产业智库

低空经济发展态势与高质量发展策略

何海燕[1]，张亚东[2]，孙磊华[1,3]，李 强[4]，吴 群[5]，单子豪[6]，王羽琛[7]

（1.粤港澳大湾区数字经济与科技协同创新研究院，珠海 519088；2.北京理工大学经济学院，北京 100081；
3.清华大学公共管理学院，北京 100084；4.内蒙古低空经济产业促进会，呼和浩特 010010；
5.低空智联立体交通网实验室（内蒙古）有限公司，北京 100010；6.北京理工大学管理学院，北京 100081；
7.北京理工大学（珠海）社会科学学域，珠海 519088）

摘要：基于国家创新系统理论，将低空经济高质量发展视为一个涉及多主体协同、制度适配与要素整合的系统性问题，进而科学探究全球低空经济发展模式和中国低空经济发展态势。首先，通过系统比较美国、欧洲、日本等典型经济体发展低空经济的模式，汲取其在市场驱动、一体化治理与战略引领等方面的有益经验。然后，聚焦中国现实，发现低空经济已从早期的技术单点突破，迈入系统化、规模化创新发展的关键跃升期，却也正面临4个方面的关键问题，包括：适航认证体系存在“局部突破”与“结构性短板”并存；低空运行平台初步建成但“碎片化”痼疾未解；安全标准建设滞后严重制约多元化应用场景的开发与商业化进程；人才供需的结构性矛盾凸显，成为长链产业可持续发展的核心掣肘。最后，综合提出应着力构建一个全链条的突破路径体系，包括：构建社会化、普惠性的适航认证服务体系以破解认证困局；打造全域统一的低空智联网数字治理基座以打破数据与行政壁垒；建立基于风险分级与场景适配的安全标准体系以平衡创新激励与风险管控；实施面向产业需求的跨学科人才培养与引进战略以填补综合人才缺口。研究成果可为推动中国低空经济从“局部领先”到“系统领先”的高质量发展提供理论参考与实践指引。

关键词：低空经济；国际经验；现状问题；高质量发展；策略

中图分类号：F562 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)07－0001－09

低空经济，作为以低空空域为关键资源，以通用航空、无人驾驶航空器等飞行器为核心运营工具，深度融汇高端装备制造、飞行运营服务、数字基础设施与多元化应用场景的综合性经济形态[1]，正以前所未有的活力重塑全球交通与产业格局，成为全球主要经济体竞相布局的战略新高地[2-3]。近年来，伴随着电动垂直起降（eVTOL）飞行器、智能无人系统、5G/6G通信、人工智能等关键技术的集群性突破与交叉融合，低空经济的内涵与外延持续拓展，其发展已超越单纯的交通工具变革，正演变为一场深刻的产业生态与社会运行方式革命[4]。从城市空中交通（UAM）、应急救援、物流配送到农林植保、文旅观光等，低空经济所催生的广阔应用前景，不仅预示着巨大的市场潜力，更被视为推动经济结构优化升级、培育新质生产力的重要抓手[5]。

在此背景下，中国凭借超大规模的市场需求、完备的工业制造体系与领先的数字基础设施，在飞行器研发制造、应用场景探索与区域性运营平台建设等方面取得了显著进展，形成了独特的先发优势。然而，必须清醒地认识到，产业的创新发展并非一蹴而就。当前，中国低空经济正处在从“单点技术突破”与“局部试点示范”向“系统生态成熟”与“全域规模化运营”跃升的关键窗口期[6]。这一转型过程对国家的空域治理能力、技术创新体系、标准法规环境以及人才支撑水平都提出了更高要求。实践中，一系列长期积累的深层次、结构性矛盾开

收稿日期：2025-10-08

基金项目：国家自然科学基金（72474026）；教育部人文社会科学研究一般项目（24YJC630186）；国家资助博士后研究人员计划（GZC20240797）

作者简介：何海燕（1963—），女，河北石家庄人，博士，教授，博士研究生导师，研究方向为数字经济与协同创新；张亚东（1993—），男，山东济宁人，博士研究生，研究方向为数字经济与协同创新；通信作者孙磊华（1992—），男，山东济南人，博士，助理研究员，研究方向为数字经济与协同创新；李强（1968—），男，内蒙古锡林郭勒人，会长，研究方向为数字经济与协同创新；吴群（1987—），男，北京人，研究方向为数字经济与协同创新；单子豪（1999—），男，北京人，硕士研究生，研究方向为数字经济与协同创新；王羽琛（1998—），男，河北石家庄人，博士研究生，研究方向为数字经济与协同创新。

始集中显现。可见,该时期低空经济的创新发展本质是技术、制度等多维要素从局部突破走向系统集成的过程,任何单一环节的滞后都可能引发“系统失灵”,制约整体效能。国家创新系统理论为相应剖析提供了理论工具。该理论强调,创新发展并非线性过程,而是由企业、大学、科研机构、政府、金融机构等多元主体,在特定制度结构与政策环境下,通过复杂互动构成的网络化生态系统[7]。将低空经济高质量发展置于此理论框架下审视,意味着必须将其视为一个系统性工程,其成效高度依赖于系统内各主体协同与制度安排的效率。当前中国低空经济发展中面临的诸多挑战,恰恰折射出其系统内部协同不足、制度供给滞后等“系统失灵”现象。结合实践的系统诊断发现,适航认证体系尚不能完全适应产业创新的高速迭代,低空运行平台存在显著的“碎片化”与“孤岛化”现象,安全标准供给滞后于多元化场景的应用需求,人才供需错配等问题[8-10],正是制约低空经济系统整体效能提升的关键症结所在。这些发展梗阻若不能得到系统性疏解,将严重制约中国低空经济的潜力释放与国际竞争力的提升。

