

DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20250402006

低空经济助力智慧城市建设更新发展的对策建议

Countermeasures and suggestions for low-altitude economy to help smart city construction, renewal and development

刘文静 陈跃峰 林伟 LIU Wenjing, CHEN Yuefeng, LIN Wei

摘要: 低空经济作为新兴产业形态和新质生产力的代表, 正通过技术创新与产业融合重塑城市空间结构。本文从内涵辨析与发展历程视角, 系统阐释低空经济与智慧城市更新的理论关联, 结合深圳、杭州等城市实践案例, 论证低空经济对城市规划、交通系统与管理模式的深层影响。研究表明: 低空经济通过空中交通网络重构城市三维空间, 倒逼城市管理向多模式协同转型; eVTOL技术的应用需匹配智慧城市的数据驱动与系统集成能力。基于此, 提出基础设施分级规划、空域管理动态分区、政策法规协同创新等对策, 为城市更新提供立体化解决方案。

关键词: 低空经济; 智慧城市更新; eVTOL; 空间重构; 协同治理

中图分类号 TU984.1; F291.1; TP391

文献标识码 B

Abstract: Low-altitude economy, as an emerging industrial form and representative of new quality productive forces, is reshaping urban spatial structures through technological innovation and industrial integration. This paper systematically explains the theoretical relationship between low-altitude economy and smart city renewal from the perspectives of connotation analysis and development history, and deeply analyzes the profound impact of low-altitude economy on urban planning, transportation systems, and management models by combining practical cases from cities like Shenzhen and Hangzhou. The low-altitude economy utilizes airspace below 3,000 meters as its carrier, achieving airborne flow of production factors through vehicles such as general aircraft, drones, and electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircraft. Its development has passed through a germination period (2000-2015), a growth period (2016-2022), and an explosive period (2023-present). With continuous promotion by national policies, it has become a national strategic emerging industry and has been emphasized in government work reports, highlighting its significant status in economic development. Smart city renewal relies on digital technologies to dynamically optimize urban physical space and social systems, with core features including spatial reconstruction and governance upgrading. The low-altitude economy breaks through the physical boundaries of urban renewal through airspace resource development, while smart technologies provide a supporting platform for the integration of low-altitude systems. This theoretical coupling offers new ideas for the development of smart cities. As a representative of the low-altitude economy, eVTOL demonstrates great potential in urban transportation, logistics, emergency response, and other fields due to its zero emissions, low noise, and high efficiency. For instance, cities like Shenzhen and Hangzhou are building air transportation networks with eVTOL to achieve multi-modal transport coordination and enhance regional economic linkage efficiency. Simultaneously, eVTOL has promoted innovation in low-altitude logistics systems, systematically solving the "last mile" problem through spatial dimension elevation and intelligent coordination. However, the involvement of low-altitude economy in urban renewal also faces challenges such as management mechanisms, management capabilities, technical difficulties, and service facilities. To address these, this paper proposes countermeasures including hierarchical infrastructure planning, dynamic airspace management zoning, and coordinated policy innovation, aiming to optimize spatial resource allocation, improve transportation efficiency, and promote sustainable urban development. Specifically, it recommends incorporating eVTOL take-off and landing platforms and charging facilities into urban planning to construct a three-dimensional transportation network; formulating unified and standardized low-altitude transportation management policies to clarify access thresholds, flight rules, and regulatory responsibilities; strengthening research and innovation in key technologies such as batteries and autonomous driving to improve the performance and safety of eVTOL; and building a comprehensive safety protection system to enhance public awareness and acceptance of eVTOL. In conclusion, through technological innovation and industrial integration, the low-altitude economy provides new solutions and development paths for smart city construction. With continuous technological progress and gradual policy improvement, it is expected to become an important component of urban transportation, driving cities toward a more intelligent, efficient, and livable development stage.

Keywords: low-altitude economy; smart city renewal; eVTOL; spatial reconstruction; collaborative governance

作者简介

刘文静: 国家知识产权局专利局专利审查协作北京中心, 副研究员

陈跃峰 (通讯作者): 人民交通出版社股份有限公司, 编辑, 346267266@qq.com

林伟: 交通运输部环境保护中心, 高级工程师



0 引言

随着城市化进程的加速和科技的不断进步,传统地面交通系统面临着日益严峻的挑战。在此背景下,低空经济作为一种新兴的经济形态,为城市交通发展提供了新的思路和解决方案^[1]。其中,电动垂直起降飞行器(eVTOL)作为低空运输设备的代表,凭借其灵活、高效、环保等特点,正在成为未来城市交通的重要组成部分。

