

长三角一体化背景下轨道交通-低空经济 融合创新发展研究

常燕军,吕一品

(上海应用技术大学 经济与管理学院,上海 200235)

摘要:在国家现代化建设与长三角一体化背景下,轨道交通-低空经济融合发展对重构区域综合立体交通体系、推动产业升级等具有重要意义。运用文献分析与多案例比较的方法,系统阐释融合发展的驱动逻辑,继而评估其多维效益与潜在风险。研究认为,轨道交通-低空经济融合不仅有助于优化轨道交通收益结构、缓解其长期依赖票务收入与财政补贴的困境,更能通过基础设施共建、运营系统互通与服务生态协同,构建立体化交通网络,从而提升区域物流效率、通勤体验与应急响应等方面的能力。并进一步从基础设施、技术标准、商业模式与治理体系等维度,剖析长三角地区推进融合发展所面临的现实“卡点”,结合天津、青岛、深圳等先发城市的实践模式,提出系统化、差异化的实施路径。研究发现,长三角地区需通过设施、服务、系统、运营与治理等多维度融合,构建“高效衔接、立体多元、一体发展、智慧运维”的可持续空轨融合交通体系,推动长三角地区轨道交通-低空经济实现高质量发展,为构建智能、高效、韧性的区域现代化综合交通体系提供理论依据与实践指引。

关键词:长三角一体化;轨道交通;低空经济;融合发展;立体交通网络

中图分类号:F562;F572

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1003-8256.2026.04.011

党的二十届四中全会审议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》中,明确提出要加快建设交通强国、网络强国,培育壮大新兴产业和未来产业,着力打造新兴支柱产业。在此背景下,加快低空经济等战略性新兴产业集群发展,为构建现代化交通网络体系指明了方向^[1]。低空经济作为国家战略性新兴产业与新质生产力的重要代表,正处于政策红利释放与技术迭代升级的历史交汇期,日益深入地融入国家战略布局与产业发展实践中^[2]。其主要通过构建生产要素立体流动网络,为优化传统二维空间资源配置提供了新的技术可能与方案支撑^[3]。

随着我国城市化进程持续深化与经济高质量发展向纵深推进,长三角作为国家现代化建设的先行区,在享受高度城市化成果的同时,也面临着城市交通供需结构性矛盾日益突出的现实挑战。轨道交通作为长三角区域通勤出行的主要公共交通工具,已形成相当规模的网络化布局,然而其可持续发展正面临多重结构性挑战。首先,各城市轨道交通企业盈利能力参差不齐,收益结构较为单一、对财政补贴依赖程度高等现象较为普

遍,随着运营成本持续上升与债务规模不断扩大,其财务平衡面临一定压力,传统发展模式受到挑战;其次,在区域一体化与产业升级背景下,依赖土地财政支撑的城市轨道交通面临发展瓶颈,既有的“轨道+物业”TOD开发模式的价值释放空间渐趋收窄,亟待通过业态融合与模式创新实现突破,以重构轨道交通行业的盈利逻辑与增长路径^[4]。此外,尽管长三角地区轨道交通网络日益完善,但其末端接驳系统尚未实现高效衔接,“最后一公里”问题依然存在,跨区域通勤与物流体系的整体运行效率仍有较大优化空间。因此,推动轨道交通-低空经济深度融合,不仅是对国家战略的积极响应,更是破解轨道交通行业成本与收益、运营与效率等结构性矛盾、培育新发展动能的关键路径。二者的融合旨在通过基础设施共建、运营系统互通与服务生态协同,系统性拓展轨道交通的价值创造边界,构建多元化收益体系。在长三角一体化背景下,如何通过推动轨道交通-低空经济融合创新发展,有效破解轨道交通的收益、成本与效率等结构性困境,进而构建可持续、高质量的区域现代化综合立体交通新范式,具有一定的理论与现实意义。

基金项目:2025年度上海市党的建设研究会资助项目:党建引领上海自贸区推动新质生产力发展的机制与路径研究

作者简介:常燕军(1979—),女,河南郑州人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向:宏观经济管理与公共政策分析;(通信作者)吕一品(1996—),男,陕西商洛人,硕士研究生,研究方向:城市轨道交通管理。

1 文献回顾

当前,学术界围绕轨道交通与低空经济进行了多维度的探讨,积累了丰富的研究成果。一是在理论基础与融合发展方面。张博宇^[5]指出,低空经济与轨道交通在产业周期、控制技术及调度逻辑上存在显著相似性,其融合发展依赖无人机技术体系与智慧交通管理系统等关键技术,并已有深圳、青岛等城市的实践佐证,但同时也面临空域管理法规与技术瓶颈等挑战。徐亮^[6]进一步阐释了二者发展的内在条件,认为小型无人机在轨道交通巡检维护、物资运输等领域应用广泛,二者在安全管理逻辑与技术创新上具有兼容性。宋敏华等^[7-8]则将“轨道+低空”融合明确为城市交通发展的重大趋势,强调轨道交通在安全管理、产业管理等方面的成熟经验可为低空经济提供宝贵借鉴。二是在技术路径与发展实践层面。李君^[9]提出了通过“四链协同”破解低空经济发展瓶颈的框架,即构建“政-端-网-云-用”的产业链布局与“政-产-学-研-用”协同的创新链,但也指出了当前存在发展路径同质化、核心技术创新不足等问题。郜春海等^[10]探讨了通过智能感知、可靠通信等关键技术赋能轨道交通,以提升巡检效率、施工监控等能力,其应用场景可覆盖运营优化与协同物流等多个方面。刘川等^[11]聚焦城市空中交通规划,提出应围绕空域利用、公共航路、基础设施三大核心展开,并以杭州采用的动态渐进式规划框架为例,同时指出该领域面临技术、需求场景及行政管理逻辑等多重不确定性。刘洁敏等^[12]倡导构建“低高空-低中空-低低空”的分层空域规划体系,推进低空空域与地上地下空间的协同开发,并积极探索拓展“TOD+无人机”等融合模式。三是在区域实践与发展挑战层面。现有研究揭示了多样化的地方探索