学者们聚焦低空经济的概念与特征、技术及应用、政策与发展等主题开展了一系列有益的研究[11],但对其当前发展的现实关键环节的研判和关注不足[12],其多停留在现象描述与现状分析层面,缺乏坚实的理论工具对其进行系统性的解构与阐释,导致难以有效挖掘问题根源并科学提出系统性对策。由此,深度应用国家创新系统理论,开展以理论演绎为主导的定性分析,通过系统总结与对比美国、欧洲、日本等典型经济体依托其国家创新系统推进低空经济发展的基本模式与特色经验,并紧密结合中国实践,聚焦适航认证、运行平台、安全标准与人才供给等核心环节,系统梳理和精准识别当前中国低空经济的发展现状及所面临的关键问题,最终提出具有国际化、前瞻性与可操作性的综合治理路径。其不仅具有重要的理论价值,更是响应国家战略需求、把握产业发展机遇的现实迫切课题,相关研究结论将为推动中国低空经济高质量发展、抢占全球竞争制高点等提供理论与决策支撑。

1 典型经济体低空经济发展模式

全球低空经济的快速发展呈现出多样化的路径选择与制度安排。美国、欧洲与日本作为该领域的先行者,基于其产业基础、制度环境与战略导向,形成了各具特色的发展模式。基于国家创新系统理论框架,聚焦美国、欧洲与日本,系统剖析其在主体协同、制度构建与要素配置等方面的差异化实践,凝练其推进低空经济发展的核心模式与有益经验,旨在为中国低空经济在关键跃升期优化系统生态、规避潜在风险提供参考。

1.1 美国:市场驱动与法规适配的“商业生态引领”模式

美国低空经济的发展呈现出典型的市场驱动特征,其核心动力源于活跃的私营部门和成熟的风险投资体系。联邦机构通过构建灵活、渐进的监管框架,在保障安全底线的同时回应技术创新需求,形成了企业主导、法规支撑的发展生态。在创新主体层面,美国拥有结构多元的市场参与格局。Joby Aviation、Archer Aviation 等新兴科技企业专注电动垂直起降飞行器研发,推动技术快速迭代。波音等传统航空航天巨头与亚马逊、谷歌等科技企业,分别从制造端与应用端切入,构建了覆盖研发、制造、运营的完整产业链。这种市场主导的竞争格局促进了技术多元化与商业模式探索。在制度构建方面,美国联邦航空管理局(FAA)的监管策略体现出显著的适应性。其发布的《城市空中交通运行概念》系列文件为未来空中交通提供运行指引。为应对低空飞行器融入国家空域体系的挑战,国会通过《先进空中交通协调及领导力法案》,建立跨部门协调机制,统筹安全与基础设施规划。《释放美国无人机支配地位》等行政命令进一步优化了监管流程,体现了实践先行、问题识别、法规跟进的模式。在基础设施方面,美国依托深厚的通用航空基础,拥有规模庞大的机场网络,大量通用机场为低空飞行器提供了现成起降设施,显著降低了初期建设成本。FAA 鼓励对现有机场进行适应性改造,并引导地方政府参与低空起降点规划。覆盖全美的飞行服务体系、成熟的维修网络与活跃的资本市场,共同构成了商业化发展的支撑基础。

1.2 欧洲:区域协同与标准先行的“一体化治理”模式

欧洲低空经济发展具有鲜明的区域一体化特征,形成区域协同与标准先行的发展模式。其核心是通过超国家机构的顶层设计,协调成员国行动,构建统一的技术标准与市场规则,追求规模效应与整体竞争力。在制度设计上,欧盟委员会与欧洲航空安全局(EASA)发挥核心作用。EASA 作为欧盟统一的航空安全监管机构,率先制定针对新型

VTOL航空器的专用条件(SC-VTOL-01)等前瞻性标准,为制造企业提供清晰的法规预期,有效避免成员国监管碎片化。欧洲航空安全组织(Eurocontrol)则致力于空管技术协同研发与跨境空域管理协调。在研发支持方面,欧盟通过"地平线欧洲"等计划投入专项资金,系统性支持U-Space(欧洲无人机空域管理系统)的研发示范,以及低噪声电动推进技术、垂直起降场等关键领域。在技术研发与产业协同方面,欧洲注重发挥成员国比较优势,形成错位发展格局。德国凭借高端装备制造和汽车工业基础,为飞行汽车和无人机提供先进动力系统与零部件,并通过高比例研发补贴激励创新。法国依托空客等航空巨头,在飞行器总体设计、系统集成与适航认证方面保持领先,并通过税费减免政策降低电动航空器运营成本。这种统一框架下的特色化发展提升了区域创新效率与产业韧性。U-Space空域管理系统的构建是欧洲一体化模式的集中体现。该系统旨在实现低空空域内无人机运行的一体化、数字化服务与管理,通过标准化服务为无人机在欧盟范围内的安全运行和未来跨境飞行提供关键技术与制度基础。

