

无人配送车在电商末端配送中的应用及其多维经济影响研究

夏 薇

浙江理工大学理学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年8月13日; 录用日期: 2025年8月25日; 发布日期: 2025年9月15日

摘 要

随着电子商务的蓬勃发展, 物流末端配送的“最后一公里”问题日益凸显。本文基于当前末端配送中无人配送车的发展和应用, 系统分析了其对电商经济多维影响, 深入剖析了技术难度、人机协同关系和政策法规缺失等挑战, 并提出产学研合作、就业转型培训和专项法规制定等针对性对策, 旨在分析无人配送车对电商物流末端的多维影响。

关键词

电子商务, 无人配送车, 末端配送

Research on the Application of Autonomous Delivery Vehicles in the Last Mile Delivery of E-Commerce and Their Multi-Dimensional Economic Impacts

Wei Xia

School of Science, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

Received: Aug. 13th, 2025; accepted: Aug. 25th, 2025; published: Sep. 15th, 2025

Abstract

With the vigorous development of e-commerce, the “last mile” problem in the final delivery of logistics has become increasingly prominent. Based on the current development and application of autonomous delivery vehicles in the final delivery, this paper systematically analyzes their multi-

dimensional impacts on the e-commerce economy, deeply explores the challenges such as technical difficulties, the relationship between humans and machines, and the lack of policies and regulations, and proposes targeted countermeasures such as industry-university-research cooperation, employment transformation training, and the formulation of special regulations, aiming to analyze the multi-dimensional impacts of unmanned delivery vehicles on the final stage of e-commerce logistics.

Keywords

E-Commerce, Autonomous Delivery Vehicles, Last-Mile Delivery

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在经济社会迅速发展和消费行为转变的背景下,我国快递业务量迅猛增长,快递行业深入到市场经济活动的方方面面并在其中扮演重要角色。据国家邮政局 2025 年 1 月发布的数据显示,2024 年全国快递业务量达 1750.8 亿件,同比增长 21.5%,业务收入突破 1.4 万亿元,同比增长 13.8%。总而言之,近几年来快递行业的业务量与营业额收入呈现快速增长的趋势[1]。然而末端配送环节的瓶颈日益凸显,成为制约行业发展的关键障碍。随着人口红利的消失,末端配送人力成本的上涨;直播电商、社区团购等新业态的“半日达”“预售闪购”等对配送时效性提出更高要求,传统人力配送模式已逐渐不再适用当下市场,需要寻求破解。无人配送车因其适配复杂场景和载重大的特性,被视为一种创新解决方案。然而现有研究多聚焦于无人配送车的技术实现(如求解配送机器人的路径规划数学模型[2]、建立物流配送路径规划模型[3]),或单一维度的成本分析,忽视其对电商经济的系统性影响——包括对电商成本、效率的重构、商业模式创新、就业结构冲击和城乡市场格局的重塑等。要实现无人配送车的大规模落地,其对末端配送的系统性影响仍需综合考察。基于此,本文系统剖析无人配送车在末端配送中对电商经济的多维影响,并探讨其落地挑战与未来方向,为电商物流智能化转型提供理论支撑。

2. 末端配送概述

2.1. 末端配送的定义与重要性

末端配送常被叫做物流的“最后一公里”,其本意是指长途跋涉过程中完成的最后一段路程[4],后被引申为完成一项工作过程中,最后且关键性的一个步骤。在物流领域中,其本质是指物流服务链的末端配送,在末端节点将货物送到顾客手中,以满足顾客需求。物流末端配送的质量与水平关系到消费者对于整个物流进程的消费体验需求的满足程度,进而影响到物流末端配送的经济绩效和社会效益,影响其价值创造能力[1]。

2.2. 末端配送现存瓶颈

物流末端配送作为电子商务物流链条的关键环节,但当前仍面临三大问题:经济成本高、效率和时效受限和可靠性和隐私风险。这些问题多源于传统人力物流模式的固有局限,特别是“有人”配送员的不确定性和主观偏差,考虑引入创新技术干预以实现优化。