与共性问题,蔺聪聪等^[13]以天津地铁为例,分析了轨道交通与低空经济在空间、资源等维度的协同潜力,其在“三体耦合”基础设施共享与“空轨联运”智慧物流等方面成效显著,但仍面临空域管理适配性、复合型人才短缺等挑战。谢宝剑^[14]分析了粤港澳大湾区的情况,指出低空经济应用场景多元,涵盖公共管理、物流运输等诸多领域,但存在政策法规碎片化、跨区域协调不足等制约。季强等^[15]、孙卫国等^[16]研究认为需理顺主体责任并健全市场化机制,同时指出低空经济发展高度依赖空域资源、产业基础与科技应用三大核心要素的协同;尽管我国已具备相应的产业与市场条件,但仍普遍面临法规制度、技术瓶颈与基础设施等多重挑战的制约。此外,刘佳雯等^[17]通过对国外低空经济发展经验的梳理,指出其对我国的借鉴意义,并展望了无人机在铁路勘测设计、施工等场景的应用前景,以及构建立体货运物流体系的未来方向,但同时也点明了精准导航、空域管理等技术挑战。简海云等^[18]的研究则凸显了区域差异化的重要性,认为低空经济发展必须因地制宜,要结合其独特的区域特点探索专属路径。

综上,现有研究已取得了显著进展,并为本文提供了启示,但仍存在明显的缺口:首先,现有成果多聚焦于单一城市的个案实践或技术应用研究,缺乏从区域一体化的视角对轨道交通-低空经济融合发展进行系统性探讨;其次,对于在长三角跨省市环境下,如何构建有效的空域管理协同机制与统一的技术标准,如何构建轨道交通网络与低空经济之间“干支联动”的深度融合模式,以及如何形成可持续的创新商业模式等关键问题,现有研究尚未给予充分和系统的解答。基于此,本文将在长三角一体化背景下系统分析轨道交通-低空经济融合创新发展路径(图1),通过阐释融合发展的驱动逻辑,继

