

我国低空基础设施规划演进与未来路径探索

苏阳 王鹏硕 冯铭凯 夏璇

郑州航空工业管理学院, 中国·河南 郑州 450002

摘要: 低空基础设施规划是国土空间规划与低空经济发展的衔接环节, 用物理与信息设施的统筹布局、动态优化构建一体化支撑体系, 解决低空飞行的核心保障问题。目前相关研究在规划体系构建、空间布局设计、数字技术应用等方面已经取得一定成果, 但是仍然存在概念标准不统一、区域资源配置失衡、技术与规划融合不足、跨部门协同机制缺失等问题。推动其研究与实践的完善, 可以有效优化低空资源配置, 筑牢低空经济发展的设施基础, 助力全国性低空基础设施网络的构建, 为低空经济各业态的协同高质量发展提供全方位支撑。

关键词: 低空基础设施规划; 低空经济; 空间布局; 数字技术

Evolution of China's Low-Altitude Infrastructure Planning and Exploration of Its Future Pathways

Su Yang, Wang Pengshuo, Feng Mingkai, Xia Xuan

Zhengzhou University of Aeronautics, China Henan Zhengzhou 450002

Abstract: Low-altitude infrastructure planning serves as the interface between territorial spatial planning and the development of the low-altitude economy. It constructs an integrated support system through the overall layout and dynamic optimization of physical and information facilities, so as to address the core guarantee issues of low-altitude flight operations. At present, certain progress has been made in relevant research in terms of planning system construction, spatial layout design and digital technology application. Nevertheless, problems still exist, including inconsistent conceptual standards, unbalanced regional resource allocation, insufficient integration of technology and planning, and the absence of cross-departmental coordination mechanisms. Promoting the improvement of its research and practice can effectively optimize the allocation of low-altitude resources, consolidate the infrastructure foundation for the development of the low-altitude economy, facilitate the construction of a national low-altitude infrastructure network, and provide all-round support for the coordinated and high-quality development of all business formats in the low-altitude economy.

Keywords: Low-altitude infrastructure planning; Low-altitude economy; Spatial layout; Digital technology

0 引言

低空经济是新兴的经济形态, 已经成为区域经济转型升级的重要增长点, 低空经济高质量发展离不开完善的基础设施体系支撑。低空基础设施规划是国土空间规划与低空经济发展的衔接点, 是实现低空资源合理配置、保障低空飞行活动安全高效开展的重要手段, 也是构建一体化低空支撑体系、推动物流、通勤、应急救援等低空业态协同发展的前提。加强规划工作的研究可以破解低空飞行的设施保障难题, 打通低空经济发展基础壁垒, 对促进区域协同发展、构建城乡融合的低空发展格局, 释放低空经济发展潜力具有重要意义。

1 低空基础设施规划的内涵与核心特征

1.1 核心内涵

低空基础设施规划是围绕低空飞行活动的保障需求, 对低空飞行活动的物理设施与信息系统进行布局设计、统

筹安排、动态优化的活动, 是国土空间规划与低空经济发展规划间的重要衔接。其规划对象包含物理基础设施与信息基础设施两个主要部分, 物理基础设施规划以起降、能源、配套服务等实体设施的空间布局与功能配置为主, 满足低空航空器起降、补给、维护等基本需求。信息基础设施规划以通信、导航、监视、算力等数字设施为主, 为低空飞行搭建起数字底座, 保证航空器飞行安全以及空域高效管理。低空基础设施规划的主要目标为实现低空资源的合理配置, 构建起物理设施与数字系统相融合的支撑体系, 解决低空航空器在哪飞、怎么飞、用什么飞的关键问题, 为低空经济各业态发展提供全方位的保障。

1.2 核心特征

数字化是低空基础设施规划的基本特点, 规划工作需要把低空空域的地形、地物、气象、航空器等各方面的要素进行数字化的采集和建模, 通过构建数字空域来对物理

空域进行精准映射和动态管理,数字化技术的应用贯穿规划设计、实施落地、运维管理全过程,是实现空域精细化规划的基础。网络化是低空基础设施规划的联结特征,规划要冲破单一设施、局部区域的壁垒,创建起覆盖全域的物理设施网络和信息通信网络,达成各类设施、航空器、管控中心的互相联系,保证信息的及时传送和资源的优化调配。系统性是低空基础设施规划的本质特征,在规划过程中要统筹考虑物理设施与信息系统的协调建设,统筹空域资源、土地资源、通信资源的综合利用,协调低空经济和地面经济、生态保护等各个领域发展的关系,形成多维多层次的规划体系。

2 低空基础设施规划的研究进展

2.1 规划体系构建研究

规划体系构建是低空基础设施规划研究的重点内容,目前的研究已经由单一设施的规划向多层次、复合型的规划体系探索。学界就低空基础设施的分类框架展开多角度探究,产生出按照设施功能、空间定位、技术属性等不同方面的分类方式,从而为规划体系的构建赋予根基。有部分研究把低空基础设施规划归入国土空间规划体系中,探索国家、省、市三级规划的衔接机制,确定各个层级规划主要内容和控制重点。还有研究聚焦规划的顶层设计,提出构建设施网、空联网、航路网、服务网四位一体的低空基础设施规划体系,重视各个子网络之间的协同建设和功能融合。同时对于低空基础设施规划同其他专项规划的衔接问题,也有研究尝试将低空基础设施规划同通用航空规划、交通物流规划、应急体系规划融合起来,以达到提高规划系统性、整体性的目的。