低空经济(Low-altitude Economy)是以3 000 m以下空域为载体,通过通用航空器、无人机、eVTOL等载具实现生产要素空中流动的新型经济形态。其发展历经了三阶段:萌芽期(2000—2015年):消费级无人机技术突破,大疆等企业开启低空设备民用化;成长期(2016—2022年):工业无人机在物流、巡检领域规模化应用,政策文件首提“低空经济”;爆发期(2023年至今):eVTOL技术成熟,空域管理改革深化,进入城市交通系统集成阶段。

2021年,在《国家综合立体交通网规划纲要》中,低空经济首次被纳入其中,自此踏入国家顶层规划视野。到了2023年末,中央经济工作会议正式把低空经济列为国家战略性新兴产业^[2],这一举措赋予了低空经济更为关键的战略定位。紧接着在2024年3月,低空经济又首次现身政府工作报告,进一步彰显出其在国家经济发展进程中举足轻重的地位,并成为推动经济增长、产业创新的重要力量^[3-4]。

2025年1月3日,国务院总理李强主持召开国务院常务会议,将研究推进城市更新工作^[5-6]作为重要议题。这一决策标志着国家在房地产领域投资方向发生了重大转变,不再单纯聚焦于土地出售和房地产开发,而是朝着老旧设施改造以及智慧城市升级的方向转型升级。

智慧城市的更新发展是依托数字技术对城市物质空间与社会系统进行动态优化的过程,其核心特征包括两个方面:空间重构,即从二维平面扩展转向三维立体开发;治理升级,即从部门分立管理转向数据驱动的多主体协同。两者的理论耦合体现为:低空经济通过空域资源开发突破城市更新物理边界,智慧技术则为低空系统集成提供支撑平台。本文旨在探讨eVTOL在智慧城市交通中的应用前景及其带来的新要求,并从多个维度为未来智慧城市建设和发展提供理论依据和实践指导。

1 低空经济概述

1.1 无人机技术的发展历程

民用无人机的起源可以追溯到2007年苹果手机的问世,小型化的电子陀螺仪转为民品^[8],成为支撑无人机技术的第一个基石。2013年飞控芯片的普及和价格亲民化使得无人机具备了第二个必要条件。从此,一些航模爱好者、飞行器改装者通过逐渐尝试,制作出了第一代四轴遥控飞行器,四轴飞行器的稳定性特点和易操作性的优势迅速成为目前大多数无人机组载的原型。具体发展历程见表1所示。

搭载GoPro相机是第一批出现的拍摄型机型,此时全国有近两千家企业在手工拼装无人机。随着大疆的快速崛起,工业化设计的融入,使得产品集成度及稳定性得到了很大程度的提高^[9],其性价比碾压了其他厂商。大疆出产的“会飞的相机”精灵4和吾系列,基本垄断了全部的消费级市场。无人机生产企业的竞争进入了第一个红海,众多生产厂家不得不寻求新的出路,工业(行业)应用逐渐成为新的蓝海。

2015年起,无人机植保应用成为第一个可以赚钱的行业性应用。这个以航路规划和载重能力为主要特点的机型,使得无人机应用派生出第一个大的分支,即载重型应用。这个技术路线研发目标是长航时、大载重。这一分支后来又逐渐细化,分别对应了低空物流、应急救援、低空观光、低空交通等应用场景。“会飞的相机”这一类应用继续在图视频应用领域深化和细分,派生出航拍、航测、监视监控、巡查巡检等应用场景。当相机被替换成其它载荷后,消防灭火、电力线路维护、通讯中继、照明、喊话等应用又被实现。至此全领域细分逐渐成型,生产企业在众多细分领域中寻找自己的定位。

设备的专业化、应用领域的细分,也促进了服务团队的细分,从业队伍的壮大,使得国家在人才管理领域也必须适应社会的发展需求,人社部陆续颁布了一些国家认可的从业资质,相应的培训、考试等市场也逐渐壮大成熟,从业分类也逐渐科学化。随之而起的是教育体系如大专技校、各类高校也纷纷设立了相关专业,培养出大量的技术人才。

2020年2月24日,俄乌战争爆发。战争爆发半年左右,无人机装备开始出现在战场,它的出现完全颠覆了现有的战争模式。现场无人化、设备低成本、完成任务高效性、单兵难以对抗等特点使其逐渐成为战争的主角。以无人机为代表的无人设备被大家高度重视,对相关产品、技术的封锁及保护也都上升至国家高度。

技术研发、产品迭代、人才队伍扩大,应用需求明显、对比传统工作场景无人机应用显现出的压倒性优势。一切使得无人机技术和应用突飞猛进。产业链不断完善,至此无人机的发展逐渐揭开了低空经济的序幕。