2.2.1. 经济成本高

有研究发现,物流“最后一公里”配送成本占整个物流配送成本的30%以上[5]。传统人力配送单件成本8~10元,其人力成本约占到末端快递总成本的72%。以北京地区为例,快递员的平均月工资由2019年的8000元上涨到了2024年的1.2万元,相比于2019年提高了50%,平均每年上涨约8%,企业利润减少[6]。这一人工成本压力不仅会加重企业的运营压力,还可能会以潜在价格上调的方式或附加服务费的方式将成本暗中转嫁到用户上,进而引发消费者投诉问题,最后在价格敏感的市场中,降低消费者用户忠诚度。

2.2.2. 效率和时限受限

传统人力配送模式受限于四重约束:一是路径规划依赖经验,无效折返率高,延长服务周期;二是城市交通管制收紧,货车限行范围占核心城区面积80%[7],配送车辆日均有效作业时间压缩;三是劳动力供给短缺,2024年全国快递员缺口达30万人,在大促“双十一”“618”等电商运营高峰期中进一步放大问题;四是我国城市物流夜间配送效率远高于白天的配送效率,目前普遍配送时间集中在白天,其效率受到等待停留时间及交通拥堵状况的显著影响。这些问题主要源于“有人”配送下,决策容易受到主观判断影响和体力问题,无法实时优化路径或应对突发交通变故,效率偏低;同时低技能重复岗位职业吸引力低,季节性岗位人员流动大。与此同时,随着直播电商“预售+半日达”、社区团购“次日达”等新业态的兴起,对末端配送时效提出更高要求,传统模式的效率短板愈发凸显。

2.2.3. 可靠性和隐私风险

行业数据显示,末端配送单次失败率达12%,网购快递服务满意度仅38.9%,其中“配送延迟”“货物破损”“信息断层”三大问题的投诉占比高[5]。此外,隐私泄露风险日益凸显。配送延迟和货物破损问题多因配送员疲劳、经验不足或主观疏忽(如粗暴装卸)引发;信息断层则依赖配送员手动处理个人信息(如地址、联系方式),无法实时跟踪快递物流情况、通知延迟或状态更新慢和不连贯,跟顾客的沟通不及时;隐私泄露上过度依赖人工诚信缺乏标准化防护,易因疏忽或恶意行为暴露用户数据。这种体验短板不仅直接降低用户复购率更会削弱消费者对电商渠道的信任基础。“最后一公里”配送的短板可以通过无人化转型规避人为错误,在降本增效的同时提升效率。

3. 无人机配送的发展与应用

3.1. 无人配送类别

早期传统物流配送方式主要依赖“有人”+车辆的配送,在配送过程中不可避免地会受到人为因素和道路交通状况的限制,从而影响其灵活性。随着AI和物联网的进步,无人设备兴起,无人机(UAVs)和无人配送车(ADVs)走进大众视线。无人机利用电池驱动,可实现直线航行,不受道路交通限制,具备良好的灵活性。其自主导航系统主要依赖全球导航卫星系统(GNSS)、视觉传感和避障技术,配合自动发射及回收装置,实现较高自动化水平[8]。然而无人机配送技术受限于飞行区域、飞行高度等政策条件,以及易受恶劣天气影响,无人机配送技术目前在末端物流配送环节尚未得到广泛应用[9]。相比之下,无人配送车凭借其低成本、高效率及较强的天气适应能力等优势,逐渐成为更多物流企业的研究和应用重点。采用轮式或履带式结构,基于多模态传感器与智能路径规划算法规划路线,更加适合复杂的城市物流环境,尤其在“最后一公里”配送场景中展现出较强优势。

3.2. 无人配送车的技术特点与优势

无人配送车(ADVs: Autonomous Delivery Vehicles),能够在道路上自主行驶、感知路况、与用户交互

并及时将快递或其他物品交付给用户的设备[1]。无人配送车的技术特点核心主要分为感知和行为，依赖感知方向中多模态传感器的环境感知和高精地图定位功能，对周围环境进行精准识别，完成无人配送车的位置定位和导航；行为方向的智能决策则根据环境感知技术反馈的结果，实时规划最优路径，规避障碍物的同时计划生成正确的驾驶行为，控制执行功能则控制车辆转向、加减速与制动完成相应车辆动作，这些特点使无人配送车在复杂城市环境中表现出色。无人车配送，通过减少对人工介入，依靠自动化操作，一定程度上减少对人力配送员依赖，缓解劳动力不足的问题；优化配送路径，减小无效折返率，提高配送时效和减少隐私泄漏风险，甚至分时段配送系统不仅满足顾客日益提升的配送需求，提高顾客满意度，还顺应了末端配送电动化、无人化的发展趋势。

