spatial narrative, technical adaptation and practical limits[J]. Ningxia Social Sciences, 2025(3): 77-86.
- [17] HU X B, YANG C S, ZHOU J, et al. Research on 3D layered visibility graph route network model and multi-objective path planning for UAVs in complex urban environments[J]. Aerospace Science and Technology, 2025, 159: 109947.
- [18] 豆书龙,张世伟,丁大增. 从低空管理到低空治理:政策演进、研究脉络与前瞻趋势[J/OL]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2025, <https://doi.org/10.14100/j.cnki.65-1039/g4.20251114.001>.
DOU Shu-long, ZHANG Shi-wei, DING Da-zeng. From low-altitude management to low-altitude governance: Policy evolution, research context, and forward trends[J/OL]. Journal of Xinjiang Normal University (Philosophy and Social Sciences), 2025, <https://doi.org/10.14100/j.cnki.65-1039-1039/g4.20251114.001>.
- [19] 陈柳钦. 低空消费与城市空间再定义:技术与社会结构的互动[J]. 中国名城,2025,39(7):3-11.
CHEN Liu-qin. Low-altitude consumption and the redefinition of urban space: The interaction between technology and social structure[J]. China Ancient City, 2025, 39(7): 3-11.
- [20] 赵景龙. 低空经济高质量发展:内涵特征、约束条件与突破路径[J]. 当代经济研究,2025(4):27-42.
ZHAO Jing-long. High-quality development of low-altitude economy: Connotation characteristics, constraints and breakthrough paths[J]. Contemporary Economic Research, 2025(4): 27-42.
- [21] AYDIN B. Public acceptance of drones: Knowledge, attitudes, and practice[J]. Technology in Society, 2019, 59: 101180.
- [22] SMITH A, DICKINSON J E, MARSDEN G, et al. Public acceptance of the use of drones for logistics: The state of play and moving towards more informed debate[J]. Technology in Society, 2022, 68: 101883.
- [23] WANG N, MUTZNER N, BLANCHET K. Societal acceptance of urban drones: A scoping literature review[J]. Technology in Society, 2023, 75: 102377.
- [24] 张军,陈磊,高智杰,等. 低空无人机技术研究现状与展望[J]. 中国工程科学,2025,27(2):73-85.
ZHANG Jun, CHEN Lei, GAO Zhi-jie, et al. Low-altitude unmanned aerial vehicle technology: Current status and prospects[J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(2): 73-85.
- [25] 习宁,周晓琳,孙聪,等. 支持物理交互的无人机飞控系统安全测试方法[J]. 电子学报,2025,53(3):765-781.
XI Ning, ZHOU Xiao-lin, SUN Cong, et al. Security testing method for unmanned aerial vehicle flight control system supporting physical interaction[J]. Acta Electronica Sinica, 2025, 53(3): 765-781.
- [26] 崔双鹏,秦宁宁. 多约束未知环境下无人机三维路径规划[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2025,52(2):113-127.
CUI Shuang-peng, QIN Ning-ning. Three-dimensional path planning for UAV in a multi-constrained unknown environment[J]. Journal of Xidian University (Natural Science), 2025, 52(2): 113-127.
- [27] 豆书龙,张世伟,丁大增. 低空经济文献综述:研究流派与学术反思[J]. 重庆社会科学,2025(6):48-65.
DOU Shu-long, ZHANG Shi-wei, DING Da-zeng. Literature review on low-altitude economy: Academic schools and research reflections[J]. Chongqing Social Sciences, 2025(6): 48-65.
- [28] MOSHREF-JAVADI M, WINKENBACH M. Applications and Research avenues for drone-based models in logistics: A classification and review[J]. Expert Systems with Applications, 2021, 177: 114854.
- [29] UPHAM P, OLTRA C, BOSO A. Towards a cross-paradigmatic framework of the social acceptance of energy systems[J]. Energy Research & Social Science, 2015, 8: 100-112.

- [30] DONTU N, KUMAR S, MUKHERJEE D, et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines [J]. *Journal of Business Research*, 2021, 133: 285-296.
- [31] 朱 亮, 孟宪学. 文献计量法与内容分析法比较研究[J]. *图书馆工作与研究*, 2013(6): 64-66.
ZHU Liang, MENG Xian-xue. The comparative study on bibliometric method and content analysis method[J]. *Library Work and Study*, 2013(6): 64-66.
