

低空经济产业链发展的制约因素与优化分析

白黎东

新疆维吾尔自治区社会科学院 新疆 乌鲁木齐 830011

摘要：低空经济作为全球新兴产业的重要方向，正逐步成为推动区域经济增长和技术革新的关键动力，其产业链覆盖航空器研发制造、空域管理、运营服务、场景应用等多个环节，形成多维度协同发展的生态体系。当前全球低空经济正处于规模化应用的前夜，政策探索与技术突破并行推进，但在实际落地过程中仍面临诸多系统性挑战。从顶层设计到市场生态，各环节的衔接尚未形成高效闭环，技术标准与安全监管的滞后性制约了产业边界的拓展，而应用场景的碎片化特征也导致市场需求难以充分释放。如何破解产业链各节点的协同障碍，构建可持续发展的产业生态，已成为各国抢占低空经济战略制高点的核心议题。

关键词：低空经济；产业链发展；制约因素；优化分析

引言

低空经济的兴起标志着人类活动空间向三维立体化延伸的新阶段，其产业链发展水平直接影响着城市交通、应急救援、农业植保等领域的转型升级效能。当前全球范围内针对低空经济的战略布局已进入加速期，但产业生态的培育仍处于探索阶段，政策框架的模糊性与技术路线的多元化形成鲜明对比。研究聚焦产业链发展的深层制约因素，旨在揭示政策导向、技术积累与市场培育之间的动态平衡关系，为优化资源配置提供理论支撑。通过系统性分析产业链各环节的耦合机制，探索突破瓶颈的可行路径，既是对现有产业理论的补充完善，也为实践层面的决策制定提供更具操作性的参考框架。

1 低空经济产业链发展的制约因素

1.1 政策法规与监管限制

低空经济产业链的演进受到现行政策框架与监管体系的多维度制约，空域管理制度的滞后性导致资源配置效率难以适应新型业态需求。当前针对低空飞行的分类标准尚未形成统一认知，不同行政层级的审批权限交叉重叠，企业在开展无人机物流、空中交通服务等业务时往往面临复杂的合规成本。监管机构间的职能边界模糊造成政策执行偏差，例如空域使用申请流程中频繁出现的多头管理现象，既延长了项目落地周期，又增加了运营主体的不确定性预期。技术标准体系的碎片化特征尤为突出，新兴飞行器适航认证规则与传统航空管理体系存在兼容障碍，这种制度性摩擦直接抑制了技术创新的商业化转化速度。跨部门数据共享机制的缺失进一步加

剧监管盲区，飞行器实时监控与应急响应系统尚未实现全链条覆盖，这种系统性风险的存在使得资本投入趋于保守。现有法规对低空经济特有的运行模式缺乏精准界定，过于宽泛的安全责任划分导致市场主体在探索新应用场景时存在法律风险顾虑^[1]。

1.2 基础设施建设不足

低空经济产业链的培育受制于基础设施体系的支撑能力不足，飞行器起降场地的规划布局与产业需求存在空间错配。城市群低空走廊的通信导航系统覆盖密度尚未达到规模化运营要求，飞行器与地面控制系统的实时数据交互时常遭遇信号衰减问题。气象监测网络的精度和更新频率难以满足低空飞行安全需求，特别是复杂地形区域的微气象数据采集存在技术盲区。能源补给网络的分布密度制约着电动飞行器的作业半径，充电桩与氢燃料加注站的选址规划缺乏与空域资源的协同设计。地面保障设施的智能化程度亟待提升，自动化仓储与物流转运系统的接口标准尚未形成统一规范。空域动态管理所需的雷达感知层存在覆盖缺口，部分区域低空目标的实时监控仍然依赖传统监管手段。基础设施的跨区域衔接机制尚未建立，相邻行政区的基础设施建设标准差异导致跨域运营存在技术壁垒。

1.3 技术与人才瓶颈

低空经济产业链的技术突破遭遇多维度制约，飞行器动力系统的能量密度提升陷入边际效益递减的研发困境。企业在新材料应用领域面临基础研究的积累不足，复合材料的耐候性测试与量产工艺尚未形成完整技术闭环。自主导航算法的环境适应性存在明显短板，复杂电磁环境下的避障决策模型仍需大量实测数据支撑。科研机构在推进技术转化时面临产学研协同机制不畅的困