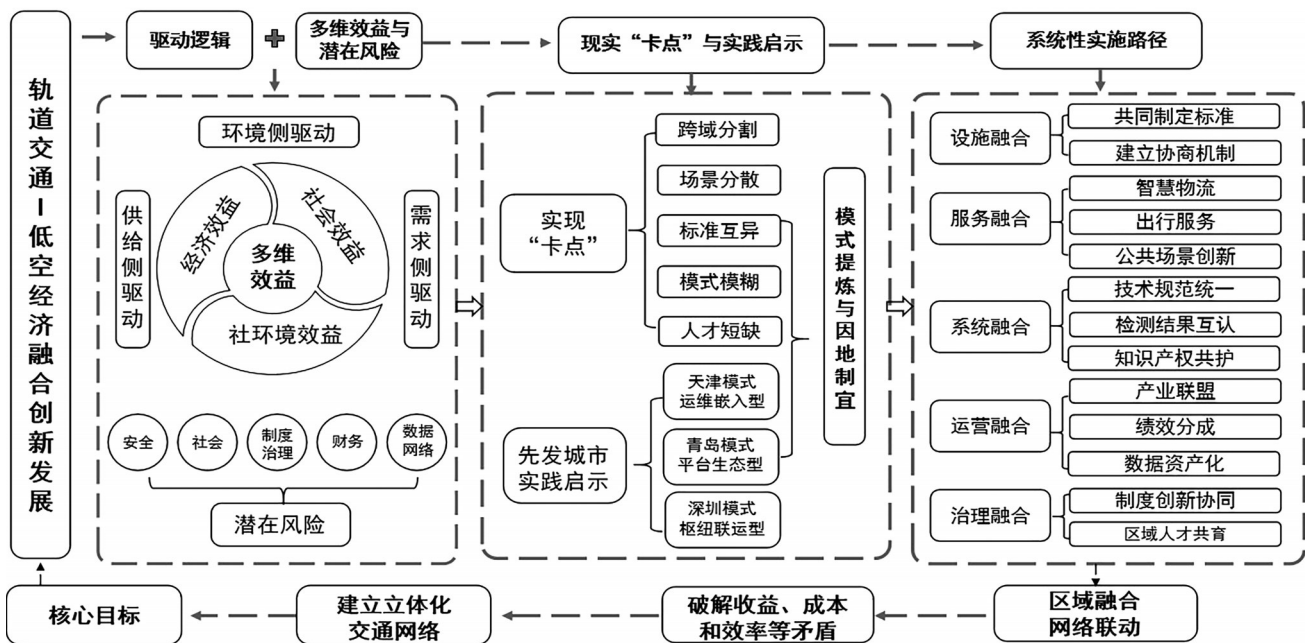


图1 轨道交通-低空经济融合创新发展逻辑框架

而评估其多维效益与潜在风险,进一步分析当前面临的现实“卡点”,并通过对先发城市实践模式的比较与借鉴,最终为长三角地区提出系统性、分层次的实施路径。

2 轨道交通-低空经济融合发展的驱动逻辑

2.1 环境侧:区域赋能与创新生态成熟的外部驱动

有利的宏观环境为长三角推动轨道交通-低空经济融合提供了关键支撑。一是政策层面呈现国家战略与地方响应的双重驱动。随着科技的快速发展,低空经济已上升为国家战略。2021年《国家综合立体交通网规划纲要》首次将“发展低空经济”纳入顶层设计^[19],2024年,低空经济作为新兴产业正式被写入政府工作报告,后续部委文件进一步提出打造万亿级市场规模,为空域管理、基础设施与市场准入提供制度依据^[20]。地方层面上,长三角地区各城市在落实国家战略中充分发挥特色优势,共同构建区域低空经济发展新格局。二是技术层面得益于长三角的创新共同体支撑。区域已在无人机飞控、动力电池等关键环节形成较完整产业链,呈现“上海研发、苏浙皖制造”的产业分工格局。5G-A、北斗导航等新型基础设施加快部署,为空轨融合发展提供保障。高校与科研机构推动人工智能、数字孪生等技术与低空交通管理融合,助力产业向智能化、精细化发展。三是市场层面则依托多元主体构建的区域创新生态。轨道交通企业发挥场景与网络优势向平台运营转型,科技企业聚焦算法与系统解决方案,产业基金等资本机构助力创新企业成长。多方共同促进技术成果在区域内的快速转化与商业化,为融合发展提供了良好的创新环境。

2.2 供给侧:资源优化与模式突破的内生驱动

在长三角一体化战略深入推进的背景下,区域内轨道交通企业面临着转型的迫切压力,同时也拥有存量资产,这些都成为探索新增长路径的独特条件。当前,城市轨道交通运营普遍面临盈利模式单一、过度依赖票务收入与财政补贴的结构性困境^[13]。随着路网格局趋于稳定、新建线路边际效益递减,传统发展模式已难以支撑其可持续发展。因此,企业亟须利用其网络化、规模化的资产与运营优势,拓展具备自主造血能力的新业务领域。低空经济所涵盖的跨城物流、设施巡检、城际交通等服务,能为轨道交通企业提供极具潜力的价值拓展空间。另一方面,既有交通基础设施所附着的空间资源尚未得到高效利用。轨道交通系统在建设过程中形成的车站屋面、高架桥下空间、车辆段库房屋顶等大量闲置资源,在传统运营模式下多限于简单租赁或低效使用^[8]。而这些分布广泛、区位优势的空间节点,为无人机、电动垂直起降飞行器(eVTOL)的起降场、能源补给站及机库建设提供了天然载体,可自然转化为服务长三角城市群的优质低空网络基础。此外,轨道交通企业在长期运营中积淀了成熟的调度指挥体系以及大规模客

流组织等经验,均可转化为支撑区域低空经济发展的关键基础设施与差异化能力。在一体化背景下,轨道交通企业有望从传统的“城市客运服务商”转向提供“空轨融合综合服务”的区域性平台,从而在优化自身资产结构的同时,为构建现代化综合交通体系提供重要支撑。

2.3 需求侧:区域治理与公共服务的效能驱动

长三角一体化进程所产生的结构性需求,为轨道交通-低空经济的融合提供了现实动力。一是立体化交通体系构建的迫切性。区域面临的跨城通勤压力持续增大,带来显著的时间与经济成本,也对环境造成负面影响^[21]。发展立体交通体系已成为共识,而低空交通与地面轨道交通网络的有效衔接,能充分发挥其灵活、快速的优势。二是物流体系效能提升的内在要求。长三角电商与供应链的快速发展对物流时效性与可靠性提出更高标准,传统物流模式面临成本与效率的双重约束^[22]。无人机物流凭借直线可达、不受地面拥堵影响的特性,成为提升区域物流效能的重要路径,但其发展受制于末端基础设施覆盖不足。密集的轨道交通站点网络为无人机物流提供布局合理、覆盖广泛的集散节点,为构建高效区域物流体系提供了有利条件。三是区域治理能力现代化的客观需要。长三角一体化发展对基础设施监测、应急响应等治理能力提出了更高要求。无人机技术在轨道交通设施巡检、跨域应急物资投送等场景中具有突出优势,能够实现自动化、高精度作业,显著提升区域安全韧性与协同治理水平^[13]。

3 轨道交通-低空经济融合发展的多维效益与潜在风险

3.1 经济效益:培育区域经济增长新动能与现代化产业体系

融合发展将助力长三角轨道交通企业拓展多元化收入渠道,增强财务可持续性。通过提供跨区域低空物流、基础设施联合巡检与数据服务等新业态,企业可形成持续的服务性收入,有效缓解传统票务收入的结构性压力;而起降场租赁、空域使用收费与广告资源区域化运营等措施,则进一步盘活三省一市的存量资产价值。更深层次上,伴随区域技术输出与标准共建,企业有望实现从“资产投资者”向“区域价值创造主体”的战略转型,形成“资产价值转化-区域服务收益-技术协同输出”的多元盈利结构。同时,将推动长三角低空制造、运营服务与系统集成等全产业链协同发展。以上海为研发设计中心、苏浙皖为制造配套的产业分工格局,为无人机与eVTOL制造企业提供了规模化应用场景,加速技术研发与产品迭代,同时也催生了专业运营、维护服务与算法支持等新兴市场主体。此外,高效的空轨联运物流网络将降低长三角地区物流成本,提升供应链响应速度与可靠性,对区域内高端制造、跨境电商等高时效性产业形成吸引力。所形成的低空经济产业集群本身

