文章编号：1672-5328(2026)01-0079-08　中图分类号：U491　文献标志码：A　DOI:10.13813/j.cn11-5141/u.2025.0068

低空运输路空协同新交通体系框架构建与深圳市实践

孙超[1,2]，黄愉文[1,2]，韩广广[1,2]
(1. 深城交科技集团股份有限公司，广东 深圳 518021；2. 深圳市低空智能交通运行系统重点实验室，广东 深圳 518021)

摘要：作为新质生产力的重要组成部分，低空经济正从飞行试验阶段加速迈向规模化商业应用。推进路空协同发展，对加强路空资源统筹与安全管控、提升综合立体交通网络整体效能、引领战略性新兴产业发展具有重要作用。从设施协同、管控协同、运营协同、服务协同与产业协同5个方面提出低空运输路空协同新交通体系框架，以支撑地面交通与低空交通的融合发展。在此基础上，结合低空运输发展实际，围绕时空融合感知、可计算空域底座、设施资源协同配置、全流程安全管控、多模式智能调度、政策标准体系完善等方面，系统阐述低空运输路空协同的发展思路，并以深圳市为例，提出覆盖设施建设、安全管控、调度服务、政策标准的全链条发展路径。

关键词：低空经济；交通运输；路空协同；立体交通网络；智能调度；政策标准

Framework Development of a New Road-Air Collaborative Transportation System for Low-Altitude Transport and Practice in Shenzhen

Sun Chao[1,2], Huang Yuwen[1,2], Han Guangguang[1,2]
(1. Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518021, China; 2. Shenzhen Key Laboratory of Low-altitude Intelligent Transportation Operation Systems, Shenzhen Guangdong 518021, China)

Abstract: As a key component of new quality productive forces, the low-altitude economy is rapidly transitioning from the stage of flight testing toward large-scale commercial application. Advancing road-air collaborative development plays a critical role in strengthening the coordinated allocation of road and air resources and safety management, enhancing the overall efficiency of integrated three-dimensional transportation networks, and guiding the development of strategic emerging industries. This paper proposes a framework for the new road-air collaborative transportation system for low-altitude transport from five dimensions, including facility coordination, regulatory coordination, operational coordination, service coordination, and industrial coordination, aiming to support the integrated development of ground and low-altitude transport. Building on this framework and in light of practical development in low-altitude transport, the paper systematically elaborates the development approach to road-air collaboration across multiple aspects, including spatiotemporal integrated perception, a computable airspace foundation, coordinated allocation of facility resources, full-process safety management, multimodal intelligent dispatching, and the improvement of policy and standards systems. Taking Shenzhen as a case study, the paper further proposes a full-chain development pathway encompassing infrastructure construction, safety management, dispatching services, and policy and standards.

Keywords: low-altitude economy; transportation; road-air collaboration; three-dimensional transportation network; intelligent dispatching; policy and standards

收稿日期：2025-08-08

作者简介：孙超(1985—)，男，安徽宿州人，博士，教授级高级工程师，深城交科技集团股份有限公司副总工程师、科技创新中心副主任，研究方向为智能交通，电子邮箱sunc@sutpc.com。

引用格式：孙超，黄愉文，韩广广.低空运输路空协同新交通体系框架构建与深圳市实践[J]. 城市交通，2026，24(1)：79-86.

Sun Chao, Huang Yuwen, Han Guangguang. Framework development of a new road-air collaborative transportation system for low-altitude transport and practice in Shenzhen[J]. Urban transport of China, 2026, 24(1): 79-86.

作为新质生产力的重要组成部分[1]，低空经济已成为全球大国竞相布局的新兴产业赛道，正从飞行试验阶段加速向规模化商业应用阶段迈进。2024年，中国注册无人机共217.7万架，同比增长98.5%；累计飞行2 666.7万h，同比增长15.4%。以往面向单一机型、单一任务、单一用户的独享型资源利用及隔离式飞行管控模式，已难以适应规模化融合飞行所呈现的“异构、高密度、高频次、高复杂性”趋势。因此，亟须统筹整合路、空等多维要素，构建低空运输路空协同新交通体系，推进低空起降设施、空域航路等资源的科学布局与高效利用，强化低空飞行活动全链条安全管控，推动国家综合立体交通网建设和整体效能跃升。低空运输路空协同是路域、空域等各类运输方式由独立发展转向紧密协作的新型交通范式，旨在从基础设施、运输组织、运行管控等多个维度实现交通资源的优化配置与协同运行。