- [32] OLAYODE I O, DU B, SEVERINO A, et al. Systematic literature review on the applications, impacts, and public perceptions of autonomous vehicles in road transportation system[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2023, 10(6): 1037-1060.
- [33] SUN X F. Exploring key factors influencing urban air transport acceptance: A trust and Risk-Embedded UTAUT2 framework [J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2026, 116: 103448.
- [34] CAI L H, YUEN K F, XIE D C, et al. Consumer's usage of logistics technologies: Integration of habit into the unified theory of acceptance and use of technology[J]. *Technology in Society*, 2021, 67: 101789.
- [35] ZHU M Q, WANG Z, CUI H J, et al. Situation and hotspot analysis on rural transport infrastructure from the perspective of bibliometric analysis[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2023, 10(6): 1074-1098.
- [36] AJZEN I. The Theory of Planned Behavior[J]. *Organizational behavior and human decision processes*, 1991, 50(2): 179-211.
- [37] DAVIS F D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology[J]. *MIS Quarterly*, 1989, 13(3): 319-340.
- [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] VENKATESH V, MORRIS M G, DAVIS G B, et al. User acceptance of information technology: Toward a unified view [J]. *MIS Quarterly*, 2003, 27(3): 425-478.
- [40] 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): 157-178.
- [41] JACKSON J D, YI M Y, PARK J S. An empirical test of three mediation models for the relationship between personal innovativeness and user acceptance of technology[J]. *Information & Management*, 2013, 50(4): 154-161.
- [42] FANG S Y, RASHID U K, TE CHUAN L. Acceptance level of drone delivery among Malaysian consumers [J]. *Procedia Computer Science*, 2024, 232: 284-297.
- [43] YOO W, YU E, JUNG J. Drone delivery: Factors affecting the public's attitude and intention to adopt[J]. *Telematics and Informatics*, 2018, 35(6): 1687-1700.
- [44] CLOTHIER R A, GREER D A, GREER D G, et al. Risk perception and the public acceptance of drones [J]. *Risk Analysis*, 2015, 35(6): 1167-1183.
- [45] OKSMAN V, KULJU M, KRAMAR V. Exploring the factors influencing public acceptance and intention to use automated drone delivery systems: A trust theory approach[C]//IEEE. 2024 AIAA DATC/IEEE 43rd Digital Avionics Systems Conference (DASC). New York: IEEE, 2024: 1-9.
- [46] RAMADAN Z B, FARAH M F, MRAD M. An adapted TPB approach to consumers' acceptance of service-delivery drones[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2017, 29(7): 817-828.
- [47] KIM W, LIU Y, SU M, et al. Drone delivery and consumer behavior in last mile logistics: An empirical study in South Korea[J/OL]. *Journal of General Management*, 2026, DOI: 10.1177/03063070241269379.
- [48] YAPRAK Ü, KILIÇ F, OKUMUŞ A. Is the Covid-19 pandemic strong enough to change the online order delivery methods? Changes in the relationship between attitude and behavior towards order delivery by drone[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, 169: 120829.
- [49] YAN Y P, WANG K, QU X B. Urban air mobility (UAM) and ground transportation integration: A survey[J]. *Frontiers of Engineering Management*, 2024, 11(4): 734-758.
- [50] PAK H, ASMER L, KOKUS P, et al. Can Urban Air Mobility become reality? Opportunities and challenges of UAM as innovative mode of transport and DLR contribution to ongoing research[J]. *CEAS Aeronautical Journal*, 2025, 16(3): 665-695.
- [51] 刘祖兵. 我国低空经济发展的“冷思考”与“因应策”: 基于产业风险治理的研究[J]. *经济问题*, 2025(6): 10-21.
LIU Zu-bing. On the “sober thinking” and “corresponding strategies” of China's low altitude economic development: Analysis based on industrial risk governance [J]. *On Economic Problems*, 2025(6): 10-21.
- [52] SCHMIDT S, SARACENI A. Consumer acceptance of drone-based technology for last mile delivery [J]. *Research in Transportation Economics*, 2024, 103: 101404.
- [53] 彭 毅, 王浩名. 基于 UTAUT 改进模型的低空载人飞行器的公众接受意愿影响机制[J]. *城市发展研究*, 2025, 32(6): 26-35.