也将成为区域经济的新增长极和就业载体,重塑长三角在全球竞争格局中的比较优势。

3.2 社会效益:提升区域公共服务品质与协同治理效能

融合发展将提升长三角地区出行与物流服务体系运行效率、服务质量等。构建的立体交通网络为区域内居民提供超越传统地面交通的现代化通勤选择,特别是在跨省市通勤、越江跨河等复杂地形及枢纽衔接场景中优势显著。在物流方面,通过二者融合发展不仅能够缓解地面物流压力,还能推动三省一市的物流行业的数字化、智能化转型,为长三角区域经济高质量发展提供重要支撑^[14],可实现从“小时级”向“分钟级响应”的服务升级,提高生鲜产品、急救药品等特殊品类物资的配送效率,优化区域民生服务体验。该体系还将增强长三角城市群的安全韧性与应急联动能力。无人机与轨道交通结合形成的“空-天-地”一体化监测与响应网络,可实现跨区域基础设施状态的实时监控与安全风险的早期预警;在区域性自然灾害与突发事件中,能够快速建立空中应急通道,高效执行跨省市侦察、通信中继与物资投送任务,为生命救援与灾情控制争取宝贵时间,提升区域综合应急处理能力。此外,无人机物流将电商、医疗与农产品等服务延伸至长三角偏远地区,突破地理条件对公共资源均衡配置的限制,助力城乡服务均等化,对缩小区域发展差距、推动共同富裕具有积极意义。

3.3 环境效益:引领区域交通系统绿色低碳转型

在长三角一体化战略引领下,二者融合创新发展将推动区域交通绿色低碳转型^[23]。这一融合模式通过能源结构优化与运行效率提升,在环境效益方面展现出显著优势。在直接减排层面,以无人机和eVTOL为代表的低空飞行器采用电力驱动,运行阶段可实现尾气零排放,有助于降低交通运输碳足迹^[24]。随着长三角地区清洁能源装机比例持续提升,此类电动航空器的全生命周期碳减排潜力将进一步释放。在间接减排层面,“轨道干线+无人机支线”的立体物流网络通过优化运输结构,可有效分流地面交通需求、缓解道路拥堵,降低因车辆怠速产生的高强度污染排放等,形成“系统优化-能效提升-排放下降”的良性循环。同时,长三角地区凭借其完整的产业链优势,正加速推进氢燃料电池等下一代绿色航空技术的研发与应用,为构建清洁低碳、高效智能的区域综合交通体系注入创新动力,有力支撑长三角世界级城市群的生态文明建设^[25]。

3.4 潜在风险:防控系统风险与保障发展安全

在充分认识融合发展多维效益的同时,仍需对其产生的潜在风险进行系统性审视。在安全层面,首要问题涉及飞行器自身的技术可靠性、空中防碰撞能力及对地面人员、设施的安全保障,目前尚未完全建立成熟的全链条风险防控体系。在社会接受度层面,低空

飞行活动可能产生的噪音污染易引发扰民问题,而广泛的数据采集与处理若缺乏严格规范,将加剧公众对隐私泄露的担忧。在制度与治理层面,现行法律法规对融合新业态存在适用空白,跨区域、跨部门的事故责任界定与监管协同机制仍不清晰,标准统一进程面临现实阻力^[16]。在经济可持续性层面,高昂的前期基础设施投入与较长的市场培育周期,可能影响项目的财务健康与长期运营能力,过度依赖政策性补贴难以形成真正市场竞争力。此外,数据安全与网络防护更是贯穿各环节的基础性挑战。因此,推动融合发展必须坚持“发展与安全并重”的原则,通过前瞻性的制度设计、严格的技术标准与透明的社会沟通,系统性地构建风险识别、评估与管控机制,从而在风险可控的前提下稳步释放其革新潜力。

4 轨道交通-低空经济融合发展的现实“卡点”与先发城市实践启示

在长三角一体化背景下,轨道交通-低空经济融合发展面临着若干结构性挑战制约其从构想走向实践。一是空域管理与基础设施规划的跨区域分割,使得低空航路网络难以与既有的轨道交通系统在物理与运营层面实现系统性对接。二是应用场景呈现分散化、本地化特征,缺乏跨区域的协同设计与规模化整合,难以形成网络效应。三是技术标准互异与数据流通壁垒,阻碍系统间的互联互通、安全协同与效率提升。此外,尚未成形清晰、可持续的商业模式与利益分配机制,制约了市场主体的深度参与和长期投入。最后,跨区域治理体系薄弱与复合型人才供给短缺,构成了支撑产业长期发展的基础性短板。

通过分析上述现实“卡点”,揭示了在长三角一体化背景下推进轨道交通与低空经济融合发展的复杂性与特殊性,也明晰了当前亟待破解的核心障碍。目前,天津、青岛、深圳等部分城市已在此领域开展了实质性实践探索。这些城市的先行先试不仅呈现了多元化的融合形态与应用场景,各自的发展路径也为应对类似挑战提供了重要的实证参考,形成了具有辨识度的运行逻辑与适配条件。因此,深入剖析先发城市实践模式,探究其成功背后的机制逻辑与约束条件,对于长三角地区审视自身禀赋、选择适宜路径,并系统性构建融合策略具有关键的借鉴意义。

4.1 天津市:“运维嵌入型”模式——以存量场景驱动技术融合

天津市在推动轨道交通与低空经济融合实践中,形成了以既有运维场景为切入点、以技术增效为路径的“运维嵌入型”模式^[26-27]。聚焦地铁停车场等封闭场站,天津轨道交通集团通过打造“无人机+AI”自动化巡检系统,替代传统人工巡查,实现运维流程的智能化改造^[28]。此模式成功落地并取得成效,主要依赖三个关