1.2 低空经济的发展现状

低空经济是指利用低空空域资源,以通用航空产业为主导,融合先进制造业、现代服务业等产业形态的新型经济形态^[10]。近年来,随着政策支持力度加大和技术进步,我国低空经济产业呈现出快速发展的态势。据统计,2022年我国低空经济市场规模已超过5 000亿元,年均增长率保持在15%以上。

表1 无人机技术发展历程

Tab.1 development history of UAV technology

时间/年	重大事件
2007	苹果手机问世,小型化电子陀螺仪转为民品
2013	飞控芯片普及,四轴遥控飞行器出现
2015	无人机植保应用成为首个盈利行业应用
2020	俄乌战争爆发,无人机在战场上崭露头角

2024年3月,低空经济首次被写入政府工作报告,这不仅仅是因为无人机可以被广泛应用,其自身的产业链规模和影响力也具备了成为国家经济发展方向的基本条件。未来的集群化应用对配套的通讯、大数据、人工智能的等领域也提出了挑战,甚至起到带动它们发展的引擎作用。低空经济发展中,技术层面的提升会随着应用场景的实践逐步得到认可,从而吸引庞大的社会资金关注,有了资本的加持,技术上的进步将会有大幅度的发展。

2024年12月25日,国家发改委召开交通、民航、工信、公安等部门相关会议,宣布低空经济司(简称“低空司”)挂牌成立,该举措旨在进一步推动低空经济发展。低空经济司的成立背景包括政策推动、市场潜力和产业协同需求。当前,国家已将低空经济写入国家规划,并重视其发展。拟订并组织实施低空经济发展战略、中长期发展规划,提出有关政策建议,协调有关重大问题等^[12-13]。迅速明确了其当前两大重要工作领域:低空基础设施和低空智能网联系统。这一系列的部署标志着我国低空经济正进入实质性推进阶段,低空司开始狠抓基础保障工作。

此外,在政策层面,国家相继出台了一系列支持低空经济发展的政策措施,如《关于促进通用航空业发展的指导意见》等,为产业发展提供了有力保障。同时,地方政府也积极响应,纷纷制定相关规划和扶持政策,推动低空经济产业集群化发展^[11]。在技术层面,无人机、eVTOL等新型航空器的研发和应用不断取得突破,为低空经济发展注入了新的活力。市场方面,低空旅游、物流配送、应急救援等新业态快速崛起,展现出巨大的市场潜力。

在低空经济领域创新方面,随着领域内国家政策的发布和政府举措的推行,企业越来越重视在低空经济领域的技术创新发展。近几年来,我国低空经济领域的专利申请量呈现逐年增长趋势,涉及的技术内容涵盖了传感技术、导航系统、动力驱动以及航行飞行控制等多个方面和领域,为eVTOL在智慧城市发展中的应用提供了权利稳定性和合法性的保障。

1.3 低空经济落地的主要问题

随着国家层面对低空经济的推动,有的任务已经下达到县级层面。对于这个庞大新颖的命题,很多地方政府还是参照招商引资的模式开展工作,希望引进制造企业落地。这些企业主要是面向通用、警用、海关和部分军用航空器的研发制造类产业,包括有人驾驶和无人驾驶航空器及其零部件、机载设备的研发、制造、销售、进出口等^[14]。该产业链环节的上游包括原材料与核心零部件领域,如航空专用锂电池、高性能复合材料、关键零部件、航空电子设备、芯片、钛合金等。然而全国在这个环节的资源体量是有限的,并不适合在县域开展。

另外,在低空经济的配套环节中还有不可或缺的低空飞行服务、低空保障与综合服务。这些资源的配置,需要界定在一定的区域范畴,且须实现数据互通。以省、市、县来硬性划分是否合适,还需要在实践中不断探索。这需要顶层设计,在规划布局中还要充分考虑到实际情况。

低空经济产业还可以细分为低空飞行产业,包括通用、警用、

海关等各类低空飞行活动^[15],涵盖生产作业类、公共服务类、航空消费类等产业,是低空经济的核心应用产业,对整个低空经济发展起牵引和带动作用。低空保障产业:为空域安全和低空飞行提供服务保障的各类产业,包括低空空域管控系统、基础设施建设运营、无人机飞行信息、无人机反制系统,以及通讯导航、气象、油料、维修等相关产业。综合服务产业:支撑和辅助低空经济发展的各类地面服务性产业,包括航空会展、科普、教育、文化传媒、广告咨询、租赁等产业^[16-19]。

基于以上细分领域,各级单位在推动相关工作中应因地制宜,结合地方特色和需求,抓住应用场景,梳理应用市场^[20],可以从旅游业、物流业、农业植保、森林防火、治安巡防、电力巡检、测绘摄影、医疗急救、教育培训、城市空中交通^[21]等多个领域进行思考。