1.3 日本:战略规划与官民协同的"目标导向"模式

日本低空经济发展采取典型的战略规划引领模式,体现出较强的政府主导与组织化动员特征。通过明确的顶层设计与实施路线图,系统引导产业资源向国家战略目标集聚。在战略规划层面,日本政府制定了清晰的先进空中交通(AAM)发展路线图,设定了2025年启动商业服务等阶段性目标,并与2025年大阪世博会等重大国际活动紧密衔接。这种目标与场景的深度绑定,为技术验证和商业模式探索提供了明确时限,形成了有效的倒逼机制。在创新主体协同方面,形成了以经济产业省(METI)和新能源产业技术综合开发机构(NEDO)为核心的组织体系。通过专项研发计划,系统支持eVTOL、无人机等关键技术攻关。丰田、本田等汽车制造商依托其在精密制造、电池技术等领域的优势,积极布局空中交通产业。日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)作为国家级研发平台,深度参与共性技术研发与测试验证,构建了紧密的"官产学"合作网络。日本模式的核心优势在于通过国家战略的清晰指引,有效降低了企业面临的不确定性,引导社会资本与研发资源向重点领域高效集聚。同时借助大型国际活动的展示平台,加速技术成熟度提升与社会认知培养,形成了"战略规划-技术攻关-场景示范-产业培育"的闭环发展路径。

综上,美国、欧洲与日本在低空经济发展中,基于其独特的制度环境、产业基础与创新生态,塑造了风格迥异的发展范式。美国的"商业生态引领"模式以市场活力为根本动力,监管体系在动态响应中寻求平衡;欧洲的"一体化治理"模式依托超国家机构,通过标准统一与区域协同构建整体优势;日本的"目标导向"模式强调政府的战略规划与资源动员,实现重点领域的跨越式发展。这3种模式在主体协同、制度创新与要素保障方面的实践,为中国优化低空经济创新生态提供了多维借鉴。未来中国需在吸收国际经验基础上,结合自身优势,走出一条特色发展道路。

2 中国低空经济发展态势

基于国家创新系统理论视角,低空经济高质量发展本质上是技术、制度等多维要素在特定制度结构下,通过多元主体复杂互动实现系统集成的过程。聚焦适航认证、运行平台、安全标准与人才供给等关键环节,深度剖析中国低空经济由技术、产业等单点突破到系统化、规模化发展的阶段现状,揭示当前中国低空经济发展关键环节所面临的"系统失灵",对现状与问题等发展态势的分析可为后续应对策略体系构建提供基础依据。

2.1 适航认证体系:局部突破与结构性短板并存

中国低空飞行器的适航认证体系在政策引导与市场驱动的双重作用下,已实现由头部企业引领的局部性突破。从国家创新系统视角看,这体现了企业作为创新主体在技术研发上的积极作为。然而,若将视角扩展至全行业,则会发现支撑产业规模化、可持续发展的认证基础仍显薄弱,结构性短板日益凸显。

(1)技术标准体系的迭代速度严重滞后于产业创新的实践步伐。这反映出创新系统中知识创造与制度供给之间的节奏失衡。尽管民航管理部门已通过专项审定等方式进行适应性调整,但全球范围内尚未形成针对新型航空器的统一、成熟的适航标准框架。这种标准缺位的状态,直接导致企业不得不依赖"一事一议"的个案审定模式,极大地拖累了前沿技术从实验室验证走向规模化市场应用的转化效率。

(2)社会化、专业化的审定服务能力较为缺乏。这暴露了创新系统中中介服务机构和公共服务平台建设的不足。目前,专业的适航审定资源高度集中于民航行政管理体系内部,其人员编制和专家力量相对于爆发式增长的认证需求而言明显不足。

对于缺乏资金和人才储备的中小创新型制造商，自建专业团队意味着需要承担难以承受的成本，使其陷入认证困局。

(3)资源分配的“虹吸效应”正在加剧产业生态的内部割裂。这种现象体现了系统内部创新资源配置的失衡。具备资本优势的头部企业能够吸引稀缺的适航审定专家，而数量更为庞大的创新型中小企业和科研团队则因难以获取有效的认证支持而举步维艰。这种资源分配的不均衡，在实验室技术突破与最终的市场应用之间制造了“断崖式鸿沟”，不仅抑制了市场活力，也可能导致中国低空经济在未来因创新源头单一而丧失长期竞争力。

2.2 低空运行平台：初步建设与碎片化痼疾交织

低空智联网作为支撑低空飞行器安全、高效、规模化运行的核心基础设施，在中国已进入加速布局与建设阶段。然而，从系统协同的角度审视，当前建设呈现出显著的“碎片化”特征，跨部门、跨区域、跨系统的协同效能不足，制约了低空空域全域化、一体化运行目标的实现。

(1)在管理体制上的权责交叉与分割是导致运行效率低下的根本原因之一[13]。这反映了创新系统中不同治理主体间协调机制的缺失。低空空域管理涉及军方、民航、地方政府等多个主体，其在空域使用审批、飞行计划核准、运行监控等方面的职能存在重叠与交叉。一个普通的低空飞行计划，往往需要经历军、民、地等多个部门的串联式审批，流程冗长复杂，环节众多[14]。这种管理体制的“蜂窝状”结构，严重阻碍了低空飞行活动，特别是需要快速响应的应急救援、物流配送等应用的敏捷性与常态化开展，使得低空经济的“便捷性”优势难以充分发挥。

(2)在技术层面，标准互斥与数据壁垒构成了平台支撑能力的“肠梗阻”。这体现了系统内部技术标准体系缺乏统一规划的问题。各省份在建设本地低空管理平台时，多基于自身需求和既有技术路线，缺乏顶层设计的统一规范，导致各平台在数据格式、通信协议、应用接口等方面互不兼容。这种技术标准的“方言化”现象，使得跨区域飞行的数据无法顺畅流转，实时监控存在盲区，显著增加了运行风险。更为严峻的是，由于缺乏全国统一的安全防护标准与数据加密机制，各平台在应对网络攻击、保障数据传输安全方面的能力参差不齐，涉及敏感地理信息、企业运营数据等核心数据的安全面临泄露隐患，这无疑为低空经济的国家安全和产业安全埋下了隐患。