3.3. 无人配送的应用现状

国外无人配送车研发公司较著名的有亚马逊、DHL、Nuro、Starship Technologies、Tele Retail、Alert Innovation 等[10]。荷兰公司 Flevobike 开发的 Cubicycle 已被引入 DHL 网络，并在此基础上开展新型末端配送系统的试验。该系统硬件装备主要包括 CityHub、Container 和 Cubicycle 三个核心组件，CityHub 是一种定制化的“集装箱拖车轨道”，底盘装载 4 个 Container 货运箱，底部配备导轮在 CityHub 与 Cubicycle 之间快速转换，箱内还设有简易双层货架；Cubicycle 是一种可拆卸的卧式货运四轮车，其最大载重量可达 125 kg，电动助力续航里程为 50 km；一个 CityHub 可搭配 2~3 台 Cubicycle，每日配送包裹量达 140~200 个，有效降低末端配送成本，提升配送效率[11]。

在国内其无人配送车的发展同样迅猛，已有快递公司，例如韵达在灌云、云和、济南等地开始逐步试点部署“九识”。客户可以在即将送达过程中自由选择停靠点和配送时段，在配送仓储站，派件员将待配送物品分拣后放入车辆储物格内，随后车辆自动驶向设定的停靠点，并在即将到达前向收件人发送信息，内容包括预计到达时间和具体地点，到达后，再发送取件码的消息，收件人输入完成取件后，车辆将自动返回或前往下一个客户点[12]。

4. 无人配送对电商经济的多维影响

4.1. 成本降低和效率提升

根据国家统计局发布的数据报告，2013 年至 2024 年期间，16~59 岁的劳动人口减少了 5298 万，随着人口红利的逐渐消退，社会劳动力成本呈现上升态势。在城市末端物流配送领域，单纯依赖人力以维持配送效率的传统模式正逐渐被时代所淘汰。无人物流车的投入使用可帮助快递公司减少末端配送成本。例如，物流企业通过数字化转型降本增效，将单件快递配送成本从 0.7 元降至 0.15 元。与之相对应的，人力成本的增加，无人配送车的成本优势会更加明显[11]。不仅能够带来成本优势，运营效率也随之跃升。以日均 8000 件配送量的网点为例，无人配送车的使用让每件快递成本平均降幅 70%，配送时效提升 20%~30% [13]。此外，目前无人配送车已能够在市区环境下实现无安全员 24 小时运行，单车的运输片件在 800 片以上，单件成本可以降低到 0.152 元。在“双十一”、春节等快递业务高峰期，无人配送车的作用尤为突出，运送效率提高到传统人工配送模式的两倍，高频次运行，单辆无人配送车每天配送 2000 件包裹，承担大量的派件任务，降低快递员的工作强度和网点的配送负担，又为应对业务高峰期提供了更灵活的运力支持和更可靠的服务保障[13]。更关键的是，运营效率的同时，全程数字化管理让信息断层不再存在，减少用户投诉，形成正向循环。

4.2. 就业结构冲击和模式创新

技术革新在推动产业升级的同时，也引发了就业结构的深刻变化。尤其是在公共卫生事件导致经济

下行的大背景下,就业压力愈发严峻。随着无人车在末端配送中的应用,2027年相关岗位数量预计将明显减少,这意味着传统配送模式中的驿站和快递人员将面临利益受损。无人配送车凭借低成本和易操作的优势逐步取代人工配送,驿站布局逐渐从数量扩张转向质量提升。与此同时,无人配送车的研发与应用进一步减少了配送中心至城市节点环节中的人力需求,从而使配送中心-物流节点-消费者这一链条中的多个环节均出现低技能岗位的缩减[14]。尽管新兴的监控与维护岗位就业机会虽能吸纳部分劳动力,但整体就业格局亟需平衡。这种结构性失业可能加剧社会不平等,特别是对低技能劳动者的伦理冲击未被充分考虑,类似技术在欧美物流行业的引入已导致末端配送岗位减少。