2.2 空间布局规划研究

空间布局规划属于低空基础设施规划的实践核心,已有研究从起降设施和航线网络的布局两个方面进行了多方面的探索。起降设施布局上主要研究设施分级分类的布局原则,根据低空经济业态服务需求提出按服务半径、功能定位划分起降设施层级体系,探索利用城市现有的公共空间、交通枢纽、物流园区等资源进行起降设施布局的方式,提高设施布局的合理性、集约性。航线网络布局上研究关注空域的精细利用,提出用数字网格化的航线规划方法,把低空空域分成标准化网格单元,从而达到航线动态调整、精确规划的目的。同时现有的研究也考虑到了不同低空业态的飞行需求差异,研究了物流、通勤、应急救援等不同的场景下航线布局策略,重视航线网络同低空业态的匹配。另外,对于低空基础设施的区域布局,发现长三角、粤港

澳大湾区、成渝地区等产业集聚区的布局模式,并提出根据区域产业特点的差异化布局思路。

2.3 数字技术应用研究

数字技术应用研究属于低空基础设施规划的创新方向,已有的研究主要研究数字化技术在规划设计与管理中的应用途径。数字孪生技术成了低空空域规划的重要工具,研究中提出创建数字孪生空域模型,对物理空域实施实时映射并展开仿真推演,从而达成低空基础设施规划的模拟验证与优化调整,优化低空空域规划的科学性及前瞻性。5G-A 通信感知一体化技术应用研究也日趋深入,研究出低空通信网络规划、空域监视布局的 5G-A 通信感知一体化应用方式,用通信和感知融合的方式降低低空基础设施的建设成本,提高空域的监测能力。北斗高精度定位技术的规划应用研究比较成熟,主要从北斗地基增强和星基增强系统布局入手,提出低空飞行需求下定位网络规划策略,保证航空器精准导航。人工智能算法在规划中的应用研究也不断推进,有关研究探索了 AI 在空域容量评价、航线改善、冲突预示方面的应用,给低空基础设施的动态规划赋予技术支撑。

3 低空基础设施规划的现存研究问题

3.1 概念认知与标准体系不统一

目前学界和业界对于低空基础设施的概念界定还没有达成一致,对于规划对象的范围、分类标准的认知存在差异,部分研究把低空基础设施局限于物理起降设施,忽略了信息基础设施的核心地位,这样的认知偏差造成规划研究的框架和内容缺乏统一性。规划标准体系碎片化问题突出,现有的标准大多只对单一设施的建设进行规定,缺少对规划设计、建设施工、运营管理全过程的统一标准,不同部门、地区制定的技术标准、建设规范存在差异,造成低空基础设施兼容性、互通性不足,影响全国性低空基础设施网络的形成。低空基础设施规划同国土空间规划、航空管理规范的衔接标准没有明确,规划的落实没有统一的技术标准。

3.2 区域规划布局与资源配置失衡

目前低空基础设施规划研究大多集中在东部沿海经济发达地区、中心城市,对中西部地区、县域乡村、海域等区域的研究较少,造成规划研究的区域覆盖存在空白,不能支撑全国性低空基础设施网络的布局。部分研究过于强调设施规模,没有考虑到区域产业特征和低空业态需求之间的适应性,造成有些区域规划与实际需要不符,资源配置效率偏低。城乡规划研究存在明显差异,城市地区低空

基础设施规划研究较为深入,乡村地区规划研究还处于空白状态,不能满足乡村物流、农业植保、应急救援等低空业态的发展需求。同时,区域之间规划研究缺乏协同性,各地区规划思路和布局策略不一样,跨区域低空基础设施网络和航线体系构建设没有相关的研究支撑。

3.3 技术与规划的融合深度不足

数字技术在低空基础设施规划中的应用还处于表层,目前研究多集中于单一技术的应用探索,缺少对数字孪生、5G-A、北斗、人工智能等技术的融合应用研究,没有形成支撑规划全流程的数字化技术体系。部分研究过分重视技术应用的形式,忽略了技术与规划需求实际结合的问题,造成技术应用与规划实践相脱离,不能发挥出数字化技术对于规划的优化作用。数据共享与融合研究欠缺,低空基础设施规划所涉多源数据散落于各个部门,已有研究未能找到有效的数据共享办法,数据孤岛状况造成规划的数据分析和模拟验证缺少全面性。低空基础设施规划技术研究不足,没有适应低空经济发展需要的新型规划技术与方法,规划的科学性、精准性有待提高。