键机制:一是需求精准匹配与价值闭环清晰。该模式直击运维业务中效率低、安全风险高、监测盲区运维难等长期痛点,创新开拓“轨道交通+低空经济+人工智能”应用场景,有效提升了巡检效率,降低了运维成本,其带来的成本节约与效率提升能够直接体现在运营主体的损益表中,从而获得内部支持与持续投入。二是实施路径轻量且门槛可控。无人机在封闭场站内开展作业,无需复杂的外部空域协调,主要依赖可移动、模块化的设备与算法平台,初期投资与整合难度相对较低,易于试点验证与快速迭代。三是技术定位务实,聚焦业务赋能。将无人机技术定位为提升既有运维效率的“工具”而非独立开辟的全新业务,有效降低了组织内部的变革阻力,使技术团队与业务部门能以解决问题为导向协同推进,保障了技术应用的顺畅落地与持续优化。

4.2 青岛市:“平台生态型”模式——以顶层设计驱动系统构建

青岛市通过构建统一的低空智能融合管理服务平台,系统性地整合轨道交通网络资源与低空经济要素,形成“场景开放-平台调度-产业集聚”的良性循环^[29]。该融合模式主要由青岛地铁集团牵头成立专业化运营主体,有效统筹了公共资源的配置,确保了重大基础设施建设的连贯性与运营安全的基本盘,同时以市场化方式开展平台运营与生态合作,兼顾了公共属性与商业活力^[30]。其次,实现存量资产与数据资源的战略性复用。平台充分依托并盘活了轨道交通既有的通信、电力、土地空间及客流数据等,显著降低平台的构建与运营成本,赋予了其快速落地和规模拓展的独特优势。此外,采用开放式、生态化的发展路径。通过向产业链上下游企业开放平台接口、提供真实测试场景,吸引研发、制造、运营、服务等多元主体共同创新,快速丰富了应用生态,更使平台自身的价值随着生态体系的繁荣而持续提升,形成强大的网络效应和产业凝聚力^[31]。

4.3 深圳市:“枢纽联运型”模式——以高端需求驱动产品创新

深圳市以深圳北站为载体,通过前瞻性布局直升机/eVTOL起降坪等基础设施,在物理空间与运营组织层面推动低空交通网络与高铁、城市轨道交通等多模式交通系统深度融合,从而构建起“空铁一站式联运”的新型服务体系^[32-33]。该模式成功实施并形成示范效应的关键在于:首先,粤港澳大湾区经济活跃度高,城际人员流动频繁,形成了对高效通勤服务的强劲市场需求。这种以通勤效率为核心诉求的高端出行需求,为“空中的士”的商业化运营提供了市场空间与付费意愿支撑;其次,深圳北站作为国家级综合交通枢纽,凭借优质的枢纽地位吸引大规模高品质客流,降低了市场推广的初期成本;同时,依托该枢纽已形成的公信力与品牌认知,有助于建立新服务可靠、高效的形象预期,从而加速市场接受进程。另外,通过与本地成熟通航企业开展战略合

作,规避了自建重资产运营体系的高投入,迅速整合了专业飞行器、飞行员及空域协调等核心资源。同时,通过配套开发“空中的士”线上预约平台,将航空服务转化为标准化、易触达的数字产品,提升了用户体验并降低了服务使用门槛,从而推动服务快速落地与持续迭代。

综合上述分析,先发城市的实践模式为长三角地区提供了差异化的融合路径参照,其复制与推广的可行性及条件各异,体现出融合实践与区域资源、制度环境的内在逻辑。一是天津的“运维嵌入型”模式以技术工具驱动既有流程增效,技术复杂度与制度协调门槛较低,具备较高普适性。长三角复制的关键在于轨道交通企业是否具备以数字化手段系统重构运维体系的战略意愿,推动技术标准化与既有系统数据接口的开放。二是青岛的“平台生态型”模式依托区域性基础设施与规则平台牵引产业生态,其成功依赖于具有公信力与协调能力的公共运营主体,核心挑战在于跨行政区统一技术标准、构建可信数据共享与公平利益协调机制,这也正是长三角一体化发展需破解的制度性命题。三是深圳的“枢纽联运型”模式聚焦高端市场与标杆场景,对枢纽能级、市场需求密度与支付能力要求较高,适用范围有限;长三角地区需精准聚焦上海虹桥等高能级综合枢纽,依托区域出行特征设计商业化产品,并在空域协调、跨市监管等制度层面实现突破。最后,应基于对不同城市实践模式内在逻辑与约束的系统辨析,全面审视长三角区域的实施主体、制度环境、市场基础与技术能力等,进而开展策略性组合、适配与创新,探索适合长三角一体化发展的实施路径。

5 轨道交通-低空经济融合发展的系统性实施路径

5.1 以设施融合筑牢物理基础

长三角地区推进融合发展的首要前提是实现轨道交通与低空系统在物理空间与基础设施层面的深度耦合,即“设施融合”。长三角地区需要打破行政区划对基础设施规划的割裂,推动形成土地、空间与接口标准统一的区域一体化综合交通设施网络。其实施关键在于构建常态化的跨层级、跨部门规划协同机制,重点将低空经济发展需求系统性融入区域综合交通规划体系中。一是共同制定并推行覆盖长三角区域的低空基础设施布局导则与建设标准,将无人机/eVTOL起降场、能源补给站、通信导航设施的配置要求,纳入各省市新一轮轨道交通线网规划、枢纽设计以及TOD综合开发方案,从源头上实现关键节点的标准化预留与共建共享^[34]。二是亟须建立由相关交通主管部门牵头,主动协同军方、民航等空域管理单位的常态化协商机制,优先围绕沪宁、沪杭、合杭、G60科创走廊等,共同规划并试点跨城低空航路网络,使其在空间廊道上与地面轨道交通干线紧密伴行,在功能上形成“空中快线”与“地面干线”相互