2 eVTOL在智慧城市发展中的应用前景

智慧城市利用物联网、大数据、云计算等技术,优化城市管理和和服务,提升居民生活质量。eVTOL(Electric Vertical Take-off and Landing)^[22]作为新兴交通工具,如何融入智慧城市体系是关键。

eVTOL即电动垂直起降飞行器,是一种创新的航空器类型。它是以四轴无人机通过电池、飞控等技术迭代发展出现的阶段性产物,具有零排放、低噪音、高效率等特点。它能够在狭小空间垂直起降,无需传统跑道,在解决城市交通拥堵、提高交通效率方面具有独特优势。下一阶段必将发展成为落地可行驶、上天可飞行的“飞行汽车”。eVTOL具有直升机的短途快捷、场地要求小等特点^[23],非常适合在短途出行、观光旅游的场景下应用。相比传统的直升机应用具有价格便宜、现金流强、投资性价比高的特点,因此成为推动低空经济的热点。

eVTOL的应用场景非常鲜明^[24],主要在低空出行、低空观光领域。具体体现在以下几个方面。

2.1 重构城市立体交通网络

eVTOL可作为“空中出租车”,实现点对点快速运输的短途通勤。例如,深圳计划在2030年前建成覆盖全市的20个垂直起降枢纽,通勤时间从地面1h缩短至空中15min。通过与地面交通(地铁、公交)及高铁无缝衔接,实现多式联运协同;杭州西站枢纽试点的“飞行+高铁”联运模式,辐射范围扩大至50km,提升了区域经济联动效率。此外,还可升级应急响应机制。北京消防部门通过eVTOL紧急救援测试,使火灾响应时间缩短40%,医疗物资投送精度达90%以上。

2.2 革新物流体系

eVTOL驱动的低空物流体系正从技术试验迈向规模化应用,其核心价值在于通过空间升维与智能协同,系统性破解“最后一公里”难题。“最后一公里”作为物流链条中最复杂、成本最高的环节,长期面临配送效率低、交通拥堵、人力成本攀升等痛点。传统

地面运输模式受限于城市空间约束，难以满足即时性、高频次配送需求。eVTOL（电动垂直起降飞行器）凭借其垂直起降、灵活避障、低碳静音等技术特性，为破解这一难题提供了革命性解决方案，推动物流体系向“低空化、智能化、立体化”转型。如美团在深圳试点无人机配送生鲜，单日配送量突破5 000单，成本较传统方式降低30%。

此外，在一些特殊区域如山区、海岛等偏远地区，通过eVTOL实现了药品、快递直达。西藏林芝试点项目使配送效率提升4倍；上海规划沿黄浦江布局低空物流通道，避开地面拥堵，物流时效性提高50%。

2.3 优化城市空间

传统城市规划受限于二维平面思维，土地资源稀缺与空间利用低效的矛盾日益突出。低空经济的兴起，尤其是eVTOL（电动垂直起降飞行器）技术的成熟，为城市空间优化提供了全新的三维立体视角。通过垂直分层开发、功能复合设计与智能协同管理，城市空间利用效率将得到革命性提升。

深圳前海试点将土地进行集约利用，建筑屋顶起降平台，释放地面空间用于绿化与公共设施，土地利用率提升25%。雄安新区CIM平台将城市空间进行了功能分层设计，即将城市空间划分为地面（交通）、低空（物流）、高空（观光）三层，冲突预警系统减少规划失误率60%。

3 低空经济介入城市更新的作用机制

低空经济作为新质生产力的代表，通过技术创新与产业融合，正在深刻改变城市更新的逻辑与路径。其介入城市更新的作用机制将推动城市从“平面扩展”向“立体增效”转型。

3.1 三维交通网络的重塑

传统城市更新受限于地面空间约束，低空经济通过开发3 000 m以下空域资源，推动城市空间从二维平面向三维立体转型，实现垂直分层开发与功能复合设计。在低空层（0~300 m），布局eVTOL起降平台、低空物流走廊与观光航线；在地面层，释放道路资源用于慢行系统与公共空间；在地下层，结合地铁、管廊与仓储设施，形成立体交通网络。同时，通过功能复合设计，全面提升城市空间价值与利用效率。

3.2 技术功能的升级

eVTOL的功能升级不仅改变了城市交通与物流的运作模式，还为城市应急响应与公共服务提供了创新解决方案。在通勤效率提升方面，eVTOL作为“空中出租车”实现点对点快速运输，可形成立体交通网络；在运输体系革新方面，eVTOL绕过地面拥堵，显著提升物流效率，尤其在偏远地区和高时效配送场景中展现独特优势；在应急响应优化方面，eVTOL快速投送物资、转移伤员，缩短救援时间，提升城市韧性。这些功能升级依托电池技术、自动驾驶和