1 国内外低空运输路空协同探索实践

围绕设施衔接、服务融合、安全管控等方面，全球主要发达国家和地区持续开展低空运输路空协同探索。美国遵循“复用优先、低成本改造、渐进式拓展”的低空起降设施发展思路，推动低空起降枢纽与停车场、公共交通场站、码头等现有陆路交通设施融合建设，已在洛杉矶、迈阿密等城市建设一批与现有交通枢纽紧密衔接的低空垂直起降场。欧盟强调可持续发展理念，提出涵盖交通融合、环境可持续、社会包容、产业赋能、安全合规5个维度的低空运输框架，通过出行即服务(Mobility as a Service, MaaS)系统实现与公共交通、共享交通等其他陆路交通方式的有效衔接，促进交通系统整体提效、减排与可持续发展。此外，欧盟出台了全球首部垂直起降场设计标准，通过综合评价噪声、碳排放等因素，确保低空设施与城市环境的可持续融合。2022年，巴黎建成欧洲首个电动垂直起降航空器(Electric Vertical Take-Off and Landing, eVTOL)起降场——蓬图瓦兹起降场。日本注重低空运输服务与陆路交通服务的连续性与便捷性，推动陆域与空域运输流程一体化，促进“陆路交通系统—低空起降设施—低空航空器”在地面无缝衔接，并计划率先在偏远地区物资配送、应急救援等场景开展低空运输示范应用。

中国高度重视低空运输的发展与应用，按照需求导向、示范引领、守住安全底线的发展思路，积极推进路空协同的探索与实践。重点结合客货运需求，以及高速公路、交通枢纽、物流园区等设施的空间分布特征，推进低空运输航线划设[2-3]、空域风险评估、设施建设及示范应用。以深圳市为代表的大城市低空运输规模快速发展，2025年深圳市低空运输经营活动超100万架次，累计建成各类起降点1 284个[4]。依托深圳北站综合交通枢纽，拓展低空出行服务，打造了全国首个空铁联运运营示范站，可实现粤港澳大湾区90%以上区域1 h抵达[5]。此外，深圳市建成宝安低空智慧物流运营中心，集无人机调度、充能、无人车接驳功能于一体，是中国首个已投入运营的空地协同智慧物流中心，日均快递处理能力达2 000单以上。

总体来看，低空运输路空协同发展已成为全球共识，但仍以理念引导及局部试点示范为主，尚未形成系统化的发展体系及实施路径。本文从设施协同、管控协同、运营协同、服务协同、产业协同5个方面提出低空运输路空协同新交通体系框架，形成覆盖设施建设、安全管控、调度服务、政策标准的全链条发展路径，并在深圳市探索实践。

2 路空协同新交通体系框架

低空运输路空协同是陆域与空域资源融合衔接、高效利用的新型交通运输范式，是构建国家综合立体交通网的重要支撑，也是未来交通发展的重要方向。路空协同新交通体系以公路、水路、铁路、交通枢纽等陆路交通资源和低空空域资源的统筹布局与综合利用为基础，以无人机、无人车、无人船等智能载具的自主协同管控为核心，以政策、标准、机制等新兴领域制度创新为保障，围绕“设施协同、管控协同、运营协同、服务协同、产业协同”构建系统框架(见图1)。这一体系可更科学地统筹建设低空运输基础设施，更有效地支撑安全应急、物流运输、空中出行、观光体验等多任务、多机型、多主体的安全管控与服务，更系统地促进低空航空器研发制造、运营服务等全产业链的健康发展。

2.1 设施协同：路空资源统筹配置利用

各地围绕物流运输、医疗救援等场景开展试点示范，积极推进低空起降设施与航线规划建设。但目前仍主要采用满足小规模发展阶段单一企业需求的离散型起降枢纽布局和独享式航线申请与运营模式，与城市空间整体协同不足，普遍存在用地效益不高、重复建设、周边带动作用有限等问题。同时，空域利用率较低，难以适应未来低空运输规模化发展对大规模设施和高密度空域利用的需求。

为此，应坚持以路空资源统筹配置为导向，构建与陆路交通资源功能复合、空间衔接的低空起降设施及航路体系，实现由单一功能布局向城市立体空间资源配置转变。

在低空运输起降设施方面，应遵循统一布局、功能复合、空间协调、衔接高效的原则，综合考虑低空运输细分需求、空域适配性、社区影响、社会接受度及区域经济发展等因素，开展差异化需求下的路空交通枢纽协同设计，明确低空起降设施的总体规模、类型构成和空间分布。在此框架基础上，优先对既有交通枢纽进行复合化改造，拓展起降、候乘、能源补给、维修等功能，打造集陆空功能于一体的低空运输枢纽。