与此同时,无人配送在对就业产生冲击的同时,也不断催生新的业务模式。从最初的无人配送车只是部分替代人工配送员职能,物流两端(取件和派件)给小哥,运输交给小车的模式,一定程度上降低人工成本;到后来随着AI和无人设备的发展,直配终端模式出现,突破中转限制,货架式无人车与快递分拣设备联动,包裹直接从分拨中心直送驿站,减少中转与仓储环节,提高配送时效;再到针对办公楼、医院、公寓、商超、酒店等场所,室外由无人车配送、室内机器人配送、中间小哥做衔接工作,进一步减少人工介入;如今快递公司或网点运营商投资成立基于无人车的共享共配运力平台,降低中小物流企业的运输成本,覆盖更广市场。这些新业务形态表明,无人配送正在从单纯的技术层面带来的优势转向商业生态的重构,其价值创造向网络协同和模式创新方向延伸。

4.3. 格局变动:推动农村电商发展

根据我国商务部发布的农村电商统计数据,2020年度零售额为1.79万亿元,2021年为2.05万亿元,2022年为1.98万亿元,2023年为2.45万亿元,2024年2.73万亿元,农村地区网络零售额整体呈上升趋势。农村电商的兴起不仅为农产品搭建起广阔的销售平台,有效化解了产销不畅的困境,而且还通过畅通工业品下行渠道,让农村居民得以享用到质优价廉的工业产品[6]。得益于互联网的快速发展,农村电商市场仍拥有较大的发展空间,但是其相对落后的物流配送体系可能会阻碍市场发展。过去,乡镇农村快递业务量相对较少,车辆配送经济成本高、行车路程距离远和农村人口居住密度低且分布较为分散,加上物流需求碎片化严重,路网规划不合理,交通基础设施落后的问题,导致末端配送成本高、运送时效难以保证。而现如今,随着车辆的投入运营使用,快递员仅需执行简单操作,车辆便能够自主地将快件准确送达既定的站点。这种新型配送模式不仅显著提升投递灵活性,还降低人工投递所需的时间和经济成本。尤其是随着技术迭代更新,优化车辆底盘设计,提高配送载重量,有效破解快递“下乡进村”过程中的末端配送难题,有力地推动了电商在县域以及农村市场的进一步渗透,进而有助于缩小城乡电商发展的差距[13]。

5. 无人配送车的挑战分析

本章从技术、人机关系和政策三个维度剖析无人车配送的挑战,基于实际案例和研究现状进行深入讨论。

5.1. 技术难度大

无人配送车对车辆的技术要求高,一般需配备L4级自动驾驶水平,需要车辆能够精准感知周边环境,实现高精度的自身定位,且具备对路障行为进行理解、预测的能力,在实际推广应用,尤其是在在社区、商超以及办公区域等复杂环境,场景多样性和道路复杂度的显著增加,自动驾驶识别率偏低[14]。例如深圳某无人快递车由于地图未及时更新从而误入公交车道,造成车辆拥堵,这一案例反映出,尽管无人驾驶车均已达到L4级(高度自动化),但传统地图更新周期长,实际道路却是时刻发生变化,技术迭