(3)物理基础设施的覆盖失衡，进一步加剧了低空运行的系统性风险[15]。这凸显了创新系统中基础设施资源配置的空间不均衡问题。中国低空基础设施，如通用机场、起降场、飞行服务站等的空间分布极不均衡，呈现出“东部沿海相对密集、中西部内陆严重匮乏”的格局。在广大的中西部地区以及非管制空域，通信、导航、监视等基础保障能力尤为薄弱，通信链路不稳定、信号覆盖盲区多等问题频发。这种基础设施的“数字鸿沟”，使得低空飞行器难以在国土空间范围内实现安全、可靠的全域运行，飞行器的实时状态感知与远程指挥调度面临巨大挑战，制约了低空经济应用场景向更广阔地域的拓展。

2.3 安全标准滞后：多元化应用场景开发的深层制约

随着技术成熟与市场探索的深入，低空经济的应用场景正加速向多元化、高价值领域拓展。然而，与之相匹配的风险防控体系和安全标准建设却未能同步跟进，反映出创新系统中制度供给与技术发展之间的脱节。

(1)融合空域运行规则缺失。这暴露了系统在应对新兴技术带来的治理挑战时准备不足。目前针对这种异构航空器混合运行的统一避障算法、冲突解脱程序、优先权规则等国家级标准尚未建立。各企业自研的感知与避让方案，其技术路线、安全冗余度、可靠性水平存在显著差异，在复杂的实际运行环境中，难以保证所有航空器协同飞行的绝对安全与可靠。这种规则缺失带来的不确定性，极大地增加了城市低空等敏感区域运行的系统性风险，使得诸如空中出租车等前沿场景的大规模落地面临巨大安全质疑。

(2)新能源航空器应用带来的新型安全风险缺乏规范约束。这表明系统在前瞻性标准制定方面存在滞后。以 eVTOL 为代表的新一代航空器，其核心动力依赖于高能量密度的固态电池等新能源技术。然而，当前这些技术在能量密度、循环寿命，特别是在高低温、高原低压等极端环境下的适应性与可靠性仍有待充分验证。相关的安全测试规程、适航验证标准覆盖不全，未能对电池在极端工况下的热失控、低温环境下续航里程骤降等潜在风险进行充分评估和规范。这种安全规范的缺位，不仅威胁单次飞行的安全，更可能引发公众对新技术安全性的信任危机，从而扼杀整个新兴赛道的发展前景。

(3)低空飞行活动的应急保障机制尚不健全。这反映了系统在构建全面风险管理体系方面的不足。低空飞行器，特别是无人机和 eVTOL，其运行

高度低、环境复杂,一旦发生故障或事故,可能对地面人员财产造成直接威胁。但目前,专业的低空事故救援体系尚未被有效整合纳入国家公共应急管理体系。在事故发生时,涉及民航、应急管理、公安、医疗等多个部门的协同响应机制不顺畅,救援资源调配效率低下,缺乏针对性的救援装备和预案。这种应急保障的缺位,使得社会公众和监管机构对低空飞行活动大规模开展的安全顾虑难以消除,从风险管理的角度制约了应用场景的深化拓展。

2.4 人才供需矛盾:长链产业持续发展的核心掣肘

低空经济是一个典型的资本、技术、人才密集型产业,其产业链长、覆盖领域广,对人才的复合型、专业化要求极高。当前,中国教育体系和人力资源市场虽已开始响应产业需求,但供给侧的结构性矛盾异常突出,人才短板正成为制约低空经济这一长链产业持续健康发展的核心掣肘。

(1)高端引领型人才的断层问题尤为严峻。这表明系统在顶尖人才培养和储备方面存在明显短板。在适航审定、空域规划设计、飞行器总体设计、先进飞控算法等核心关键领域,不仅需要深厚的理论基础,更需要丰富的工程实践经验。然而,国内高校在这些前沿交叉学科领域的师资力量极为稀缺,相关学科体系建设滞后,导致高端人才培养规模严重不足,远远跟不上产业扩张的速度。这种顶尖人才的匮乏,使得中国在参与全球低空经济技术标准制定、引领前沿技术突破方面缺乏足够的智力支撑,在国际竞争中处于被动地位。

(2)在应用层面,技能型人才的培养与产业快速演进的多元化场景需求显著脱节。现有的职业教育培训课程,大多仍聚焦于基础的无人机操控、维护等通用技能。而面向电力巡检、精准农业、物流调度、城市安防等具体垂直应用场景的复合型课程开发严重不足。这些场景要求人才不仅会操控飞行器,还需精通如电网结构、农情分析、物流算法等行业知识,具备数据采集、分析与应用的能力。当前教育供给与市场需求之间的错配,导致企业难以招聘到具备跨领域知识结构和实战能力的技能人才,直接影响了应用场景的落地效率和运营质量。

(3)更深层次的挑战来自日益激烈的国际人才竞争。这凸显了系统在构建具有全球竞争力的人才生态环境方面的不足。全球主要经济体均将低空经济视为战略制高点,纷纷通过专项移民计划、优厚的研究待遇和生活条件,在全球范围内吸引顶尖技术人才。中国在低空领域培养的部分优秀科学家、工程师和技术专家,正成为国际人才争夺的重点目标。核心技术人员的外流趋势若持续加剧,将不仅削弱中国产业的自主创新能力,更可能导致关键技术受制于人,动摇中国在全球低空产业竞争中的根基。因此,构建一个能够吸引、培育并留住顶尖人才的制度环境和文化生态,已刻不容缓。