在低空运输航路方面，应转变以往由单一企业申请、审批及运营的模式，按照全局统筹划设的理念，综合道路、河流等正向约束因素及建筑、噪声等负向约束因素，构建多因素耦合的立体交通廊道划设技术体系。在此基础上，分类分级构建面向多航空器、多机型、多任务的低空航路网[6]，并推动其与城市道路、城市轨道交通、公共汽电车等网络融合，以支撑综合立体交通网络建设。

2.2 管控协同：融合路空全要素的安全管控

随着低空航空器数量的快速增长，以深圳市为代表的大城市在同一空域内同时运行的航空器预计将达 10 万架次，日均起降达百万架次。同时，小型、中型、大型等不同类型无人机在飞行高度、安全间隔与运行方式等方面存在显著差异，导致空域资源日趋紧张，空中冲突与坠地风险显著。尤其在低空起降设施、航线交叉口等关键节点，起降调度与交通组织面临严峻挑战，亟须建立基于路空全要素数字底座的飞行态势监测、冲突预测和解除等精准管控能力。

针对低空运输多机型、多主体、多任务条件下的高密度安全运行难题，应围绕路空一体化数字建模、风险推演与协同调度，融合城市路网、建筑、气象、交通运行状态，以及低空空域航空器、通导监设备、气象和噪声等动静态数据，利用数字孪生、空域风险辨识、冲突解脱等技术，构建覆盖低空飞行全周期的安全管控能力[7]。该能力可支持航路、起降设施等资源的动态分配与组织调度，推动管控模式从传统人工运行管理向基于自动时空协调的数智化管控转变。

以美国为例，为应对“高频次、高密度”低空运输带来的挑战，美国提出了从“人在环内”(Human Within the Loop, HWTL)到“人在环上”(Human on the Loop, HOTL)，再到“人在环外”(Human Over the Loop, HOVTL)的逐步无人化自动运行管控演进框架。HWTL 模式下，人类是系统运行的直接参与者，系统自主性较低；HOTL 模式下，系统可自主运行，人类作为监督者在必要时进行干预，系统具有高度自主性；HOVTL 模式下，系统完全自主运行，具有完全自主性。通过建立自动化飞行规则体系，美国致力于实现飞行计划的协调与飞行冲突的自动管控。

2.3 运营协同：跨业务、跨主体的一体化调度

低空飞行申请审批涉及空军、民航、地方政府等多个业务主体，以及民用无人驾驶航空器综合管理平台(UAS Operation Management System，UOM)、空域管理平台、飞行情报服务平台等多个管理系统，流程复杂且周期长，难以适应未来高密度、高

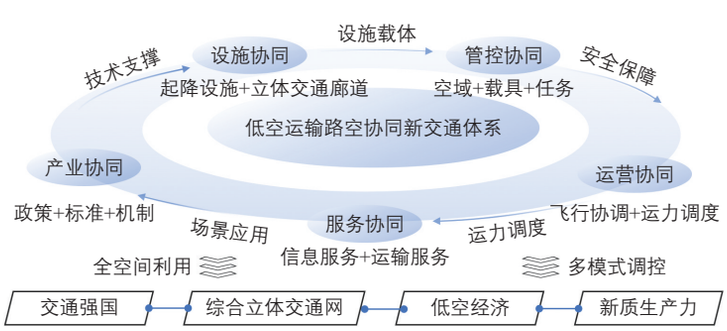

图 1 低空运输路空协同新交通体系框架

Fig.1 Framework for the new road-air collaborative transportation system for low-altitude transport

频次的低空运输需求。目前，低空运输活动主要以单一路线、单一主体、单一任务为主，导致航空器、航路等资源利用率不足甚至闲置。因此，如何基于多任务协调实现一体化调度，已成为支撑低空运输高效运营的关键。

为此，应以提升低空运输一体化运营效率为导向，面向应急救援、巡检、物流运输等多元场景，构建跨部门、跨业务的无人机“一网通飞、一机多用、一飞多用”能力体系，实现飞行计划的自动化协同与组织，提升低空运营整体效能。在此基础上，通过整合多主体飞行申请数据和自动化审核能力，为企业和公众提供便捷高效的飞行申请服务，显著提高审批效率，推动低空飞行管理模式实现从按天申请到按小时预约，再到按秒响应的高效跨越。