PENG Yi, WANG Hao-ming. Influencing mechanisms of public acceptance of low-altitude manned aircraft based on extended UTAUT model[J]. *Urban Development Studies*, 2025, 32(6): 26-35.
- [54] 颜 焱. 作为意义空间的低空社会: 特征、构成及韧性研究 [J]. *党政研究*, 2025(6): 95-104, 127.
YAN Ye. On the low-altitude society as a space of meaning: Its characteristics, composition and resilience[J]. *Studies on Party and Government*, 2025(6): 95-104, 127.
- [55] 郑吉伟, 初传凯. 低空经济的空间生产逻辑: 基于马克思主义政治经济学的阐释[J]. *内蒙古社会科学*, 2025, 46(5): 103-113.

- ZHENG Ji-wei, CHU Chuan-kai. The spatial production logic of the low: Altitude economy: An interpretation based on Marxist political economy [J]. *Inner Mongolia Social Sciences*, 2025, 46(5): 103-113.
- [56] WU J Q, CHEN Z W, ZHANG Z X, et al. Examining the acceptance of drone delivery services among Chinese consumers: A perspective from urban and rural areas [J]. *PLoS One*, 2025, 20(9): e0333422.
- [57] CHAN E T H, LI T E, SCHWANEN T. Societal acceptance of advanced aerial mobility in China's Greater Bay Area among young- and middle-aged adults [J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2025, 110: 88-103.
- [58] HENSELER J. Why generalized structured component analysis is not universally preferable to structural equation modeling [J]. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 2012, 40(3): 402-413.
- [59] HAIR J F J, DA SILVA GABRIEL M L D, PATEL V K. Covariance-based structural equation modeling (CB-SEM) with AMOS: Guidelines on its application as a marketing research tool [J]. *Brazilian Journal of Marketing*, 2014, 13(2): 44-55.
- [60] VERONICA V, ARIEF M, FURINTO A, et al. E-commerce user's intention to switch toward drone delivery innovation: The role of environmental concern and customers' attitude [J]. *AIMS Environmental Science*, 2024, 11(5): 847-865.
- [61] KOH L Y, LEE J Y, WANG X Q, et al. Urban drone adoption: Addressing technological, privacy and task — technology fit concerns [J]. *Technology in Society*, 2023, 72: 102203.
- [62] RINGLE C M, SARSTEDT M, STRAUB D W. Editor's comments: A critical look at the use of PLS-SEM in MIS quarterly [J]. *Management Information Systems Quarterly*, 2012, 36(1): 1-12.
- [63] GOH T T, SUN S S. Exploring gender differences in Islamic mobile banking acceptance [J]. *Electronic Commerce Research*, 2014, 14(4): 435-458.
- [64] MATHEW A O, CHOWDHURY S, DEVPURA S, et al. Factors influencing technology acceptance of drones for last-mile food deliveries: An adaptation of the UTAUT2 model [J]. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2023, 2023: 7399080.
- [65] CHEN C, LEON S, RACTHAM P. Will customers adopt last-mile drone delivery services? An analysis of drone delivery in the emerging market economy [J]. *Cogent Business & Management*, 2022, 9(1): 2074340.
- [66] LEONG M K, KOA Y K Y. Towards a unified model of consumers' intentions to use drone food delivery services [J]. *International Journal of Hospitality Management*, 2023, 113: 103539.
- [67] BADU-BAIDEN F, CHIU W, HAGAN E, et al. Unmanned deliveries: A complexity theory approach to understand consumer acceptance and intention in drone food delivery in Africa [J]. *International Journal of Hospitality Management*, 2025, 130: 104234.
- [68] SHAM R, CHONG H X, CHENG-XI AW E, et al. Switching up the delivery game: Understanding switching intention to retail drone delivery services [J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2023, 75: 103478.
- [69] TAMAKLOE R, ZHANG K H, ATANDZI J, et al. Examining urban delivery service user profiles and determinants of drone delivery adoption in Ghana considering usage before and after the COVID-19 pandemic [J]. *Transport Policy*, 2024, 146: 279-294.
- [70] MAHMOUD A B, MAHROOF K. The proof is in the pudding: Public beliefs, emotions and sentiments on drone deliveries in extreme contexts [J]. *European Journal of Marketing*, 2025: 1-59.
