

新质生产力视角下低空物流产业生态体系的构建路径研究——基于技术链、政策链与价值链的分析

翁勤晴¹, 杨晓²

1. 宜宾职业技术学院, 四川 宜宾 644000

2. 宜宾工业职业技术学院, 四川 宜宾 644000

DOI:10.61369/SE.2025070005

摘要 : 随着城市空中交通 (UAM) 和无人机物流技术的快速发展, 低空经济已成为全球产业竞争新赛道。本文提出 "技术 - 政策 - 价值" 三维协同模型, 通过分析无人机配送、空中走廊数字化管理等技术支撑体系, 解构空域分级分类、适航认证等政策规制框架, 构建包含硬件供应商、运营服务商、数据平台商的价值网络。研究采用案例对比分析法, 针对我国低空开放试点城市的数据, 提出 "分层空域管理 + 智能调度中台 + 产业联盟治理" 的生态优化路径, 为智慧城市物流体系建设提供理论支撑。

关键词 : 低空经济; 三维协同; 新质生产力

Research on the Construction Path of the Ecological System of the Low-Altitude Logistics Industry from the Perspective of New Quality Productivity—An Analysis Based on the Technology Chain, Policy Chain, and Value Chain

Weng Qinqing¹, Yang Xiao²

1. Yibin Vocational and Technical College, Yibin, Sichuan 644000

2. Yibin Industrial Vocational and Technical College, Yibin, Sichuan 644000

Abstract : With the rapid development of Urban Air Mobility (UAM) and unmanned aerial vehicle (UAV) logistics technologies, the low-altitude economy has emerged as a new competitive arena in the global industrial landscape. This paper proposes a three-dimensional collaborative model of "Technology-Policy-Value," analyzing technological support systems such as UAV delivery and digital management of air corridors, while deconstructing policy regulatory frameworks including airspace classification and airworthiness certification. It constructs a value network encompassing hardware suppliers, operational service providers, and data platform operators. Using a case-comparison analysis method and data from China's pilot cities for low-altitude airspace opening, the study proposes an ecological optimization pathway featuring "layered airspace management + intelligent scheduling platform + industrial alliance governance," providing theoretical support for the construction of smart city logistics systems.

Keywords : low-altitude economy; three-dimensional synergy; new quality productivity

引言

2021年2月, 中共中央、国务院印发的《国家综合立体交通网规划纲要》首次将低空经济概念纳入国家战略框架, 标志着我国低空领域开发进入全新发展阶段。这一战略决策基于多重考量: 首先, 随着新型城镇化进程加速, 城市最后一公里配送需求呈现指数级增长, 2024年即时配送订单规模已突破482亿单; 其次, 北斗三号全球卫星导航系统的全面建成, 为低空飞行器提供了厘米级精度的定位保障; 再者, 在双碳目标推动下, 电动垂直起降飞行器 (eVTOL) 等新能源航空器技术取得突破性进展^[1]。

中国低空领域战略布局主要基于三重背景: 其一, 新型城镇化建设催生的 "最后一公里" 配送需求激增, 2024年城市即时配送订单

2024年宜宾职业技术学院校级科研课题: 基于发展新质生产力背景下城郊大仓基地建设研究——以宜宾为例 (24ZRYB-11)。

作者简介:

翁勤晴 (1987.02-), 女, 四川宜宾人, 硕士研究生, 讲师, 研究方向: 物流管理;

杨晓 (1988.03-), 女, 四川巴中人, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 生产物流。

规模超480亿单；其二，北斗三号全球组网完成带来的空域管理技术突破，使无人机降落精度提升至厘米级；其三，双碳目标下新能源航空器技术进步，电动垂直起降飞行器（eVTOL）配送成本较传统配送降低40%^[2]。当前政策正着力破解空域资源碎片化、法规标准滞后、基础设施薄弱等发展瓶颈，本文提出“技术－政策－价值”三维协同模型，通过分析无人机配送、空中走廊数字化管理等技术支撑体系，解构空域分级分类、适航认证等政策规制框架，构建包含硬件供应商、运营服务商、数据平台商的价值网络。