衔接、相互补充的区域交通体系。

5.2 以服务融合释放内在价值

在设施互联的基础上,需要进一步迈向服务融合发展,即围绕具体场景,将轨道交通-低空经济中的运输能力进行产品化整合,构建层次分明、优势互补的应用生态圈。一是智慧物流领域,打造“人工智能+轨道干线集疏运+无人机支线配送”的区域智慧物流示范网络。可鼓励和支持沿线城市轨道交通企业、快递公司以及专业的低空物流运营商,通过组建商业联合体或合资公司等,共同设计运营流程、利益分配与风险分担机制,率先在沪宁、沪杭等通道内选取地铁非高峰时段,开展“站到站”定向高附加值货物运输与“最后一公里”无人机集群配送的商业化运营试点。二是出行服务领域,选择上海虹桥、杭州西站、南京南站等客流高度集聚、地面接驳压力大、商务出行需求旺盛的综合交通枢纽,与具备相应资质和运营经验的eVTOL航空公司合作,开展至市中心CBD、重点产业园、旅游集散地或邻近机场的短途接驳与商务快线服务示范^[14]。三是激发全社会的创新活力,建立由长三角区域合作机构或交通行业主管部门联合搭建“场景创新需求发布与解决方案对接平台”,定期征集并发布如跨省市重大基础设施联合智能巡检、长三角生态绿色一体化示范区环境立体监测、大型赛事活动立体安防与应急保障等具有区域公共属性的特色应用项目,形成融合应用新局面。

5.3 以系统融合实现互联互通

实现从“物理连接”到“智慧运营”的飞跃,关键在于推进“系统融合”,即实现轨道交通与低空管理系统在数据、通信与控制层面的深度互通与智能协同,这需要以区域一体化的技术标准与创新体系为基础。一是应将区域共性技术标准的一体化作为优先任务。由长三角三省一市的市场监督管理部门、交通运输部门联合指导,推动区域内轨道交通企业、低空装备制造商、科研院所及相关行业协会等,共同成立相关融合标准化协作组织等。重点聚焦互联互通需求,率先组织力量研制并在区域范围内推广一批关键性技术规范,涵盖起降场物理接口、能源补给协议、空地数据通信、飞行器与轨道交通系统的信息安全交互等核心环节,为设备研制、系统集成和互联互通提供统一的技术依据。二是构建支撑标准落地应用的技术服务体系。在长三角范围内,依托现有国家级或省级检测认证机构,通过能力共建、结果互认等方式,构建区域性的权威检测认证联盟网络,对符合区域统一标准的核心软硬件产品提供便捷、权威的测试服务,并大力推行“一次检测,区域通用”的互认模式,降低企业的市场准入成本和重复测试负担。三是共建区域知识产权协同保护体系^[35]。针对轨道交通-低空经济融合技术跨学科、跨领域的特点,积极推动三省一市在低空飞行控制、空轨协同调度、智能运维等关键技术领域建立专利池和标准必要专利(SEP)共享机制。

设立知识产权快速审查与维权绿色通道,对融合领域核心技术实行跨区域联合保护,降低企业维权成本^[36]。同时,构建覆盖研发、制造、运营全链条的知识产权服务体系,培育一批熟悉轨道交通与低空产业的专业服务机构,为企业提供专利导航、风险预警与价值评估等一体化服务。引导企业围绕“轨道+低空”融合技术进行全球专利布局,支持联合申请高价值专利,共同提升区域产业核心竞争力。

5.4 以运营融合保障可持续性

可持续的商业模式是确保融合发展从示范走向规模、从投入转向盈利的关键。在市场机制下,形成权责清晰、激励相容、价值共享的商业合作模式,首要任务是创新区域合作与产业组织模式。鼓励和支持以市场为导向,推动轨道交通企业、低空飞行服务提供商、数字化技术解决方案商、物流或旅游等场景需求方,通过共同出资组建专业化项目运营公司、成立紧密型产业联盟或建立长期战略合作伙伴关系等多种形式,构建“利益共享、风险共担、优势互补”的实质性联合发展实体,改变以往松散、短期的合作方式,积极拓展多元化、可持续的收益渠道。推动轨道交通企业从传统的“空间出租方”转变为“深度运营合伙人”,深度融入运营价值链。除了基础的设施租赁与起降服务费,更应积极探索与运营绩效挂钩的收益模式,使轨道交通企业的收入与融合业务的市场增长紧密绑定。同时,要高度重视数据资源的资产化价值^[37],需系统性地对轨道交通产生的客流数据、设施状态数据以及低空飞行器产生的实时态势数据、航线流量数据进行有机整合与深度挖掘,开发形成面向城市治理、商业选址、交通规划等多领域的数据产品与服务,开辟新的营收渠道。

5.5 以治理融合破除深层障碍

推动深层次的治理融合,需构建适应新业态发展的跨区域、跨部门一体化政策与监管体系,为融合发展提供制度保障。一是在政策与治理层面,长三角应聚焦区域融合发展的现实“卡点”,重点推动低空空域协同使用审批流程的标准化、跨区域运营安全监管的职责衔接与执法协同、突发事件应急联动与责任界定规则的统一,以及数据安全分类管理与合规流动机制的共建,以形成稳定、透明、可预期的区域制度框架,显著降低制度性交易成本。可共同争取在长三角生态绿色一体化发展示范区等制度创新平台内,设立轨道交通-低空经济融合创新发展试点区。在风险可控前提下,积极探索空域动态精细化管理、适应新业态的包容审慎监管模式及数据有序流动机制,为更高层级的制度设计提供实践依据^[15]。二是在区域人才共育方面,需构建面向产业需求的、区域一体化的人才培养与供给网络。高等教育应主动适应跨学科趋势,鼓励高校设立智能交通与低空系统等相关专业课程,创新构建交通运输、航空技术、人工智能、信息科学与运营管理