- [71] MAHMOUD A B, FUXMAN L, ASAAD Y, et al. Exploring new realms or losing touch? Assessing public beliefs about tourism in the metaverse — a big-data approach [J]. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 2025, 37(4): 1384-1420.
- [72] HO S S, CHEUNG J C. Trust in artificial intelligence, trust in engineers, and news media: Factors shaping public perceptions of autonomous drones through UTAUT2 [J]. *Technology in Society*, 2024, 77: 102533.
- [73] YAO E J, GUO D B, LIU S S, et al. The role of technology belief, perceived risk and initial trust in users' acceptance of urban air mobility: An empirical case in China [J]. *Multimodal Transportation*, 2024, 3(4): 100169.
- [74] RAM S, SHETH J N. Consumer resistance to innovations: The marketing problem and its solutions [J]. *Journal of Consumer Marketing*, 1989, 6(2): 5-14.
- [75] KIM W, HUR S H. Why and why not? Systematic review of the willingness to accept drone and robot deliveries [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2024(2678): 945-962.
- [76] WATKINS S, BURRY J, MOHAMED A, et al. Ten questions concerning the use of drones in urban environments [J]. *Building and Environment*, 2020, 167: 106458.
- [77] ZHU X, PASCH T J, BERGSTROM A. Understanding the structure of risk belief systems concerning drone delivery: A network analysis [J]. *Technology in Society*, 2020, 62: 101262.
- [78] SCHARF R L. Drone invasion: Unmanned aerial vehicles and the right to privacy [J]. *SSRN Electronic Journal*, 2018, 94(3): 1-43.
- [79] KELLERMANN R, BIEHLE T, FISCHER L. Drones for parcel and passenger transportation: A literature review [J]. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2020, 4: 100088.
- [80] EIBFELDT H, BIELLA M. The public acceptance of drones — Challenges for advanced aerial mobility (AAM) [J]. *Transportation*

- Research Procedia, 2022, 66: 80-88.
- [81] KÄHLER S T, TOMAT M, LUNA-RODRIGUEZ A, et al. Assessing the acceptance and aesthetics of unmanned aerial vehicles (drones): An experimental and survey-based comparison between students and older adults[J]. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2025, 32: 101497.
- [82] SILVA A T, DUARTE S P, MELO S, et al. Attitudes towards urban air mobility for E-commerce deliveries: An exploratory survey comparing European regions[J]. *Aerospace*, 2023, 10(6): 1-16.
- [83] MATHEW A O, JHA A N, LINGAPPA A K, et al. Attitude towards drone food delivery services: Role of innovativeness, perceived risk, and green image[J]. *Journal of Open Innovation, Technology, Market, and Complexity*, 2021, 7(2): 144.
- [84] MERKERT R, BLIEMER M C J, KHAN F. Consumer preferences for innovative and traditional last-mile parcel delivery[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2022, 52(3): 261-284.
- [85] PARK J, KIM S, SUH K. A comparative analysis of the environmental benefits of drone-based delivery services in urban and rural areas[J]. *Sustainability*, 2018, 10(3): 1-15.
- [86] LI Y Y, YANG W, HUANG B. Impact of UAV delivery on sustainability and costs under traffic restrictions[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 2020(3): 1-15.
- [87] HWANG J, KIM H. Consequences of a green image of drone food delivery services: The moderating role of gender and age [J]. *Business Strategy and the Environment*, 2019, 28(5): 872-884.
- [88] GOMES S, LOPES J M, TRANCOSO T. Aerial pathways to resilience: The acceptance of drones in logistics transformation [J]. *Future Business Journal*, 2025, 11(1): 102.
- [89] CESUR A, YİĞENOĞLU K, AYDIN İ, et al. A bibliometric analysis of empirical studies on drone delivery[J]. *Journal of the Social Sciences Institute of Yüzüncü Yil University*, 2022 (58): 118-133.
- [90] WANG X Q, YUEN K F, WONG Y D, et al. E-consumer adoption of innovative last-mile logistics services: A comparison of behavioural models [J]. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2018: 1-27.
- [91] KELLERMANN R, BIEHLE T, MOSTOFI H. Modelling public attitude towards drone delivery in Germany [J]. *European Transport Research Review*, 2023, 15(1): 38.