5G通信等关键技术支撑，推动城市交通向立体化、智能化、高效化转型，为智慧城市建设注入全新动力。

3.3 多模态协同管理需求

低空经济对城市治理体系提出了三重挑战：空域权属冲突、安全监管空白和利益协调困境。针对空域权属冲突，成都双流区试行“空域网格化”管理，将军用、民用空域划定为动态区块，并通过5G专网实现实时协调；在安全监管方面，上海浦东新区建立低空飞行数字孪生平台，集成无人机电子围栏与eVTOL碰撞预警系统，提升安全管理能力；为解决利益协调困境，广州采用“政府主导+企业联盟”模式，由亿航智能牵头成立低空经济产业联盟，统一技术标准与分成机制，促进多方协同发展。这些举措为低空经济的规范化、规模化应用提供了重要支撑。在城市治理系统中的效能提升表现及应用见表2所示。

4 eVTOL应用在智慧城市发展中存在的问题

从市场前景来看，eVTOL潜力巨大。随着城市化进程加快，人们对快速、便捷出行的需求持续增长，eVTOL所提供的空中出行服务正好契合这一趋势^[25]。而且，电动动力系统的应用符合全球绿色环保理念，降低碳排放，满足可持续发展需求，将吸引更多环保意识强的消费者与投资者。尽管目前eVTOL发展面临技术成熟度、法规政策完善等挑战，随着技术的不断突破与法规的逐步健全，其有望在未来成为城市立体智慧交通的核心组成部分，引领交通行业向高效、绿色、智能方向深度变革，开拓出庞大且富有潜力的市场空间。但也存在一定的问题。

4.1 管理机制

eVTOL可以上天、可以下地的应用前景，首先对中国管理体系的分工和整合带来了迫切的改变需求。一是从应用空间来讲，涉及了军队、民航、地方的管理融合，四川省成立的“融办”在协同管理方面迈出了的第一步，但历经几年的摸索，尚未形成可复制的模式；二是从应用管理来讲，上天飞行要接受部队空管、民航的管理，落地行驶要接受交通管理部门的监管。目前有些地区军方已经放开了600 m以下空域的授权地方政府直接管理，开放的同时也对地方空域的管理能力提出了很大的挑战^[26]。

表2 城市治理效能提升路径

Tab.2 urban governance efficiency improvement paths

治理维度	技术手段	实施效果
交通管理	无人机实时流量监测	事故响应时间缩短40%
应急救援	eVTOL医疗物资投送	黄金救援时间窗口延长2 h
环境监测	多光谱遥感无人机	PM _{2.5} 监测精度提升至95%
治安防控	警用无人机编队巡逻	重点区域出警速度提升60%

4.2 管理能力

eVTOL的应用目前集中在短途运输和旅游观光两个重点场景,也就是以运输人为主旨,而人相对集中在城市区域。那么对城市管理,尤其是智慧交通管理提出了新的要求和挑战。应用的第一阶段是对相对独立的小区域,第二阶段就会涉及片区间、城市间的系统互通互融。

4.3 技术困境

当前形势下,以eVTOL为代表的低空经济应用场景越来越广泛,包括公共安全防御、环境监测、交通管理、物流配送等。从目前全球的专利技术布局情况来看,企业更关注其核心技术,例如:飞行控制系统、传感系统以及电机和电控等。但是,eVTOL在实际应用中,智能化水平、电池续航能力以及操作精准度等技术创新方面仍面临着一定的挑战。

4.4 服务设施

目前阶段以eVTOL为代表的低空经济应用还是局限在的单元运行考虑,那么对临时起降点的要求成为首要解决的问题。单元的优势也在于相关配套的设备设施相对比较集中,易于标准化设计和管理。而在下一阶段,起降点的设置如何与城市发展的规划设计、地面交通设施的融合设计相结合就要提前作出研究^[27-29]。

5 智慧城市发展对eVTOL应用的新要求

智慧城市是运用物联网、云计算、大数据、空间地理信息集成等新一代信息技术,促进城市规划、建设、管理和服务智慧化的新理念和新模式^[30]。通过对城市各类数据的实时收集、分析和处理,实现城市资源的优化配置、居民生活品质的提升和城市的可持续发展^[31-32]。智慧交通是其中非常重要的一个方面,对eVTOL的应用提出了新的要求,主要体现在以下几个方面。