深度融合的知识体系和人才培养模式^[38]。同时,应推动形成由龙头企业、高水平院校与科研机构共同构建的产教融合共同体,通过共建实训基地与创新中心,实现人才培养与产业需求的无缝对接^[39]。此外,建议由相关行业协会牵头,研究制定区域互认的关键岗位能力标准与职业技能认证体系,促进复合型人才在区域内的自由流动与优化配置,为融合发展的长期演进提供坚实的智力与制度支撑。

6 结语

轨道交通-低空经济融合发展是顺应技术变革、响应国家战略、破解现实瓶颈的系统性工程,代表着未来城市(群)交通体系演进的重要方向。面向“十五五”新的发展阶段,长三角地区要进一步强化区域协同治理能力,将低空经济嵌入综合立体交通网络规划中,持续推进基础设施共建、技术标准共认、场景生态共创与商业模式共赢。尤其在空域管理协同、数据安全流动、知识产权保护与复合人才共育等方面,需加快制度创新与政策联动,构建深度融合的区域创新生态。通过顶层设计与试点示范相结合,推动轨道交通-低空经济融合从项目探索走向网络化运营、规模化发展,逐步建成高效集约、安全韧性、智慧绿色的现代化综合交通体系,在未来发展中形成可复制、可推广的“长三角一体化交通融合模式”,为中国式现代化建设提供坚实的区域实践支撑^[40]。

参考文献:

- [1] 中共中央关于制定国民经济和社会发展地十五个五年规划的建议.[EB/OL](2025-10-28)[2025-12-20].https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_12386/202511/content_7047415.html.
- [2] 王树森,倪红福.低空经济的概念辨析与经济含义[J].西安财经大学学报,2025,38(5):42-53.
- [3] 沈占胜,崔佳旭.低空经济高质量发展的价值意蕴、内在逻辑与实践路径[J/OL].成都理工大学学报(社会科学版),1-14[2025-10-25].<https://link.cnki.net/urlid/51.1641.C.20250526.1016.002>.
- [4] 周延锁,金邹苹,郭雨璐,等.城市轨道交通发展现状与思考[J].经贸实践,2024(2):34-37.
- [5] 张博宇.低空经济与轨道交通协同技术路径研究[J].运输经理世界,2025(22):43-46.
- [6] 徐亮.低空经济背景下小型无人机在城市轨道交通行业的应用展望[J].智能建筑与智慧城市,2025(4):17-19.
- [7] 宋敏华,ZHANG L M.低空经济与城市轨道交通融合新趋势[J].城市轨道交通研究,2025,28(11):6,161-162.
- [8] 宋敏华,ZHANG L M.城市轨道交通与低空交通融合创新的必要性和可行性[J].城市轨道交通研究,2025,28(11):6,161-162.
- [9] 李君.“四链”协同赋能:面向多路径集成的低空经济高质量发展策略研究[J].交通运输工程与信息学报,2025,23(4):1-10.
- [10] 郜春海,朱力,苗佳,等.低空经济与城市轨道交通融合的技术路径与应用前景[J].都市快轨交通,2025,38(2):14-21.
- [11] 刘川,顾佩,程国宏,等.城市空中交通规划方法研究及杭州市探索实践[J].城市交通,2025,23(2):47-56.
- [12] 刘洁敏,苏雪娇,沈振江.无人机交通治理导向的城市低空空域与地上地下空间协同开发模式探析[J/OL].国际城市规划,1-16[2026-01-04].<https://doi.org/10.19830/j.upi.2024.236>.
- [13] 蔺聪聪,张岩.“轨道+低空”融合发展机制实践与探索[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(5):9-15.
- [14] 谢宝剑.粤港澳大湾区低空经济发展应用场景创新体系研究[J].改革与战略,2025,41(2):11-19.
- [15] 季强,徐刚.低空立体交通体系:概念阐释、现实困境与构建路径[J].交通与港航,2025,12(3):1-8.
- [16] 孙卫国,吕人力,李凌威,等.低空经济面临的机遇、挑战与城市空中交通规划展望[J].城市交通,2025,23(2):13-19,127.
- [17] 刘佳雯,王缪莹,沈通,等.国内外低空经济发展及其在铁路领域的应用场景研究[J].铁道运输与经济,2025,47(10):30-43.
- [18] 简海云,关学国,戴曦霞,等.云贵高原低空经济发展路径探索:以昆明市为例[J].城市交通,2025,23(2):39-46.
- [19] 中共中央 国务院.中共中央 国务院印发国家综合立体交通网规划纲要[N].人民日报,2021-02-25(1).
- [20] 工业和信息化部 科学技术部 财政部 中国民用航空局.关于印发《通用航空装备创新应用实施方案(2024—2030年)》的通知(工信部联重装[2024]52号).[EB/OL](2024-03-27)[2025-11-22].https://wap.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2024/art_4ce8d09c15ee4fb1aefc3d5dfbb6584.html.
- [21] 张洋铭.“四网融合”视域下轨道交通对长三角区域一体化经济的影响及启示[J].中国市场,2024(19):23-26.
- [22] 徐艺文,单志诚.国家电子商务示范城市建设对区域市场一体化的影响:以长三角城市群为例[J].商业经济研究,2025(7):173-176.
- [23] 宋丹,徐政.低空经济赋能高质量发展的内在逻辑与实践路径[J].湖南社会科学,2024(5):65-75.
- [24] 张明明,万媛.低空经济产业高质量发展的现实基础、目标导向与实现路径[J/OL].成都理工大学学报(社会科学版),1-18[2025-11-23].<https://link.cnki.net/urlid/51.1641.C.20251119.1353.004>.
- [25] 王瑞源,王宝义.交通现代化对中国式现代化水平的影响效应[J].重庆交通大学学报(社会科学版),2025,25(6):43-53.
- [26] 天津市人民政府国有资产监督管理委员会.天津轨道交通集团:坚持“三新”并举“三量”焕新打造“地铁+经济”新模式.[EB/OL](2024-04-14)[2025-11-22].https://sasac.tj.gov.cn/GZJG8342/JGDT5617/202404/t20240414_6599457.html.
- [27] 北方网.“无人机+飞控平台+A1算法”打造地铁巡查新模式.[EB/OL](2025-08-06)[2025-11-22].<http://news.enorth.com.cn/system/2025/08/06/058615975.shtml>.
- [28] 中国新闻网.天津首个停车场无人机平台投用.[EB/OL](2025-09-26)[2025-11-22].<https://qwgyjy.gqb.gov.cn/cj/2025/09-26/10489906.shtml>.
- [29] 顾青青.青岛地铁创新激活轨道交通与低空经济新动能.[EB/OL](2025-11-11)[2025-11-22].<http://rongmeiti.myzaker.com>.
- [30] 巩聪聪,苗春艳.轨道交通+低空经济 青岛地铁集团“低”空“高”飞[J].山东国资,2025(9):40-41.
- [31] 齐鲁网.青岛地铁打造“轨道+低空”多业态融合发展模式.[EB/OL](2025-07-25)[2025-11-22].<https://qingdao.iqilu.com/qdyawen/2025/0725/5835742.shtml>.
- [32] 人民交通网.“低空+轨道”空铁联运.[EB/OL](2025-11-11)[2025-11-22].<http://dkjj.rmjtxw.com/anlizhanbo/94.html>.
- [33] 南方 plus.我国首个“低空+轨道”空铁联运项目在深圳启动.[EB/OL](2024-06-28)[2025-11-22].<https://static.nfnews.com/>