- [92] LI X, LEE G J X, YUEN K F. Consumer acceptance of urban drone delivery: The role of perceived anthropomorphic characteristics[J]. *Cities*, 2024, 148: 104867.
- [93] ZHU X. Segmenting the public's risk beliefs about drone delivery: A belief system approach [J]. *Telematics and Informatics*, 2019, 40: 27-40.
- [94] BAFOUNI-KOTTA A, VILLANUEVA J, KALAKOU S, et al. Upcoming drone delivery services: A perceptions-based clustering of citizens in Lisbon[J]. *Technology in Society*, 2023, 73: 102250.
- [95] WARIS I, ALI R, NAYYAR A, et al. An empirical evaluation of customers' adoption of drone food delivery services: An extended technology acceptance model [J]. *Sustainability*, 2022, 14(5): 1-18.
- [96] CHEN S Y. Green helpfulness or fun? Influences of green perceived value on the green loyalty of users and non-users of public bikes[J]. *Transport Policy*, 2016, 47: 149-159.
- [97] WU J W, LIAO H, WANG J W, 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.
- [98] CHAMATA J, WINTERTON J. A conceptual framework for the acceptance of drones [J]. *The International Technology Management Review*, 2018, 7(1): 34-46.
- [99] HWANG J, KIM J J. Expected benefits with using drone food delivery services: Its impacts on attitude and behavioral intentions [J]. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 2021, 12(3): 593-606.
- [100] TEPYLO N, DEBELLE L, LALIBERTE J. Public perception of remotely piloted aircraft systems in Canada[J]. *Technology in Society*, 2023, 73: 102242.
- [101] TEPYLO N, STRAUBINGER A, LALIBERTE J. Public perception of advanced aviation technologies: A review and roadmap to acceptance[J]. *Progress in Aerospace Sciences*, 2023, 138: 100899.
- [102] CHOE J Y, KIM J J, HWANG J. Innovative marketing strategies for the successful construction of drone food delivery services: Merging TAM with TPB[J]. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 2021, 38(1): 16-30.
- [103] KIM Y, WANG L S, NOH J, et al. Exploring the role of innovation diffusion and trust transfer on technology acceptance: Intention to use drone delivery service in China [J]. *Asian Business & Management*, 2025, 24(3): 357-384.
- [104] TORAMAN Y, ÖZ T. The use of new technologies in Logistics: Drone (UAV) use in last mile delivery [J]. *Sosyoekonomi*, 2023, 31(58): 105-124.
- [105] EDWARDS D, SUBRAMANIAN N, CHAUDHURI A, et al. Use of delivery drones for humanitarian operations: Analysis of adoption barriers among logistics service providers from the technology acceptance model perspective[J]. *Annals of Operations Research*, 2024, 335(3): 1645-1667.
- [106] BERKE A, DING G, CHIN C, et al. Drone delivery and the value of customer privacy: A discrete choice experiment with U. S. consumers [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2023, 157: 104391.
- [107] OSAKWE C N, HUDIK M, ŘÍHA D, et al. Critical factors characterizing consumers' intentions to use drones for last-mile delivery: Does delivery risk matter? [J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2022, 65: 102865.
- [108] KOSHITA N, DEVI Y, CHAUHAN C. Evaluating barriers to the adoption of delivery drones in rural healthcare supply chains: Preparing the healthcare system for the future[J].

- IEEE Transactions on Engineering Management, 2024, 71: 13096-13108.
- [109] NELSON J R, GRUBESIC T H, WALLACE D, et al. The view from above: A survey of the public's perception of unmanned aerial vehicles and privacy[J]. Journal of Urban Technology, 2019, 26(1): 83-105.
- [110] CLARKE R. The regulation of civilian drones' impacts on behavioural privacy[J]. Computer Law & Security Review, 2014, 30(3): 286-305.
- [111] SABINO H, ALMEIDA R V S, DE MORAES L B, et al. A systematic literature review on the main factors for public acceptance of drones[J]. Technology in Society, 2022, 71: 102097.
- [112] WANG N, MUTZNER N, BLANCHET K. 'We need time ...': An expert survey on societal acceptance of urban drones [J]. Science and Public Policy, 2025, 52(3): 356-374.
- [113] SHAHZAD K, ZHANG Q Y, ASHFAQ M. Understanding customer attitudes and behaviors towards drone food delivery services: An investigation of customer motivations and challenges [J]. Journal of Hospitality Marketing & Management, 2023, 32(8): 1025-1047.