3 促进中国低空经济高质量发展策略

基于国家创新系统理论框架,低空经济高质量发展亟须突破传统单一政策扶持模式,转向构建一套能够激发系统内多元主体活力、促进知识流动与制度协同的综合治理体系。对美国、欧洲、日本发展模式的比较研究,以及对中国现实问题的剖析发现,破解当前低空经济发展的“系统失灵”现象,必须着眼于创新系统的整体效能提升,在关键环节进行系统性发力。具体地说,必须立足中国国情与发展阶段,深刻把握中国低空经济发展模式的特殊性。该模式一方面展现出可依托超大规模市场、高效组织动员能力等独特优势,形成战略引领与场景应用协同驱动的快速启动路径,另一方面,如前所述,其在从“局部突破”向“系统集成”跃升的关键期,正面临适航认证体系的结构性短板、低空运行平台的碎片化痼疾、安全标准供给的滞后以及人才供需的尖锐矛盾等基础性挑战,其凸显了创新系统中制度供给、主体协同与要素配置的失衡。因此,高质量发展策略的提出需要充分借鉴国际有益经验,并以破解上述中国特有的“系统失灵”问题为直接导向,致力于将中国的规模与制度优势,转化为可持续的系统领先能力。从适航认证、基础设施、安全标准与人才供给等关键环节,提出旨在破除发展壁垒、优化系统结构、提升创新体系整体效能的综合性策略体系。

3.1 构建社会化、普惠性的适航认证服务体系

破解当前适航认证领域的结构性矛盾,关键在于推动认证服务从行政主导的稀缺资源,向市场化、社会化、普惠性的公共基础设施转变。借鉴欧洲航空安全局(EASA)通过统一标准为产业提供清晰预期的经验,以及美国 FAA 在监管实践中逐步构建适应性框架的路径,中国需着力构建一个多层次、网络化的第三方适航服务体系,以有效满足产业,尤其是中小创新主体的爆发式认证需求。

(1)应着力培育与整合专业化适航服务供给能力。核心思路是推动建立由国家层面引导、多元主体参与的区域性适航服务联合体。这些联合体可依托具备深厚技术积累的国家级航空科研机构,整合其技术资源与专家力量,在空域条件良好、产业

集聚度高的区域布局建设若干适航检测与验证基地。从国家创新系统理论视角，此举旨在打通“学研”机构与“产”主体之间的知识流动通道，解决系统内部审定能力供给不足的瓶颈。这些基地的核心功能是为企业，特别是中小企业，提供涵盖从初始设计咨询、样机试验验证、符合性文件编制到与审定当局沟通协调的全流程、模块化专业服务。这种“一站式”的服务模式，能够显著降低企业的技术门槛与时间成本。在运营机制上，初期可由公共资金引导支持，确保其公益性与普惠性；中长期则应积极探索市场化、商业化的运营模式，引入社会资本和专业服务机构，形成可持续的良性发展生态。

(2)需进行深刻的金融与风险管控机制创新。适航认证过程投入大、周期长、不确定性高，是阻碍企业，特别是初创企业进入市场的主要障碍之一。为此，可参考美国资本市场深度支持前沿科技创新的模式，结合中国国情，有必要将关键性的适航检测设备、验证平台等纳入国家对于战略性新兴产业的专项金融支持范畴，通过设立产业引导基金、提供低息贷款等方式，降低前期投入压力。更为关键的是，应推动发展针对适航认证的专属金融保险产品，如“适航认证责任险”或“技术验证风险险”。这类产品能够将企业在技术验证失败、审定周期延长等情况下可能面临的财务风险进行有效分散和转移，为企业提供稳定的风险预期，从而大幅降低其市场准入门槛。这需要金融监管机构、保险行业与产业界共同合作，设计出合理的风险定价模型与产品条款。

(3)建立高效、流动的专业人才配置机制是服务体系有效运转的智力保障。可探索设立特殊的“特聘专家”岗位制度，并配套相应的中央财政补贴或专项基金，鼓励和支持民航系统内资深的审定专家以兼职、顾问、项目合作等多种形式，参与到第三方服务平台的建设和运营中。此举是国家创新系统理论中促进知识溢出、优化高端人力资源配置的具体体现，不仅能够迅速弥补社会化服务力量的经验短板，实现稀缺人才资源在全社会范围内的优化配置，更能通过“传帮带”加速培养新一代适航审定人才，为整个体系的可持续发展奠定坚实基础。

3.2 打造全域统一的低空智联网数字治理基座

克服低空运行平台的碎片化痼疾，必须从顶层设计入手，致力于构建一个技术标准统一、数据互联互通、空域管理灵活、基础设施完善的“全域一张网”，即低空智联网，以此作为实现低空经济规模化、智能化运行的数字治理基座。欧盟通过构建U-Space系统实现无人机空域一体化管理的成功实践，为中国破解数据与行政壁垒提供了重要参考。

(1)强制推行数据交互的国家标准，破除信息壁垒。应由权威机构牵头，制定并颁布具有强制力的《低空智联网数据交互规范》，对飞行计划、实时位置、空域状态、气象信息等核心数据的格式、接口、通信协议进行统一规定。所有已建和新建的省级、区域级低空管理平台，必须在规定期限内完成基于此国家标准的标准化改造，确保跨平台、跨区域的数据能够无缝流转。尤其需要打通与国家级无人机综合管理平台(UOM)之间的双向数据通道，实现从飞行申请、审批、动态监控到事后分析的全程可追溯、可监管，彻底消除因标准不一导致的信息盲区与协同障碍。