2.4 服务协同：路空多种交通方式的高效组织

随着城镇化进程稳步推进，城市出行需求与机动车保有量持续增长，城市交通拥堵问题依然突出。2024年，全国新注册登记机动车3 583万辆，连续10年超过3 000万辆[8]；36个主要城市工作日高峰时段平均运行速度为20.1 $km \cdot h^{-1}$，较2022年下降了2.6 $km \cdot h^{-1}$，整体处于中度拥堵水平[9]。低空运输通过利用城市上空空间资源，提供了新的运输路径与方式，并与地面多种交通方式协调联动，助力提升整体交通运行效能。

以促进综合立体交通网络协调联动为导向，以补充地面交通服务薄弱区域为重点，聚焦海、河、山区等复杂地理区域，围绕“急、难、险、贵”等优势场景，并整合公共汽电车、城市轨道交通、出租汽车等地面交通运行数据，构建路空运输一体化服务平台。该平台可实现路空立体交通网络的一站式信息服务、供需智能匹配与运力资源协同调度，从而提升交通系统整体运行效率。

2.5 产业协同：多维要素互促共进的开放生态

路空协同运输涉及装备制造、基础设施、管理保障与应用服务等多个产业环节，涵盖民航、工信、交通、公安等多个政府部门，以及低空运输运营商、服务商和公众等多个主体，具有产业链条长、辐射面广、成长性强和带动性显著的跨域融合特征。预计到2050年，全球城市低空运输市场规模将达到9万亿美元(约合63万亿元人民币)，其中中国市场规模约占全球市场20%~25%。然而，当前产业仍处于早期示范应用阶段，亟须探索形成上下游协同发展的产业模式，以支撑低空运输的健康、可持续发展。

为此，应以“政产学研用”多维创新要素协同为导向，围绕技术创新、场景突破与产业链协同，持续完善政策、标准与机制等支撑体系，鼓励建设一批路空协同重点实验室、工程研究中心与技术创新中心。这些平台应重点支持低空航空器总体设计、系统集成、软件开发、核心元器件与材料等关键领域的技术攻关，推动企业、高校、研究机构等组建创新联合体，建立稳定的上下游合作机制，协同推进路空运输的规模化发展与应用。例如，德国慕尼黑依托当地航空企业、研究机构等要素集聚的优势，联合成立了eVTOL研发与测试中心，致力于推动eVTOL的研发、制造和测试，以抢占未来低空运输关键载具的产业先机。

3 新交通体系发展策略与深圳市实践

紧扣低空运输由试点示范向规模化应用加快转型的阶段性特征，围绕设施、管控、运营、服务与产业协同，探索构建覆盖时空融合感知、可计算空域底座、设施资源协同配置、全流程安全管控、多种交通方式智能调度以及政策标准完善的低空运输路空协同新交通体系(见图2)。

作为全球“无人机之都”，深圳市消费级无人机占据全球市场70%，拥有低空经济产业链企业1 900余家，正全力打造低空经济第一城。2026年，产业规模将达到1 300亿元人民币，建成各类低空商业航线1 000条[10]。随着低空运输进入快速增长阶段，亟须构建与之相适应的路空协同新交通体系，从而在飞行管控、业务管理、运营安全、设施建设与产业体系等方面提供有力支撑，保障低空运输安全健康发展。

3.1 加强广覆盖异构传感器协同组网与融合感知

针对低空飞行面临的气象条件多变、建筑物及障碍物众多、电磁环境复杂等安全挑战，按照需求导向、统筹布局、共享共用的原则，集约化建设低空“通信+导航+监视+

智算+气象”一体化智能装备体系，实现对合作与非合作航空器的实时感知、定位、跟踪与状态识别，形成低空飞行的主/被动协同探测能力。

一是优先推进起降设施及重点航线的低空通信覆盖。依托1.4G基站实现广覆盖和低成本网络覆盖，支撑飞行信息上报、基础通信等小规模数据传输；依托运营商基站，在重点区域实现密集组网，保障实时视频等大容量数据传输需求。二是发展高分辨率低空气象临近预报服务。针对当前低空气象监测中风廓线、湍流强度、大气成分等小微尺度要素监测能力不足的问题，构建基于城市时空信息平台的低空飞行气象数字孪生辅助系统，提供空间分辨率达百米级、更新频率达分钟级的精细化低空气象服务。