- [114] VALENCIA-ARIAS A, RODRÍGUEZ-CORREA P A, PATIÑO-VANEGAS J C, et al. Factors associated with the adoption of drones for product delivery in the context of the COVID-19 pandemic in medellín, Colombia[J]. Drones, 2022, 6(9): 1-19.
- [115] CHI N T K, PHONG L T, HANH N T. The drone delivery services: An innovative application in an emerging economy [J]. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 2023, 39(2): 39-45.
- [116] HWANG J, KIM J J, LEE K W. Investigating consumer innovativeness in the context of drone food delivery services: Its impact on attitude and behavioral intentions[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 163: 120433.
- [117] GANJIPOUR H, EDRISI A. Applying the integrated model to understanding online buyers' intention to adopt delivery drones in Iran[J]. Transportation Letters, 2023, 15(2): 98-110.
- [118] KHALIL A, SHANKAR A, BODHI R, et al. Why do people resist drone food delivery services? An innovation resistance theory perspective [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2024, 71: 13038-13048.
- [119] ZHANG T R, TAO D, QU X D, 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.
- [120] LEON S, CHEN C, RATCLIFFE A. Consumers' perceptions of the environmental and public health benefits of last mile drone delivery[J]. International Journal of Logistics Research and Applications, 2025, 28(11): 1342-1366.
- [121] PANDE D, TAEIHAGH A. A governance perspective on user acceptance of autonomous systems in Singapore [J]. Technology in Society, 2024, 77: 102580.
- [122] SHAHZAD M F, YUAN J B, SHAHZAD K. Elevating culinary skies: Unveiling hygiene motivations, environmental trust, and market performance in drone food delivery adoption in China[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2024, 203: 123375.
- [123] GIANG P T, TRANG P T, YEN V T. An examination of factors influencing the intention to adopt ride-sharing applications: A case study in Vietnam[J]. Imperial Journal of Interdisciplinary Research, 2017, 3(1): 618-623.
- [124] 庄晓萍,袁昌兵,魏秋江,等. 行为推理理论:理解行为成因的新视角[J]. 心理学进展, 2014(3): 447-456.
- ZHUANG Xiao-ping, YUAN Chang-bing, WEI Qiu-jiang, et al. Behavioral reasoning theory: A new perspective of understanding the causes of behavior [J]. Advances in Psychology, 2014(3): 447-456.
- [125] PANAGIOTOPOULOS I, DIMITRAKOPOULOS G. An empirical investigation on consumers' intentions towards autonomous driving [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018, 95: 773-784.
- [126] MELO S, SILVA F, ABBASI M, et al. Public acceptance of the use of drones in city logistics: A citizen-centric perspective [J]. Sustainability, 2023, 15(3): 1-9.
- [127] SAID M, AESCHLIMAN S, STATHOPOULOS A. Robots at your doorstep: Acceptance of near-future technologies for automated parcel delivery[J]. Scientific Reports, 2023, 13: 18556.
- [128] CHEN C, NAKAYAMA M, RACTHAM P. Increasing the intention of Gen Zers to adopt drone delivery services based on a three-step decision-making process[J]. Cogent Business & Management, 2023, 10(1): 2188987.
- [129] FASTERHOLDT I, KNUDSEN M P, FROM N, et al. Future healthcare logistics: A survey of the public opinion on drones in Denmark [J]. Drone Systems and Applications, 2023, 11: 1-8.
- [130] 张洪海,吕文颖,万俊强,等. 扇区空中交通风险态势网络建模与演化特征[J]. 交通运输工程学报, 2023, 23(1): 222-241.
- ZHANG Hong-hai, LYU Wen-ying, WAN Jun-qiang, et al. Network modeling and evolution characteristics for air traffic risk situation in sectors [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2023, 23(1): 222-241.
- [131] 李诚龙,屈文秋,李彦冬,等. 面向 eVTOL 航空器的城市空中运输交通管理综述[J]. 交通运输工程学报, 2020, 20(4): 35-54.
- LI Cheng-long, QU Wen-qiu, LI Yan-dong, et al. Overview of traffic management of urban air mobility (UAM) with eVTOL aircraft [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2020, 20(4): 35-54.