5.1 技术协同创新要求

智慧城市发展对eVTOL(电动垂直起降飞行器)的技术协同创新提出了系统性要求。首先,在数据融合能力方面,eVTOL需与城市物联网感知层(如交通摄像头、气象传感器、5G基站等)实现实时数据交互,确保飞行状态、气象条件、地面交通等信息的动态共享。通过云计算平台对多源异构数据进行融合分析,支撑三维空中交通的动态调度,优化航线规划与冲突规避。其次,在系统集成标准上,eVTOL的通信协议必须兼容智慧城市“城市大脑”平台架构,确保与城市管理系统的无缝对接,同时满足高精度空间地理信息集成需求,实现对低空移动目标的厘米级实时定位,以保障复杂城市环境下的精准导航。最后,在安全冗余设计层面,由于城市电磁环境复杂多变,eVTOL需配备抗干扰能力更强的多模导航系统(如视觉导航、北斗/GNSS增强定位、惯性导航融合等),其系统可靠性应远超传统航空器,确保在信号干扰或单点故障情况下仍能安全运行。这些技术创新要求共同构成了

eVTOL融入智慧城市的关键技术支撑体系。

5.2 基础设施适配要求

为支撑eVTOL(电动垂直起降飞行器)的规模化应用,城市需构建多维度适配的基础设施体系。在立体化交通节点方面,应优先在交通枢纽(如地铁站、高铁站)及城市核心区布局垂直起降场(vertiport),通过“15分钟接驳圈”设计实现与地面交通的无缝衔接,优化城市立体交通网络^[33]。能源网络整合要求eVTOL充电设施深度融入城市智能电网,动态匹配分时电价策略与可再生能源发电波动,例如通过边缘计算节点实时调整充电功率,平衡电网负荷并降低运营成本。此外,数字孪生验证需成为新建建筑的强制性标准,要求预留“空中走廊”仿真接口,利用高精度流体力学模型模拟eVTOL起降气流对建筑群的影响,避免湍流干扰并优化空域利用效率。这些措施共同构成eVTOL与智慧城市基础设施协同发展的关键技术路径。

5.3 制度保障体系要求

智慧城市背景下eVTOL的规模化应用需要构建三位一体的制度保障体系。在空域动态分区方面,可通过区块链技术构建去中心化的空域使用权交易平台,实现商业飞行、应急飞行等场景的智能合约自动执行,该模式已在深圳试点中验证了分钟级空域动态释放的可行性。适航认证创新需突破传统航空器审定框架,参照深圳特区“沙盒监管”机制,建立“技术成熟度分级认证”体系:对验证期机型实施飞行数据区块链存证监管,对成熟期机型开放城市群跨区域商业运营许可,这种分类管理方式在宁波G类空域试点中已取得显著成效。责任界定框架则需通过特别立法衔接《民用航空法》,重点明确建筑物所有者对起降平台的运维责任,包括气流扰动风险评估义务、第三方责任险投保要求等,可参照《民用垂直起降场地技术要求》对设施安全距离的强制性规定进行设计。该体系需同步完善三项配套机制:一是建立民航链支撑的飞行数据存证系统,实现适航数据全生命周期可追溯;二是制定空域资源交易规则,通过通证化计量实现不同优先级飞行的动态定价;三是构建政企协同监管平台,整合现有UTMISS系统与城市数字孪生体,形成低空飞行“一网统管”能力。这些制度创新将为eVTOL融入城市立体交通网络提供法治保障,推动低空经济从试验区走向规模化发展阶段。

城市更新协同策略需要构建“物理—数字—制度”三位一体的革新框架。在空间价值重构方面,建议将高层建筑屋顶纳入城市控规的“第五立面”管理体系,通过容积率奖励政策激励开发商配置eVTOL起降平台,这一模式在温州飞行视域区已实现建筑屋顶功能复合利用的突破。针对噪声治理标准,需强制要求eVTOL厂商部署AI主动降噪系统,结合成都屋顶绿化降噪技术,确保起降区声环境质量稳定达标^[34]。应急响应整合则需建立eVTOL与城市应急救援体系的深度耦合机制,实现与120/119系统的毫秒级预案联动。这一协同体系最终将推动形成“地面网格化+低空网络化”的新型空间组织形态,其核心支撑包括:物理层面的屋顶空间多功能改

造、数字层面的无人机航拍监测系统、制度层面的容积率激励政策。通过三者的系统集成,既可释放城市第五立面的经济价值,又能构建低空经济与地面服务的立体化协同网络^[35]。

6 推动智慧城市建设的对策建议

2025年1月3日国务院总理李强主持召开国务院常务会议,研究推进城市更新工作。会议指出,城市更新关系城市面貌和居住品质的提升,是扩大内需的重要抓手。要坚持问题导向和目标导向相结合,统筹推动城市结构优化、功能完善、品质提升,打造宜居、韧性、智慧城市^[36-37]。对此,为促进eVTOL在智慧城市中的有效应用,鼓励产学研合作,促进技术创新和成果转化,推动低空经济产业链的完善和发展,本文提出以下建议。