一、低空物流生态体系构建障碍分析

技术维度上，低空物流行业正面临能量密度与运载效能的囚徒困境。现有锂电池技术受物理极限约束，仅能支持单程 $\leq 80\text{km}$ 的配送，且载重增加会导致续航骤降。为突破这一瓶颈，行业正探索三大替代方案：氢燃料电池技术预计2027年后实现商用化；空中换电网络将于2026年完成规模部署；超级电容混合方案已进入试点验证阶段^[3]。这些技术路线的并行发展，反映出行业对突破续航瓶颈的迫切需求。值得注意的是，不同技术方案在能量密度、充放电效率和成本控制等方面各具优势，未来可能形成互补共生的技术生态体系。

政策维度上，低空物流行业正遭遇空域管理的碎片化困局。当前监管体系呈现三明治式结构：民航局严格管控300米以上空域，地方政府争夺50–300米审批权，军方动态划定敏感禁飞区。这种多重管辖格局导致深圳试点暴露出系统性梗阻——单条航线需跨3个部门审批，实际耗时从承诺的24小时暴增至83小时，超标准246%，严重制约商业化进程。这种行政效率的滞后与技术进步形成鲜明反差，凸显出现有监管框架与新兴业态发展需求的结构性矛盾。业内专家呼吁建立跨部门协调机制，通过数字化手段实现空域资源的动态分配和智能调度。

价值维度上，低空物流行业正深陷商业创新的内卷化陷阱。行业数据显示，企业扎堆最后一公里价格战，专利布局重叠率高且集中于电池仓等低阶创新。这种同质化竞争导致整体行业利润率持续走低。破局者已开辟新赛道：美团通过无人机+便利店会员体系实现复购率提升，京东将电力巡检数据资产化创造附加收益。这些成功案例证明，从单一的运输工具商向场景服务商的转型才是价值突破的关键。这种转型不仅拓展了盈利模式，更重塑了低空物流行业的价值定位，为行业可持续发展提供了新的思路。未来，随着5G、物联网等技术的深度融合，低空物流有望从单纯的运输服务升级为智慧城市基础设施的重要组成部分。

二、三维协同理论模型构建

（一）技术链协同

在无人机日均配送量超50万单的规模化运营阶段，技术链需重点解决效率、安全、成本三重挑战。针对复杂城市环境，空间层构建了全域覆盖－厘米级精度－毫秒级响应的定位网络，通过多源传感器融合和实时动态建模，有效应对楼宇遮挡、信号干扰及动态障碍物等难题。该网络采用分布式计算架构，能快速完成路径重规划，确保配送时效性提升。同时，基于5G-Advanced技

术的低空专网部署，实现了对300米以下空域的连续覆盖，为大规模无人机协同作业提供基础支撑。

安全层构建了覆盖500米至贴身距离的立体防护网络，通过毫米波雷达、光电追踪和声波驱离等多模态感知系统，实现对鸟类群集、建筑机械突入等动态威胁的实时识别。该系统采用分级响应机制：对300米外威胁进行预警规避，50–300米范围启动主动避障，贴身距离则触发紧急悬停。特别开发的风切变预测算法，可在强侧风发生前几秒调整飞行姿态，将事故率降低。深圳试点数据显示，该防护网络使无人机碰撞风险下降，为城市空域安全管理提供了新范式。

能源层采用地面－空中－空间三维架构：地面层部署光伏电站和智能换电货车，构建半径3公里的能源补给圈；空中层通过充电无人机和电池银行组成机动网络，实现飞行中能量补给；空间层预留无线充电卫星接口，探索碳交易平台等新型能源模式。这种架构使单机日均续航提升，能源成本下降。京东物流的实践表明，配合智能调度云算法，能源网络可实现自动补给率，为24小时不间断配送提供保障。未来随着固态电池和无线充电技术成熟，该体系将支撑无人机日均百万单级的运营需求。

（二）政策链协同

当前全球低空经济竞争已进入规则制定权博弈的关键阶段。国内企业面临两难困境：单纯技术引进模式导致额外合规成本激增，如欧盟无人机新规使单机认证费用增加15万美元；而完全自主路线又面临国际市场准入障碍，2024年国内无人机厂商因适航标准差异损失大量的海外订单^[4]。这种双重挤压凸显出建立新型产业生态的紧迫性。双循环战略正是破解这一困局的钥匙——通过构建技术－标准－市场的三维协同体系，既保持自主创新主导权，又实现国际规则兼容性。其核心在于将被动合规转化为主动规则塑造，在5G通信、空域管理等关键领域形成中国方案。