(2)探索并建立动态、精细化的空域管理机制。现行静态、粗放的空域划设与管理模式难以适应低空飞行高密度、高动态的特点。建议可借鉴美国对空域资源进行高效、灵活调配的经验，在空域结构相对简单、应用需求迫切的地区设立改革试点，授权地方政府或特定机构在特定空域范围内，具备根据实时交通流量、气象条件、任务紧急程度等因素，进行空域资源的动态调配与释放的权力。同时，建立与之配套的、高度便捷化的飞行服务应用平台，企业用户可通过移动终端实现飞行空域的“一键申报、即时生效”，极大提升低空使用的敏捷性。这体现了国家创新系统理论中通过制度创新优化资源配置，提升系统运行效率的核心思想。当然，这种权力的下放必须建立在民航地区管理局等中央监管机构能够实施同步、有效监控的前提下，确保空域使用的安全与秩序。

(3)系统性补强物理基础设施短板并构筑统一的安全防线。参考美国利用其通用机场网络为低空经济提供基础设施支撑的做法，国家层面应设立专项投资计划，支持在这些区域新增建设高等级飞行服务站，并部署先进的通信、导航、监视系统，形成全域覆盖、韧性可靠的保障网络。在提升基础能力的同时，必须同步构建全国统一、强制实施的低空智联网安全防护框架与数据加密机制。欧盟在数据安全与网络韧性方面的严格标准值得借鉴。该框架应明确网络安全等级保护要求，对数据传输、存储、处理的全生命周期进行安全规制，严格防范网络攻击与数据泄露风险，特别是对于涉及国家安全和商业机密的高精度地理信息、企业运营数据

等,须提供更高级别的安全保护,筑牢低空经济发展的安全底线。

3.3 建立基于风险分级与场景适配的安全标准体系

安全是低空经济可持续发展的生命线。为应对多元化应用场景带来的复杂安全挑战,必须摒弃“一刀切”的监管思路,借鉴欧盟基于风险的空域分类管理以及日本在特定区域开展“监管沙盒”试点的经验,构建一套基于风险分级、场景化、差异化的柔性安全标准与防控体系,以实现鼓励创新与管控风险的动态平衡。

(1)科学划定风险等级并建立融合运行规则。空域环境千差万别,其风险承载能力也各不相同。应由专业机构主导,建立一套空域风险分级评估模型,综合考虑人口密度、地面关键基础设施分布、空域复杂程度等因素,将低空空域划分为不同风险等级,并据此实施差异化的管控策略。在此基础上,必须尽快组织力量研究并统一制定有人机/无人机融合飞行的避障算法、冲突解脱、通行权规则等国家标准,为异构航空器安全、高效地共享空域提供根本遵循。

(2)针对新兴技术应用带来的潜在风险,建立前瞻性的安全认证与测试体系。特别是对于 eVTOL 等所依赖的高能量密度电池、分布式电推进系统等新能源、新动力技术,其安全标准必须跑在产业大规模应用的前面。应建立覆盖关键部件与整机的极端环境全场景测试规程,强制要求进行低温、高温、高湿、高原低压等严苛条件下的性能、可靠性与安全性测试,且测试覆盖率必须达到规定要求。对于未能通过全场景安全认证的产品,应严格限制或禁止其商业运营,从源头上消除因技术不成熟引发的系统性安全隐患,引导产业在安全轨道上进行技术创新。这体现了国家创新系统理论中通过前瞻性制度供给引导和规范技术创新的关键作用。

(3)创新监管与应急保障机制,提升系统韧性。对于诸如城市空中交通(UAM)等前沿高风险场景,可引入“监管沙盒”模式,在限定区域、限定条件下允许企业测试创新的技术与商业模式,监管机构同步跟进,探索建立与之相适应的监管规则。同时,可试点建立“事故责任险共担池”等金融工具,通过财政给予保费定向补贴等方式,引导保险机构深度参与风险评估与定价,共同分担新兴行业的未知风险。此外,必须将低空飞行活动的应急救援体系全面纳入国家公共应急管理体系,明确牵头部门,建立跨部门,如应急管理、医疗、公安、民航等的协同响应机制与预案,配备专业化救援装备,定期开展联合演练,显著提升事故应急处置效能,最大限度减轻事故后果,增强社会公众对低空经济的信任度。

3.4 推进面向产业需求的跨学科人才培养与引进战略

人才是支撑低空经济长链产业发展的第一资源。解决当前尖锐的人才供需矛盾,必须对现有人才供给体系进行结构性改革,充分借鉴日本“官产学”协同培养机制以及美国吸引全球顶尖人才的经验,构建一个“政产学研用”深度融合、开放协同的人才培养与引进生态系统。

(1)在高端引领型人才培养方面,需要实施定向强化策略。应在国内顶尖的航空航天类、电子信息类高校,系统性地增设适航工程、空域系统科学、电动航空动力、无人系统法规等前沿交叉学科的硕士和博士点,从源头上扩大高端人才的培养规模。这对应国家创新系统理论中知识创造与高端人才供给的基础性环节。同时,聚焦关键核心技术领域,实施国家公派留学专项计划,成建制地选拔优秀青年人才赴低空技术先进的国家和地区进行深造。此外,在国家重点研发计划、自然科学基金等科研资助体系中,应单列面向低空经济领域的青年专家项目或人才专项,通过持续的科研经费支持,在实践中培养和锻造能够引领未来技术发展与标准制定的战略科学家和卓越工程师。