6.1 基础设施建设

eVTOL的发展需配备足够的起降场地,建议将eVTOL起降平台、充电设施等纳入城市规划,建设立体化的交通网络。如在城市建筑屋顶、公园、广场等地规划小型起降点,或建设综合性低空运输枢纽。此外还需构建配套的导航、通信和监视设施,如在高楼林立区域加密信号基站,保障信号稳定。

6.2 管理体系优化

完善的政策法规体系,是低空产业发展的制度保障。政府部门要制定统一规范的低空运输管理政策,明确准入门槛、飞行规则和监管职责,各部门协同合作,从而实现从低空运输从审批到运营的全流程高效管理。

6.3 技术创新与融合

加强技术研发和创新,重点突破电池、自动驾驶等关键技术,提高eVTOL的性能和安全性。一方面,利用大数据和人工智能实现飞行路径的智能规划与调度,提高运输效率^[38];另一方面,将低空运输与5G、物联网技术融合,实现飞行器与地面设施、管理平台的实时数据交互。

6.4 安全保障措施

构建完善的安全防护体系,如安装先进的防撞预警系统、强化飞行器的安全性能检测。同时,加强公众教育和宣传,提高市民对eVTOL的认知和接受度,提升公众的安全意识,减少对低空运输的干扰。

7 结论

本文通过对低空经济各类应用场景的深入挖掘与需求分析,探讨了eVTOL在智慧城市交通中的应用前景及其带来的新要求。研究表明,eVTOL的应用将推动城市交通向立体化、智能化方向发展,为缓解交通拥堵、提高交通效率提供新的解决方案。然而,

eVTOL的规模化应用也面临着技术、政策、基础设施等方面的挑战。这就要求在智慧城市发展过程中,要将交通系统的构建、城市空间的合理规划以及信息通信技术等多个层面进行深度融合,为智慧城市的更新注入新的活力与思路。

低空经济与城市更新这两大主题经济发展模式并非孤立存在,而是相互交融、协同共进。借助二者的深度融合,能够在管理体系层面实现创新与优化,打破传统管理模式的壁垒,构建更加高效、智能的城市管理体系。在应用推广领域,实现资源的有效整合与共享,加速新技术、新模式的落地应用,提升城市的综合竞争力。

总之,为促进eVTOL在智慧城市中的有效应用,需要从技术创新、政策完善、基础设施建设和城市管理优化等多个维度采取综合措施。通过加强技术研发、完善政策法规、优化基础设施、提升城市管理水平,可以为eVTOL的应用创造良好环境,推动智慧城市的可持续发展。随着技术的不断进步和政策的逐步完善,eVTOL有望成为城市交通的重要组成部分,为城市居民提供更加便捷、高效的出行选择,助力城市迈向更加智能、高效、宜居的发展新阶段。

参考文献:

- [1] 魏永涛. 边疆地区发展低空经济物流的潜力与可行性——现状、发展策略与政策建议[J]. 全国流通经济, 2024(23): 33-36.
- [2] 中航科工. HK-低空经济蓄势待发,中航科工实力领航[DB/OL]. (2024-03-07)[2025-04-01]. <https://max.book118.com/html/2024/0307/8064053051006043.shtm>.
- [3] 王璐. 低空经济正在成为经济增长新引擎[N]. 金融时报, 2024-09-30(03).
- [4] 张明远, 李静怡. 低空经济发展现状与趋势分析[J]. 航空经济研究, 2023, 15(2): 45-52.
- [5] 李强主持召开国务院常务会议[N]. 人民日报, 2025-01-04(01).
- [6] 新华社. 李强主持召开国务院常务会议研究推进城市更新工作等[J]. 工程建设标准化, 2025(2): 42.
- [7] 刘星宇. eVTOL在低空物流领域的探索与思考[J]. 中国物流与采购, 2025(1): 43.
- [8] 杨岭. 我国民用无人机产业发展现状及未来趋势展望[J]. 中国安防, 2022(12): 15-18.
- [9] 马娇, 蒲朝旭. 大疆无人机航测数据管理系统的设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(12): 132-135.
- [10] 林典驰. 从政策引领到商业化破局 低空经济迎产业爆发奇点[N]. 21世纪经济报道, 2024-12-31(012).
- [11] 蒋星. 上海低空经济发展策略研究[J]. 大飞机, 2024(12): 66-69.
- [12] 熊丽. 低空经济飞得快更要飞得稳[N]. 经济日报, 2025-01-03(005).
- [13] 马琨. 车企积极布局,抢抓“低空经济”风口[J]. 汽车纵横, 2025(2): 8-10.
- [14] 西南证券. 2024年低空经济分析报告:立体交通新范式,万亿蓝海即将打开[DB/OL]. (2024-03-18)[2025-04-01]. <https://max.book118.com/html/2024/0317/8066013067006046.shtm>.
- [15] 中国产业研究院. 2025-2030年中国低空经济行业市场现状调查及未来发展趋势预测报告[DB/OL]. (2024-12-09)[2025-04-01]. <https://www.chinairn.com/report/20241209/114252104.html>.
- [16] 程鑫豪. 低空经济产业发展分析[J]. 中国产经, 2025(4): 101-103.