为满足未来年均150万架次经营性低空运输活动需求，深圳市以“广域覆盖、重点提升”为总体思路，加快构建全球首个市域级“5G+毫米波+卫星”空天地一体化低空通信导航监视网络。截至目前，已升级5G-A基站超2.3万个，新增通感基站67座，基本实现120 m以下空域5G网络连续覆盖。在重点区域提升方面，面向高密度城区复杂城市环境与多元应用场景，推进南山低空试验区建设，部署5G-A通感基站、无线电监测站、低空光电设备、小型气象站以及低空气象预警预报平台，全面提升低空通信、导航、监视与气象服务能力，并支撑相关技术测试与验证。

3.2 构建融合路空全要素的可计算数字底座

低空运输正处于快速发展阶段，呈现出多任务混合运行、多主体协同运行等特征，提升空域使用效率、强化运行风险辨识与安全保障已成为必然要求。为此，应遵循“空域资源要素化—空域分配科学化—空域运行推演精细化”的理念，创新应用空域时空编码与栅格化、立体空间安全态势推演等技术[11]，打造分级分区精细化运行的可计算数字底座。

一是构建数字空域模型。针对多样化需求下复杂城市低空空域数字化建模难题，推进全空间语义建模、多层级空域数字化编码、多尺度自适应空域栅格建模等技术应用，构建涵盖宏观、中观、微观三层网格体系的可计算低空空域模型，支撑低空空域分层、分域、分时的动态配置与利用。二是开展动态风险推演。综合考虑空域流量、光照条件、地面复杂场景和气象等因素，融合应用立体空间安全态势多维评估技术，支撑航空器之间(机对机)以及航空器对地面复杂环境(机对物)的碰撞风险推演与预警，实现对低空飞行全过程的风险评估与决策支持。

深圳市在全市域时空信息平台基础上，融合“城、路、车”等5大类50小类数据，以及低空航空器、通导监、气象和噪声等动

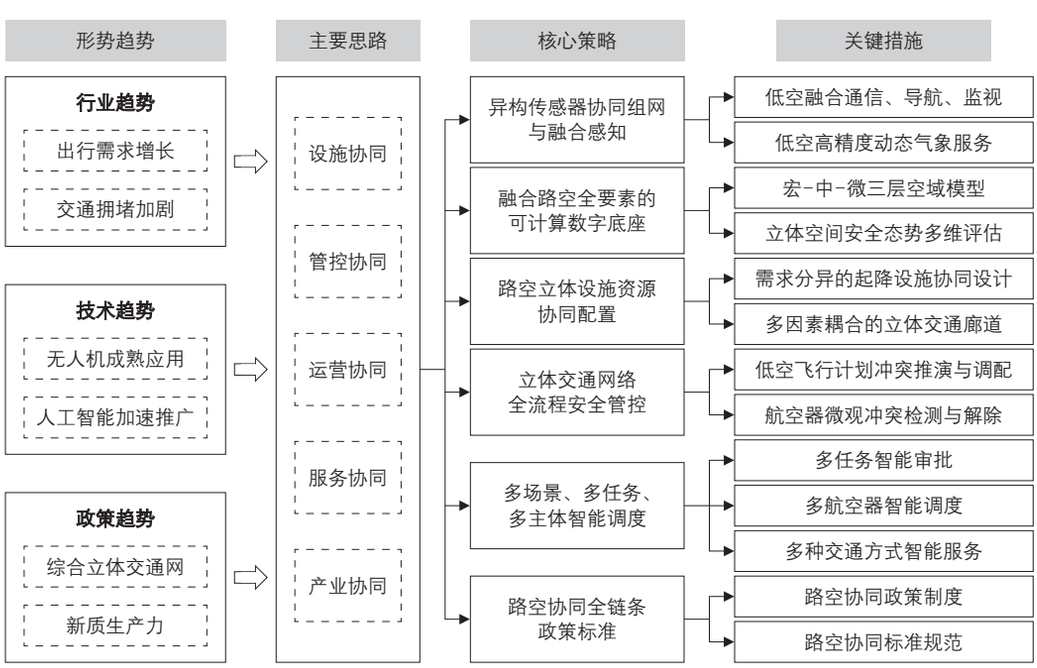

图2 低空运输路空协同新交通体系发展策略

Fig.2 Development strategies for the new road-air collaborative transportation system for low-altitude transport