(2)在应用型技能人才培养方面,必须彻底重构职业教育范式,推动其与产业现实需求的深度耦合。首要工作是组织制定并发布国家层面的《低空经济职业技能等级标准》,明确如“电力巡检飞手”“物流调度算法工程师”“eVTOL 运维工程师”等各类岗位所需的知识、技能与素养要求。以此为标准,强力推动职业院校与行业头部企业、应用大户共建产业学院,共同开发基于真实工作场景的模块化、项目化课程体系。更重要的是,要建立国家资历框架,实现企业认证证书、职业技能等级证书与学历教育学分之间的双向转换与互认,打通技能人才的成长与职业发展通道,激发劳动者参与终身学习的积极性。

(3)在面对激烈的国际人才竞争方面,必须秉持更加开放、包容的国际人才观,打造具有全球吸引力的人才枢纽。此举旨在通过主动融入全球人才网络,弥补系统内部关键智力资源的短板,是优

化国家创新系统开放性的战略举措。对于适航审定、空域设计、核心算法等国内短期内无法自主满足的紧缺领域，应制定特别清单，为外籍顶尖专家申请来华工作提供长期居留、出入境便利、税收优惠等一揽子政策支持。同时，可在“一带一路”奖学金、中国政府奖学金等国际学生资助计划中，单独设立“低空技术”专项，吸引全球优秀的青年学子来华攻读相关专业，并通过提供实习机会、就业指导等配套服务，鼓励其学成后留华工作，为中国低空经济产业注入国际视野与创新活力，构建开放融通、近悦远来的人才生态。

4 结论与展望

4.1 结论

当前中国低空经济已成功跨越早期的技术单点突破阶段，正处在系统化、规模化发展的关键跃升期。然而，这一进程正受到一系列基础性、结构性梗阻的深刻制约，集中体现于4大关键维度：①适航认证体系在头部企业实现局部突破的同时，暴露出技术标准迭代滞后、社会化服务能力缺失与资源虹吸效应加剧的结构性短板，严重限制了全行业的创新活力与市场准入；②低空运行平台虽初步建成，但管理体制上的权责交叉、技术标准互斥导致的数据壁垒以及物理基础设施覆盖的严重失衡，共同构成了阻碍低空全域化、一体化高效运行的“碎片化”痼疾；③安全标准建设的整体滞后，尤其在融合飞行规则、新能源应用安全规范与应急保障机制方面的缺位，已成为制约多元化、高价值应用场景商业化开发的关键瓶颈；④人才供需的结构性矛盾异常尖锐，高端引领型人才断层、技能型人才与场景需求脱节以及国际核心人才竞争压力，正侵蚀着产业长效发展的智力根基。

针对上述问题，构建了一个全链条的综合性策略体系予以应对，其核心在于推动治理模式从零散政策扶持向系统生态构建转变，并充分借鉴了国际典型模式的先进经验。具体策略包括：①通过构建社会化、普惠性的适航认证服务体系破解认证困局，回应了美国在市场化服务与监管适配方面的实践；②通过打造技术标准统一、数据互联互通、空域管理灵活的低空智联网数字治理基座，打破行政与数据壁垒，吸收了欧洲一体化治理模式的核心思想；③通过建立基于风险分级与场景适配的柔性安全标准体系，实现创新激励与风险管控的动态平衡，参考了国际社会在风险分类与监管沙盒等方面的探索；④通过实施面向产业需求的跨学科人才培养与引进战略，填补人才结构性缺口，构建开放融通的人才生态，体现了对日本官产学协同及美国全球引智模式的借鉴。这4大策略相互关联、彼此支撑，共同构成了推动中国低空经济从“局部领先”迈向“系统领先”的必由之路。

4.2 展望

展望未来，中国低空经济的发展前景广阔，但其成功之路将是一条贯穿技术、制度与管理协同创新的系统创新之路。随着eVTOL、飞行汽车等产品技术成熟度不断提升，与人工智能、5G-Advanced/6G、北斗导航、卫星互联网等技术的深度融合将成为趋势。低空飞行器将向更高程度的智能化、网联化、自主化演进，低空智联网将不再仅是飞行管理的支撑平台，而是进化为一个能够实时调度、全局优化、智能决策的“低空云脑”，催生出全新应用模态与商业模式。

在此技术浪潮下，治理体系的现代化变革至关重要。未来的低空经济治理必须超越当前“管控”为主的思维，转向构建一个能够激发市场活力、保障安全底线的“赋能型”治理范式。这要求我们积极探索基于数字孪生技术的空域精细化管理，实现物理空域与虚拟空间的实时交互与仿真预测；大力推广“监管沙盒”等包容审慎监管工具，为创新提供安全的测试空间；并最终建立起一套与国际接轨、又兼具中国特色的低空经济法律法规与标准体系，为中国产业参与全球竞争赢得规则话语权。

从应用生态看，低空经济将深度融入城市与区域发展和安全。城市空中交通（UAM）有望从示范运营走向特定区域的规模化商用，成为缓解地面交通拥堵的有效补充；“低空＋”模式将与智慧物流、应急救援、文旅体娱、农林牧渔等传统领域产生更深刻的化学反应，重塑相关行业的运营逻辑与价值链条。

在全球视野下，中国应积极总结国内产业发展的规律与成功经验，推动低空经济“走出去”。通过鼓励企业参与国际竞争、技术合作与标准共建，输出中国在低空智联网、适航认证、场景应用等方面的解决方案，努力将国内实践中形成的技术规范和治理模式提升为国际标准或事实标准。这不仅有助于中国企业在全球市场中确立优势，更能为全球低空经济的规则制定、安全治理与可持续发展贡献中国智慧，彰显中国作为负责任大国的担当。