代速度无法匹配场景复杂度。与此同时，在人车混行这种常见的街道场景下，无人车平均通过耗时长，效率损失大。

5.2. 人机协同不足

在当前末端配送环节，无人配送车并非完全取代人力，而是主要承担中转运输任务。在此背景下，实现与快递员的有效衔接协作已成为核心难题。实际操作中，无人车抵达指定地点后，快递员需额外耗时进行货物转接与整理，这一环节缺乏标准化流程规范，导致整体配送效率未见显著提升。并且企业在推进无人配送技术时，以效率最大化为单一目标，忽略了对快递员的技能再培训与转型支持。在城市末端物流配送过程中，配送人员面临着工作强度大、劳动条件较为艰苦以及基础保障措施不够完善等问题。这些问题的存在，使得该岗位的人员流动率居高不下，人员稳定性也难以得到有效保障。为了维持企业的正常运营，一些物流公司不得不降低末端物流配送人员的入职门槛。然而，这一做法却直接导致了从事末端物流配送工作的人员整体素质相对较低，且缺乏足够数量的专业从业人员。与“无人机”协同工作所需能力门槛超过低技能劳动者的知识储备，可能形成难以逾越的转型鸿沟[15]。以顺丰同城构建的“无人车 + 快递员”协同配送体系为例，虽然理论上无人车负责支线运输与短途接驳，骑手负责末端配送，实现运力资源优化配置，但在一些高峰时段，由于无人车与快递员的任务分配不合理或操作失误问题仍出现配送延迟的情况。现有人机协同模式难以灵活应对，无法充分发挥无人配送车与人力的优势。

5.3. 政策标准缺位

截至目前，我国虽已出台多部物流行业相关法律法规及行业规范标准指导文件，但针对末端无人配送车的统一规范尚未形成。根据 YZ/T0182-2022《寄递无人车技术要求》中要求车辆的行驶速度不得大于 25 km/h，而根据《北京市无人配送车道路测试与商业示范管理办法(试行)》所要求，车辆的最高行驶速度不大于 15 km/h，市场上标准不统一，给相关管理工作带来极大困难。总体而言，无人配送车相关的法律法规及行业规范标准滞后于其发展速度，并且现行法规体系难以适配无人驾驶车的场景责任认定。以深圳地区 L4 无人车撞伤行人案(2025)为例，运营方、算法方和车体供应商相互推诿，但由于我国现阶段的标准体系不明，关于无人配送车的事纠纷仍适用《道路交通安全法》，根据法规要求在交通事故责任划分方面，遵循现行的规则进行认定。在涉及无人驾驶车辆事故中，若该车辆在事故发生时处于自动驾驶状态，那么车辆制造商或技术提供者可能会被认定为承担主要责任，但如果人为干预了无人驾驶车辆，如司机或维护人员等，则主要责任可能会转移到其身上，实际情况应该根据交警出具的《交通事故责任认定书》进行赔偿[16]。对比国际现状，日本早已在 2020 年发布了《关于自动配送机器人标准放宽认证制度》，规范无人配送车测试安全措施[9]。

6. 挑战应对措施

6.1. 技术突破：加强产学研合作

无人车企业应当与高校进一步深化合作，加大技术研发力度，加快产学研合作，加快技术研发应用速度，优化路径规划算法和环境感知系统，分离感知、决策和执行层，适应无人配送车在不同城市市场场景下的配送能力，提高无人车在复杂环境中的识别准确率。例如可建立极端案例库，采集城中村窄道会车、老旧小区人车混行等场景数据，通过千万级虚拟里程训练，提高危险场景处理能力。推动技术迭代突破，缩短研发周期，提高系统稳定性和安全性。为实现无人配送的商业落地，应加快制品标准化，推动产业链整合，提升全行业的生产效率和产品可靠性。已有文献以校园环境为背景，聚焦于封闭区域内的无人配送模式，通过对配送任务分配以及配送路径优化问题的深入探讨，采用了强化学习中的 Q-learning 算

法构建了配送机器人的路径规划数学模型[2]。

6.2. 加强协同：协作规范与劳动力转型

企业和行业协会应牵头制定无人车与快递员协作标准规范，明确货物转接的时间节点、信息交互的内容格式、异常情况的处理方式等。建立分类处理机制，明确无人车职能范围，人机协同高效处理，充分发挥双方优势。

在加速传统人力运作模式转型，鼓励企业对传统员工进行培训，扩大培训覆盖面，降低培训门槛，提高职工技能，促进劳动力市场的平稳转型。引导企业优化人力资源配置，从量的扩展转向质量提升，发展后续维护与监控岗位，例如推行“1人控10车”的远程监控师岗位，专项培训配送员转型远程监控师，就业转岗，减缓低技能重复岗位员工的失业压力。政府还可设立专项基金，针对物流工人提供为期6个月的转岗培训课程，并监测就业弹性指标以评估效果。