态数据，构建了城市级路空一体化可计算数字底座。该底座具备统一的飞行时空基准和完备的数字空域要素，目前可支撑日均3 000架次商业化无人机飞行管控，并具备未来日均超10万架次无人机飞行管理的能力。

3.3 强化路空立体设施资源协同配置与融合衔接

针对当前低空运输存在的起降枢纽布局分散、空域航线采用独享式申请与运营模式所导致的资源浪费和重复建设问题，应统筹考虑地面交通设施、气象、噪声等多维因素，推动需求分异的交通枢纽多功能协同设计、多因素耦合的立体交通廊道划设等技术应用。此举将有助于实现起降设施规模、功能、空间和布局上的逐级优化，以及低空空域资源与航路的动态分配与划设，最终促进路域与空域资源的科学配置与高效利用。

一是推进需求分异的起降设施多功能协同设计。围绕物流运输、空中出行、应急救援等多元化低空运输场景，构建涵盖规划协调、实施条件、交通可达性、建设规模及综合效益等要素的评估模型；建立低空起降设施布局与城市土地利用、交通规划之间的互动优化机制，提升起降设施与城市用地、交通设施的协调性与融合度，从宏观布局上推动路空协同发展。二是构建多因素耦合的立体交通廊道。综合地面交通流、气象、噪声、电磁环境、隐私保护等多维度数据，以及空域容量、密度等动态信息，创新应用基于飞行任务与地面环境要素动态演化的坠地风险与噪声等多维影响评估方法，实现科学的空域分配。在此基础上，分类分级构建面向多机型、多任务的低空航路，推进低空空域网与道路网、城市轨道交通网、公共汽电车网等多网融合，为路空协同提供支撑。

结合无人机航路网络、eVTOL航线等多用户、多场景飞行需求，深圳市正积极构建层次分明、结构合理的低空起降服务体系，形成涵盖载客运输、物流运输、社区服务、公共治理等功能的多层级低空起降网络，有力支撑低空运输的规模化发展。2025年，全市累计开通无人机物流航线310条，完成载货飞行超过100万架次，同比增长29%。同时，推进福田口岸“深空之城”(AirShenzhen)先进空中交通综合枢纽建设，打造集停车服务、能源生产与补给、低空飞行、餐饮休息等功能于一体的城市会客厅，将原出租汽车停车场等低效益交通资产升级为高品质、高价值的城市运营资产。此外，在既有智能网联汽车测试场基础上，升级拓展低空起降基础设施、试验基地、检测设备和综合业务管理平台等，建设深圳市(坪山)路空一体智能网联综合交通测试基地，打造面向路空一体的低空航空器检验检测综合服务平台。

3.4 构建立体交通网络全流程安全管控能力

随着低空运输规模、频次与密度的快速增长，多航空器、多机型、多任务融合飞行成为必然趋势，飞行冲突风险高、时空资源协同难等问题日益突出。为此，应以飞行前协调与飞行中化解冲突为主线，融合应用面向大规模异质任务的多层次时空资源智能协同调控技术，全面加强对低空航空器、空域和起降设施等全要素的安全管控，提升大规模低空运输的安全保障能力。

一是加强飞行前冲突协调。综合考虑起降设施资源约束、任务时长限制及气象、地磁等复杂环境影响，构建面向大规模飞行计划的可靠冲突推演模型，支撑飞行计划的精细化推演和冲突评估，实现低空空域层面时空资源的协同调度。二是推进飞行中化解冲突。突破低空航空器微观冲突风险检测与预警、大规模高密度飞行自主化解冲突等控制关键技术，实现对航空器间冲突的实时预警及智能避让。

2024年，深圳市数字化低空管服平台正式上线运行。该平台具备空域规划、航路设计、运行监管与设施监管等全流程管理能力，为低空运输从管道式运行向智能化自主管控转型提供支撑。目前，平台已累计接入全市低空适飞空域、85个无人机起降点以及6万余架航空器等运行数据。

3.5 构建多场景、多任务、多主体智能调度能力

面向未来高密度、高频次的低空运输发展趋势，需转变传统的单一路线、单一主体、单一任务的低空运输申请、审批与服务模式，构建覆盖多任务智能审批、多航空器智能调度、多模式交通网络智能服务的低空运输全链条自主化运行服务体系。该体系将支撑低空运输网络与公共汽电车、出租汽车、城市轨道交通等地面交通网络融合衔