3.4 跨部门协同规划机制研究缺失

低空基础设施规划牵涉到民航、交通、通信、气象、应急、自然资源等诸多部门,各部门的管理职责及规划要求各有不同,目前对于跨部门协同规划机制的探究十分匮乏,没有明晰各部门在规划中所承担的职责界限及协同程序。部分研究只从单一行业的角度出发,没有考虑到多部门协同规划的思路,使得规划的内容不能兼顾各个部门的管理要求,规划的落实会受到部门壁垒的阻碍。跨部门的规划审批机制和协调机制研究空白,现有的规划审批流程仍然使用单一行业的管理方式,没有适应低空基础设施规划的跨部门审批流程,规划的审批效率不高。同时缺少跨部门规划绩效考核与监督机制的研究,不能保证协同规划的落实。

4 低空基础设施规划的发展展望

4.1 完善统一的概念框架与标准体系

未来研究会先对低空基础设施的核心概念和内涵边界加以明确,划定规划对象的范围并制定分类准则,塑造起包含物理基础设施和信息基础设施的统一研究架构,从而给规划研究的开展赋予理论根基。加快形成全国统一的低空基础设施规划标准体系,制定涵盖规划设计、建设施工、运营管理、安全监管全流程的技术标准和建设规范,统一各个部门、各个地区的规划要求,提高低空基础设施的兼容性、互通性。加强低空基础设施规划同国土空间规划、

通用航空管理规范等衔接研究,确定衔接的内容、方式和技术标准,使低空基础设施规划纳入城乡规划建设体系,与其他专项规划相协调。

4.2 推动区域协同与城乡统筹的规划研究

未来研究将会冲破区域、城乡的壁垒,创建起全国统筹、区域协同、城乡一体的低空基础设施规划研究体系。加强对中西部地区、县域乡村、海域等薄弱区域的规划研究,根据区域产业特点和低空业态需求来探索差异化的布局规划方法,填补规划研究的区域空白。开展区域协同规划研究,主要研究长三角、粤港澳大湾区、成渝地区等低空经济产业集聚区的跨区域规划模式,构建区域一体化的低空基础设施网络和航线体系,提高区域资源配置效率。深入城乡统筹规划研究,根据乡村低空经济的发展需要,探索乡村低空基础设施低成本、轻量化布局模式,构建城乡互联互通的低空基础设施体系,助力乡村振兴。

4.3 深化数字技术与规划的深度融合研究

数字技术融合应用会成为未来低空基础设施规划研究的主要方向,研究重点放在多技术的集成应用上,创建起包含规划全过程的数字化技术体系。加强数字孪生空域的规划应用研究,完善数字孪生模型的构建方法,对低空基础设施规划进行全流程仿真、验证、优化,提高规划的科学性、前瞻性。开展5G-A通信感知一体化、北斗高精度定位、低轨卫星互联网等技术融合规划研究,探索空天地海一体化的信息基础设施布局模式,构建全域覆盖、精准高效的低空物联网。加强人工智能算法在规划中的应用研究,探索AI在空域容量评估、航线动态优化、设施布局规划、安全风险预警等各方面的应用途径,使规划达到智能化、动态化的目的。

4.4 构建跨部门协同的规划管理机制研究

今后的研究重点就是跨部门协同规划机制的研究,破除行业部门壁垒,创建起多部门协同规划的管理体系。确定各部门低空基础设施规划的职责边界和协同流程,建立跨部门的规划统筹机构,对规划进行顶层设计、统筹协调和落地实施。开展跨部门规划审批机制研究,简化审批程序,创建一站式的审批服务平台,提高规划审批的效率。探索跨部门的安全监管与运维管理协同机制,创建天地一体、全域覆盖、协同联动的安全监管体系,对低空基础设施和飞行活动实行全流程监管。

5 结语

低空基础设施规划属于低空经济发展的基础性、先导性工作,其构建与完善关系到低空资源的高效利用、低空

飞行的安全保障以及低空经济体系的整体构建。厘清规划核心内涵、补齐研究现存短板,推进统一标准体系建立、区域城乡规划统筹、数字技术深度融合、跨部门协同机制完善,可以有效优化低空基础设施空间布局,构建全国统筹、区域协同、城乡一体的低空基础设施网络,充分发挥规划对低空经济发展的引领和支撑作用,推动低空经济各业态深度融合、协同发展,最终为经济社会高质量发展注入持续的新动力。

参考文献:

[1] 陈慧,封双荣.低空飞行服务基础设施通信网络测试方法研究[J].电信快报,2026,(01):32-35.

[2] 本刊编辑部,龙菲平,李晓春等.基础设施标准化助力城市低空经济高质量发展[J].智能建筑与智慧城市,2025,(12):5.

[3] 欧俊彬,刘杰.低空经济基础设施政策的产业链传导效应检验[J].中阿科技论坛(中英文),2025,(12):22-26.

[4] 党安荣,张朝阳,王飞飞等.低空基础设施规划研究进展与展望[J].西部人居环境学刊,2025,40(03):25-33.

[5] 刘冉.对低空经济背景下5G-A通感一体基础设施规划的思考[J].智能建筑与智慧城市,2024,(S1):4-6.

作者简介:苏阳(1979.06-),女,河南南阳市,研究生,副教授,研究方向:低空空域及基础设施规划。