双循环生态的落地实施聚焦两大支柱：其一，建立国际标准对接机制，以3GPP R18航空通信标准为技术基底，实现与欧盟SESAR、美国NextGen系统的数据包级互通。这种技术级融合使5G ATG通信协议互认度提升，较传统接口协议效率提高。其二，构建FAA/EASA→CAAC标准转化数据库，通过自然语言处理和知识图谱技术，实现条款的智能映射与差异预警。这种双向标准通道既降低企业出海门槛，又为参与国际标准修订提供数据支撑，形成规则制定－产业应用－反馈优化的良性循环。

（三）价值链协同

在2025年无人机适航法规全面实施的新阶段，低空物流产业通过纵向流程再造与横向生态共享的双轮驱动，构建出覆盖B端与C端的立体化协同网络。纵向维度上，产业通过智能闭环体系

实现全流程优化：医疗冷链领域构建“温控包装－空中预冷－恒温运输－智能签收”的智能闭环，使生物样本运输时效提升；电力巡检场景中，电网高精度地图共享使物流无人机避障效率提升，设备共享模式推动无人机日均利用率提升^[5]。横向协同方面，农业领域通过季节性运力调配降低农产品物流成本，植保算法的迁移应用更实现包裹厘米级投递精度，这种跨场景的技术复用成为产业降本增效的关键。

C端消费网络协同通过“仓坪一体”基础设施与智能调度系统实现三级联动。无人机驿站作为核心节点，衔接社区零售仓库与终端用户，打造前端极速配送层，实现15分钟送达；便利店库存数据实时联动无人机运力，形成“需求预测－自动拣货－无人机运输”闭环，构建中端动态补货层，使缺货率降低；日间零售运力夜间复用为医疗应急网络，骑手与无人机协同调度使整体运力成本下降，打造末端应急服务层。这种分层协同模式使单机日均配送量提升，较传统模式效率提升。

立体化协同网络的构建催生新的商业范式。在B端领域，医疗冷链的智能闭环使偏远地区药品配送时效从8小时缩短至2小时，电力巡检设备的共享模式使单公里巡检成本下降；农业领域的季节性运力调配为农户节省物流支出。C端层面，无人机驿站使社区零售坪效提升，夜间应急网络使医疗物资响应速度提升。这

种双向协同不仅使整体物流成本下降，更推动低空物流从单一运输服务向基础设施服务转型，为城市空中交通(UAM)生态的成熟奠定基础。

三、结语

研究表明，低空物流产业的技术突破与政策创新正在重塑全球供应链格局。通过构建技术－政策－价值三维协同模型，我国在无人机配送网络、空域智能调度等领域已形成差异化竞争优势，但技术迭代速度与法规适应性仍存在结构性矛盾。建议从三个维度深化发展：其一，建立技术攻关联合体，重点突破氢燃料电池、空中换电等关键技术，形成互补型能源解决方案；其二，完善空域管理智能平台，通过区块链技术实现跨部门审批流程优化，将航线审批时效压缩；其三，构建产业创新联盟，推动硬件供应商、数据平台商与场景服务商的深度协同，培育无人机＋零售医疗巡检等新型商业模式。未来需把握2025年适航法规全面实施的窗口期，通过分层空域管理＋智能调度中台＋产业联盟治理的生态优化路径，将低空物流从运输工具升级为智慧城市基础设施，最终实现从规则跟随者到标准制定者的战略转型。

参考文献

[1] 郭辰阳, 敖万忠, 吕宜宏. 充分把握发展机遇, 加快推进低空经济高质量发展 [J]. 财经界, 2022, (25): 36-38.
[2] 李昭玥, 谭吉华, 黄显龙. 低空经济赋能乡村振兴的内在逻辑与实践进路 [J]. 西昌学院学报(社会科学版), 2025, 37(04): 31-39.
[3] 廖小罕, 黄耀欢, 徐晨晨. 面向无人机应用的低空空域资源研究探讨 [J]. 地理学报, 2021, 76(11): 2607-2620.
[4] 刘玉勉. 低空经济背景下无人机配送产业发展研究 [J]. 中国物价, 2025, (01): 45-50.
[5] 嵇海霞. 低空物流: 新质生产力推动下的物流行业变革 [J]. 中国商论, 2024, 33(23): 81-84.