接，助力国家综合立体交通网建设。

一是推进多任务智能审批。基于时空碰撞检测、空域容量评估、航线实时规划等技术，为企业和公众提供便捷高效的飞行申请服务，实现对低空运输活动的自动化评估、协调与审批，显著提高审批效率。二是实现多航空器智能调度。融合多任务需求预测与大规模无人机群智能调度技术，支撑超高密度区域内多运输主体、有人与无人驾驶航空器的智能调配和决策，有效提升低空运输整体效能。三是打造多模式交通网络智能服务。整合公共汽电车、出租汽车、城市轨道交通、低空无人机等交通时刻表与运行数据，构建路空多种交通方式一站式服务平台，实现信息服务集成、运营调度集成，以及交通、文旅、消费、娱乐等多业态服务集成，形成立体化、集成化的综合立体交通服务体系。

围绕跨部门、跨主体的低空飞行服务需求，深圳市建设了低空无人机“一网统飞平台”。该平台通过建立跨品牌无人机数据与业务标准化接口，融合多模态大模型与智能体架构AI算法，实现多部门无人机“一网通飞、一机多用、一飞多用”，已支撑深圳交警交通拥堵、违停巡查、事故勘查绘图，以及高速公路道路巡检、应急响应和事故识别等业务场景的应用。

3.6 制定完善路空协同全链条政策标准

低空运输产业链条长、环节多，涉及基础设施、空域管理、飞行服务等多个层面，同时牵涉交通、公安、工信等多个管理部门，权责关系复杂。因此，在低空运输从示范应用向规模化部署的关键转型阶段制定并完善全链条政策标准体系，已成为支撑低空运输安全健康发展的必然要求。

一是完善政策机制。围绕产业发展、设施建设、场景应用、安全监管等重点领域，持续完善低空运输政策体系，鼓励低空航空器及飞行管控等领域的关键技术与前沿颠覆性技术研发创新；优化城市低空空域的审批、管理与使用机制，结合城市更新等项目加快低空运输起降设施的用地审批；优先选取“急、难、险、贵”等低空优势场景逐步扩大应用规模，探索形成可持续的商业模式。二是强化标准供给。鼓励具备条件的龙头企业、高校、研究机构等创新主体，聚焦路空要素协同衔接，重点围绕低空物流、应急救助、交通巡检等典型场景，在低空运输起降设施、管控服务平台、数据信息等新兴领域，率先开展标准制定及实施应用，逐步积累成熟经验，为全国推进低空运输路空协同发展提供借鉴。三是推进示范应用。选取综合基础条件较好的大城市、都市圈或城市群，开展城市级、线路级、节点级路空协同示范项目，如城市路空协同运输综合示范、综合立体交通廊道建设、综合枢纽场站升级改造等，以点带面逐步推动路空协同的全面发展。

在政策标准体系建设方面，深圳市围绕基础设施、飞行服务、产业应用、安全管理等重点领域，制定并实施了《深圳经济特区低空经济产业促进条例》，这是全国首部专门促进低空经济产业发展的地方法规。同时，迭代发布了《深圳市低空经济标准体系2.0及标准化路线规划》，聚焦安全监管、运行规范、基础设施建设等关键方向，推进一批急需、紧缺标准的制定与实施。

4 结束语

低空经济是推动新质生产力发展的关键引擎，已成为全球大国竞相布局的新兴产业赛道，并加速迈向规模化部署与应用阶段。加快推进低空运输路空协同发展，实现路域资源与低空空域资源的科学配置、智能管控与高效服务，对建设交通强国和构建国家综合立体交通网具有重要的引领与支撑作用。本文紧扣低空运输安全健康发展趋势与需求，从设施协同、管控协同、运营协同、服务协同与产业协同5个方面提出了低空运输路空协同新交通体系框架，形成覆盖设施建设、安全管控、调度服务及政策标准在内的低空运输路空协同全链条发展路径。未来伴随低空运输路空协同发展规模持续提升，多机型、多任务、多主体的高密度融合运行特征将愈为突出，对实时动态的路空协同能力提出更高要求。因此，设施资源的动态协调和运输任务的弹性调度仍是关键研究方向。

参考文献：

References:

[1] 黄启翔，王东. 低空经济规划编制特点与技术框架体系[J]. 城市交通，2025，23(2)：29-38.