中国低空经济的崛起，绝非单一产业的孤立事件，而是关乎国家综合竞争力提升的战略举措。通

过成功破解当前的发展梗阻,并持续优化国家创新系统的整体效能,系统构建起技术领先、治理有效、生态繁荣、安全可靠的产业体系。中国不仅能在全球低空经济的竞争中占据制高点,更能够以此为支点,赋能经济社会全局发展,为构建现代化产业体系和培育新质生产力提供强大动能。

参考文献

[1] 乔莉,霍达,顾雯嘉,等. 低空经济现代化发展的路径优化研究:基于3D无人飞行的视角[J]. 科学管理研究,2025,43(2):29-38.

[2] 张晓兰,黄伟熔. 低空经济发展的全球态势、我国现状及促进策略[J]. 经济纵横,2024(8):53-62.

[3] 茹雨暄,王乐,盖梦瑶. 低空经济的发展态势及促进策略研究[J]. 科技和产业,2025,25(10):32-37.

[4] 王宝义. 我国低空经济的技术经济范式分析与发展对策[J]. 中国流通经济,2024,38(9):14-26.

[5] 王珏. 低空经济与新质生产力协同发展:逻辑机理、结构框架与关键路径[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2026,47(1):95-103.

[6] 尹西明,张济涵,王新宇,等. "十五五"时期低空经济高质量发展的战略思考[J]. 新经济导刊,2025(3):33-43.

[7] OECD. National innovation systems[R]. Paris: OECD Publications Service, 1997.

[8] 陈斯琪,刘东亚. 低空经济新质人才培养困境与对策[J]. 高等工程教育研究,2025(5):81-86.

[9] 胡科翔,张鸿飞,谭志雄. eVTOL典型场景应用的研究进展和演变态势:基于Meta分析与LDA主题建模的双重验证[J]. 资源科学,2025,47(8):1702-1717.

[10] 赵景龙. 低空经济高质量发展:内涵特征、约束条件与突破路径[J]. 当代经济研究,2025(4):27-42.

[11] 郝金星,董琳,王楚男,等. 中国低空经济研究的进展、热点与发展趋势:基于大语言模型和可视化文献计量法的分析[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版),2026,39(1):83-97.

[12] 薛领,孙欣彤,潘苏. 我国低空经济的基础支撑、关键领域与发展重点[J]. 社会科学辑刊,2025(2):120-129.

[13] 高志宏. 发展与安全并重理念下低空飞行安全的监管规则体系构建[J]. 行政法学研究,2025(3):49-63.

[14] 覃楚翔,杨璨,向伟林. 我国低空经济发展中的国家安全风险研究[J]. 当代经济管理,2026,48(2):32-41.

[15] 仝鹏,王珂. 中国低空经济发展水平测度、区域差距及影响因素[J]. 北京联合大学学报(人文社会科学版),2025,23(6):70-84.

Development Trends and High-quality Development Strategies for Low-altitude Economy

HE Haiyan[1], ZHANG Yadong[2], SUN Leihua[1,3], LI Qiang[4], WU Qun[5], SHAN Zihao[6], WANG Yuchen[7]

(1. Institute of Digital Economy and Sci-Tech Innovation Cooperation for the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, Zhuhai 519088, China; 2. School of Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 3. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4. Inner Mongolia Low-Altitude Economy Industrial Promotion Association, Hohhot 010010, China; 5. Low-Altitude Intelligent Connected Three-Dimensional Transportation Network Laboratory (Inner Mongolia) Co., Ltd., Beijing 100010, China; 6. School of Management, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 7. Faculty of Social Science, Beijing Institute of Technology(Zhuhai), Zhuhai 519088, China)

Abstract: Based on the national innovation system(NIS) theory, the high-quality development of the low-altitude economy was regarded as a systemic issue involving multi-agent collaboration, institutional adaptation, and factor integration, and systematic investigation into the global development models of the low-altitude economy and China's development trends. Firstly, a systematic comparison of the development models in typical economies such as the United States, Europe, and Japan was conducted, drawing beneficial lessons from their experiences in market-driven approaches, integrated governance, and strategic leadership. Secondly, focusing on China's reality, the low-altitude economy has progressed from initial isolated technological breakthroughs to a critical leapfrog stage characterized by systematic and scaled innovation development. However, it currently faces four key challenges: the coexistence of "partial breakthroughs" and "structural shortcomings" in the airworthiness certification system, the initial establishment of low-altitude operation platforms yet plagued by unresolved "fragmentation", the serious constraint posed by lagging safety standard development on the exploration and commercialization of diverse application scenarios, and prominent structural imbalances in talent supply and demand, which have become a core bottleneck for the sustainable development of this long-chain industry. Finally, a comprehensive breakthrough pathway was proposed, including establishing a socialized and inclusive airworthiness certification service system to resolve certification dilemmas; building a unified digital governance foundation based on a nationwide low-altitude intelligent network to break down data and administrative barriers; creating a risk-graded and scenario-adapted safety standard system to balance innovation incentives with risk control; and implementing an interdisciplinary talent cultivation and recruitment strategy aligned with industry needs to fill the comprehensive talent gap. The research results can provide theoretical reference and practical guidance for promoting the high-quality development of China's low-altitude economy, shifting it from "partial leadership" to "systematic leadership".

Keywords: low-altitude economy; international lessons; current challenges; high-quality development; strategies