- [17] 邹娜, 付文凯, 李建盛. 低空经济赋能新质生产力的主要表现、现实困境与应对策略[J]. 南华大学学报(社会科学版), 2025, 26(1): 53-62.
- [18] 陈家宜, 张琦, 巴清悦. 国内外对比视角下我国低空经济的发展构想[J]. 山东宏观经济, 2025(1): 20-31.
- [19] 朱克力. 拆解低空经济产业链[J]. 企业管理, 2024(12): 6-12.
- [20] 单许昌. 万亿规模——我国低空经济发展动力、路径及优化策略[J]. 财富时代, 2025(2): 18-21.
- [21] 王伟强, 陈思远. eVTOL技术在智慧城市交通中的应用前景[J]. 城市交通, 2022, 20(4): 78-86.
- [22] 胡江, 李康明. 低空经济中飞行活动对人身的损害及刑法应对——基于对eVTOL飞行器的思考[J]. 政法学刊, 2024, 41(4): 37-46.
- [23] 刘小川, 惠旭龙, 白春玉, 等. eVTOL飞行器适坠性研究进展与展望[J]. 航空科学技术, 2025, 36(2): 1-28.
- [24] 杨晓琳, 张乐, 陈红英. 国内外eVTOL发展现状及应用场景[J]. 中国科技信息, 2024(22): 59-61.
- [25] 任新惠, 王孟德, 于芳. 基于公平性的eVTOL动态合乘匹配与路径规划模型[J]. 北京交通大学学报, 2025, 49(2): 58-67.
- [26] 林晓峰, 郑雅文. eVTOL应用对城市管理的新挑战与对策[J]. 城市发展研究, 2023, 30(2): 89-97.
- [27] 刘海洋, 赵雪梅. 低空经济产业政策对城市发展的影响研究[J]. 经济管理, 2023, 45(3): 112-120.
- [28] 郎菟, 傅丹虹, 孙卓盈, 等. 社区更新驱动下的创新空间发展与规划策略研究[J]. 西部人居环境学刊, 2024, 39(6): 29-37.
- [29] 孙立新, 黄志远. 智慧城市背景下eVTOL基础设施规划研究[J]. 城市规划学刊, 2022, 18(5): 67-75.
- [30] 刘宇轩, 王宇航, 邓文逸. 智慧城市建设对中国市域经济韧性的影响[J]. 经济地理, 2024, 44(7): 135-143.
- [31] 薛飞. 城市规划体系中智慧城市建设探索[J]. 中国管理信息化, 2021, 24(24): 185-186.
- [32] 彭雨晴, 祝芸依, 贺慧, 等. 空间联系视角下大城市产业新区产城融合水平测度——以武汉为例[J]. 西部人居环境学刊, 2024, 39(4): 106-114.
- [33] 戴一正, 戚广平, 张晨阳, 等. 站城融合·空间整合——我国“站城综合体”的概念解析与研究进展[J]. 西部人居环境学刊, 2024, 39(2): 83-90.
- [34] 陈奇斌. 城市第五立面综合评价研究——以宁波市东部新城核心区为例[J]. 四川建筑科学研究, 2023, 49(5): 96-102.
- [35] 上海市规划和自然资源局. 关于印发《关于加强城市第五立面规划建设指导意见》的通知[EB/OL]. (2023-09-22)[2025-04-01]. <https://www.shanghai.gov.cn/gwk/search/content/39b001a3f37d48cbdd5dd1eb2ccc5e6>.
- [36] 李莎. 2025年首场国常会关注城市更新: 加强用地、资金等要素保障 老旧小区、城中村等改造将提速[N]. 21世纪经济报道, 2025-01-07(06).
- [37] 吴刚. 科技赋能新型城市建设——打造宜居韧性智慧城市[J]. 中国建设信息化, 2025(1): 20-22.
- [38] 张建臣, 李京桥. 基于大数据技术的交通建设企业工程物流运输解决方案[J]. 数字经济, 2024(12): 91-95.

表格来源:

表 1-2: 作者绘制

收稿日期: 2025-04-02

(编辑: 李方)