Huang Qixiang, Wang Dong. Characteristics

and technical framework system of low-altitude economic planning[J]. Urban transport of China, 2025, 23(2): 29-38.

[2] 廖小罕，屈文秋. 低空经济时代城市空中交通公共航路发展思考[J]. 城市交通，2025，23(2)：20-28.
Liao Xiaohan, Qu Wenqiu. Development of public air-routes for urban air mobility in the era of low-altitude economy[J]. Urban transport of China, 2025, 23(2): 20-28.

[3] 张洪海，李姗，夷珈，等. 城市低空航路规划研究综述[J]. 南京航空航天大学学报，2021，53(6)：827-838.
Zhang Honghai, Li Shan, Yi Jia, et al. Review on urban low-altitude air route planning[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2021, 53(6): 827-838.

[4] 深圳市交通运输局. “交通先行”筑牢高质量发展支撑[EB/OL]. (2026-01-06)[2026-01-09]. https://jtys.sz.gov.cn/zwgk/jtzx/gzdt/content/post_11941628.html.

[5] 深圳市龙华区人民政府. 全国首个空铁联运项目在龙华启动，1小时内可达粤港澳大湾区90%以上地区[EB/OL]. (2024-07-01)[2025-07-20]. https://www.szlhq.gov.cn/zjlh/wzlh/xzlh/content/post_11495287.html.

[6] 马新辉. 低空智联网空天地协同技术研究：关键挑战与对策建议[J]. 无线电工程，2025，55(9)：1755-1763.
Ma Xinhui. Air-space-ground collaborative technologies for low-altitude intelligent networks: key challenges and strategic recommendations[J]. Radio engineering, 2025, 55(9): 1755-1763.

[7] 冯斯梦，张云弈，刘凯，等. 低空混合障碍下无人机协同多智能体航迹规划[J]. 电子与信息学报，2025，47(5)：1291-1300.
Feng Simeng, Zhang Yunyi, Liu Kai, et al. Collaborative multi-agent trajectory optimization for unmanned aerial vehicles under low-altitude mixed-obstacle airspace[J]. Journal of electronics & information technology, 2025, 47(5): 1291-1300.

[8] 人民公安报. 全国机动车保有量达4.53亿辆 驾驶人达5.42亿人[EB/OL]. (2025-01-18)[2025-07-20]. https://www.mps.gov.cn/n2254314/n6409334/c9939035/content.html.

[9] 中国城市规划设计研究院. 2025年度中国主要城市道路网密度与运行状态监测报告[R]. 北京：中国城市规划设计研究院，2025.

[10] 深圳特区报. 深圳全速竞飞“低空经济第一城”[EB/OL]. (2025-08-08)[2025-08-20]. https://fgw.sz.gov.cn/ztzl/qtztzl/szscjmyjjfzzhfwpt/xwdt/cyfz/content/post_12329523.html.

[11] 董超，崔灿，贾子晔，等. 面向低空智联网的多维信息统一表征技术综述[J]. 电子与信息学报，2025，47(5)：1215-1229.
Dong Chao, Cui Can, Jia Ziye, et al. Survey of unified representation technology of multi-dimensional information for low altitude intelligent network[J]. Journal of electronics & information technology, 2025, 47(5): 1215-1229.

(上接第78页)

[4] 李鸿燕. 一种城市道路交通时空资源消耗模型[J]. 黑龙江交通科技，2022，45(11)：138-140.
Li Hongyan. A space-time resource consumption model of urban road traffic[J]. Communications science and technology Heilongjiang, 2022, 45(11): 138-140.

[5] 佟琼，王稼琼，王静. 北京市道路交通外部成本衡量及内部化研究[J]. 管理世界，2014，30(3)：1-9.
Tong Qiong, Wang Jiaqiong, Wang Jing. Study on external cost measurement and internalization of road traffic in Beijing[J]. Management world, 2014, 30(3): 1-9.

[6] 孔令斌. 城市交通20年发展回顾与思考：《城市交通》创刊廿年见证[J]. 城市交通，2023，21(6)：16-25.
Kong Lingbin. Review and reflection on the 20-year development of urban transportation: witnessing 20 years of achievements by the *urban transport of China*[J]. Urban transport of China, 2023, 21(6): 16-25.

[7] 李晨赫，肖玥. 电池事故频发 近3亿辆电动自行车如何安全上路[EB/OL]. (2021-10-12)[2025-04-18]. https://www.chinacourt.cn/article/detail/2021/10/id/6307360.sht ml.