content/202406/28/c9034194.html.

- [34] 杜智民, 高超, 陈泽鹏. 智慧交通与低空经济协同发展的空间规划策略研究[J]. 长安大学学报(社会科学版), 2024, 26(5): 84-100.
- [35] 顾元吉, 张燕. 低空经济赋能新质生产力发展: 作用机制、现实挑战与突破路径[J]. 改革与战略, 2025, 41(2): 35-41.
- [36] 蒋中麒, 冯雪. 低空经济促进法的基本构想: 定位诠释与体系化展开[J]. 科学与管理, 2026, 46(1): 42-49.
- [37] 朱长兵, 陆晨. 低空经济赋能新质生产力: 系统机理、现实困境与优化路径[J]. 科技智囊, 2025(7): 38-45.
- [38] 王珏, 王荣基, 马明山. 低空经济与现代化产业体系耦合互嵌研究[J]. 长安大学学报(社会科学版), 2025, 27(5): 86-100.
- [39] 徐政, 占智勇. 新质生产力推动长三角产业一体化形成的逻辑机理与实践指向[J]. 苏州大学学报(哲学社会科学版), 2024, 45(4): 50-61.
- [40] 丁金学. 新时代我国综合交通运输发展形势与建议[J]. 重庆交通大学学报(社会科学版), 2024, 24(6): 55-62, 112.

Research on the Integrated and Innovative Development of Rail Transit and Low-Altitude Economy in the Context of Yangtze River Delta Integration

CHANG Yanjun, LYU Yipin

(School of Economics and Management, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China)

Abstract: Under the backdrop of national modernization and the integrated development of the Yangtze River Delta, the integrated development of rail transit and the low-altitude economy is of significant importance for reconstructing the regional comprehensive three-dimensional transportation system and promoting industrial upgrading. Employing methods such as literature analysis and multi-case comparison, this study systematically elucidates the driving logic behind this integration and assesses its multidimensional benefits and potential risks. The research finds that integration not only helps optimize the revenue structure of rail transit, alleviating its longstanding overreliance on fare revenue and government subsidies, but also facilitates the construction of a three-dimensional rail transit network through shared infrastructure, interconnected operational systems, and synergistic service ecosystems. This enhances regional logistics efficiency, commuting experience, and emergency response capabilities. Furthermore, from dimensions including infrastructure, technical standards, business models, and governance systems, the study analyzes the practical "bottlenecks" hindering integration progress in the Yangtze River Delta. Drawing on practical models from pioneering cities like Tianjin, Qingdao, and Shenzhen, it proposes systematic and differentiated implementation pathways. The study concludes that the Yangtze River Delta region needs to achieve multidimensional integration across facilities, services, systems, operations, and governance to build a sustainable, integrated air-rail transportation system characterized by "efficient connectivity, three-dimensional diversity, unified development, and smart operation and maintenance". This will promote the high-quality development of rail transit and the low-altitude economy in the region, providing a theoretical basis and practical guidance for constructing an intelligent, efficient, and resilient modern regional comprehensive transportation system.

Keywords: Yangtze River Delta integration; rail transit; low-altitude economy; integrated development; three-dimensional transportation network