6.3. 完善法规：政策法规和行业治理

国家及地方政府应加紧制定专项法规政策，将无人车运营纳入正式法制轨道，完善安全资质认定，明确制定对无人车技术标准和监管框架，推动行业协会与企业联合制定技术标准、安全规范。建立统一无人配送车标准过程，从技术指标与抗风险能力等安全评估维度出发，协同物流领域相关职能部门以及专家，共同制定差异化的安全评估标准与策略，并且要求相关物流公司对投放市场使用的无人车进行详细备案，备案内容主要涵盖车辆的测试报告、车辆行驶速度、载重、外观等关键信息[14]。投入前最后由政府交通管理部门为无人车发放具有唯一性的识别ID，并通过年度审计评估法规效果，减少事故责任纠纷。

政府应尽快完善交通法规，明确无人车事故责任，建立责任认定的法律框架。加强对无人车的安全检测与准入管理，确保道路交通安全的同时，促进无人配送行业的健康发展。

7. 结语

综上所述，随着电子商务产业的持续快速发展，末端配送的重要性日益凸显，无人配送车不仅是末端物流配送的创新工具，更是推动电商经济可持续发展的关键驱动力。因此，我们需要深刻认识无人配送车对电商末端配送的系统性影响，不断采取技术迭代、促进人机协作和政策完善等有效措施，加大力度，促进我国电商物流的可持续发展。尽管无人配送车具有广阔的应用前景，但其实际应用仍需克服诸多技术与社会难题。本文的研究局限在于所引用案例主要集中于国内试点城市，对国际案例比较不足，后续研究可结合跨国案例进行分析。未来的研究应重点关注无人配送车的技术突破、人机协作和法规完善问题，进一步探索不同复杂场景适配性。

参考文献

- [1] 陈永平, 李赫. 大数据时代物流末端配送、消费体验需求满足及其价值创造能力提升[J]. 财经论丛, 2017(1): 95-104.
- [2] 王鸿勃. 基于移动机器人的校园无人配送系统研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [3] 胡觉亮, 张宇涛, 韩曙光. 城市物流中电动无人车配送优化研究[J]. 浙江理工大学学报(社会科学版), 2020, 44(2): 124-133.
- [4] 高铁生, 郭冬乐. 中国流通产业发展报告[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2004.
- [5] 张锦, 陈义友. 物流“最后一公里”问题研究综述[J]. 中国流通经济, 2015, 29(4): 23-32.
- [6] 周学亨. 电商物流“最后一公里”问题及对策[J]. 电子商务评论, 2025, 14(6): 3054-3058.

-
- [7] 中物联公路货运分会. 2021 年城市配送货车便利通行报告[EB/OL]. 2022-02-18.
<http://chinawuliu.com.cn/lhhzq/202202/18/591566.shtml>, 2025-05-20.
- [8] 薛佳姗. “无人机 + 车辆”配送模式下农村电商物流末端网点选址研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京工业大学, 2024.
- [9] 李宇轩. 城市低速无人配送车行为仿真与投放策略研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2023.
- [10] 陆淼嘉, 尹钦仪. “最后一公里”无人车配送发展现状及应用前景[J]. 综合运输, 2021, 43(1): 117-121.
- [11] 张怀智. S 市快递末端配送模式分析及优化研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2023.
- [12] 赵思雨. 充换电模式下无人配送车路径优化问题研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2021.
- [13] 李亚楠. 无人配送车冲刺规模化商用[N]. 中国汽车报, 2025-06-16(018).
- [14] 赵国富, 解永亮, 崔莹, 等. 无人车智能配送普及过程中的问题分析与规划[J]. 物流工程与管理, 2021, 43(10): 40-43.
- [15] 杜文娟. 基于“车辆 + 无人机”联合作业的末端物流配送方案研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2023.
- [16] 王梓菲. 无人配送车商业化按下“加速键”[J]. 中国物流与采购, 2024(10): 14-16.