作者简介：白黎东，男，1967年2月出生，中国共产党党员，新疆社会科学院副研究员；客座教授。研究领域：产业经济、区域经济。

扰,高校实验室成果与工程化需求之间存在代际差异。人才培养体系的结构矛盾日益显现,传统航空专业课程设置难以满足电动垂直起降飞行器设计等新兴领域的知识需求。企业技术骨干在跨学科知识整合方面存在能力断层,既懂航空动力学又掌握智能控制系统的复合型人才供给存在数量级缺口^[2]。

1.4 市场需求与应用场景有限

现有应用场景的开发多集中在行业级市场,面向大众消费的体验型产品供给存在明显缺口,消费者对空中物流配送、城市空中交通等服务的信任度培育需要时间积累。传统行业对低空技术的融合应用存在认知局限,农林植保、电力巡检等领域的作业模式创新受制于成本收益比的精确测算难题。应用场景的延展受限于跨领域技术集成的成熟度,例如无人机与物联网设备的协同作业尚未形成标准化解决方案。用户端的使用成本控制难题制约着市场渗透率提升,飞行器租赁、保险等配套服务体系的价格机制尚未形成市场均衡。商业模式的可持续性验证不足导致投资决策趋于谨慎,特别是需要长周期运营验证的载人航空服务领域,市场需求曲线仍处于早期爬升阶段。部分潜在应用场景面临物理条件限制,如城市低空环境下的电磁干扰问题直接影响作业可靠性,这种技术天花板的存在削弱了市场主体的创新动力。

1.5 安全与风险问题

城市密集区域的低空飞行存在信号干扰源排查难题,通信导航系统的冗余设计难以应对突发性电磁环境变化。飞行数据的安全防护机制存在技术漏洞,关键导航信息的加密传输标准尚未形成行业共识。事故责任认定规则缺乏细化的操作指引,特别是涉及多方主体的运营事故容易引发法律纠纷。保险产品的风险覆盖范围与实际损失程度存在估值偏差,精算模型尚未充分纳入低空环境特有的风险变量。气象突变预警系统的响应时效性不足,局部强气流等极端天气的预测精度制约着飞行安全裕度。跨行政区的应急响应机制存在协调障碍,相邻空域的救援资源配置标准尚未实现统一。公众对低空飞行器噪音污染的耐受阈值缺乏科学测算,社区层面的安全心理预期管理机制亟待建立。安全监管技术的更新速度落后于新型飞行器的研发进程,部分创新设计可能突破现有安全认证框架的评估能力边界。

2 低空经济产业链发展的优化策略

2.1 政策法规与监管优化

政府部门可建立飞行器适航认证的容错机制,在确保安全底线的前提下为创新技术设置验证期有限豁免通道。跨行政区的监管协作应当形成标准操作流程,比如

统一相邻省份空域的数据接口规范来消除监管盲区。行业协会可以牵头构建分级分类的技术标准体系,针对不同量级的飞行器制定差异化的适航指标。监管机构需要研发智能化的空域管理平台,利用数字孪生技术对低空交通流进行全天候仿真推演。飞行器制造企业应当参与安全认证规则的动态修订,将实际研发中遇到的材料疲劳参数及时反馈给标准制定部门。建立政企联动的应急响应知识库,共享历史飞行数据中的风险模式特征有助于提升监管预警能力。地方立法机关可探索设立低空经济创新试验区,在特定空域范围内试行夜间飞行许可等弹性管理制度。

2.2 基础设施建设加强

低空经济基础设施的布局需要统筹多维度要素,城市近郊规划多层级起降节点时应重点考虑与物流仓储区的空间耦合关系。通信运营商应当升级低空专用通信频段的基站部署密度,采用相控阵雷达技术增强复杂地形下的信号覆盖质量。能源补给网络的建设要兼容多种动力类型,氢能源飞行器的加注设施需与电力驱动系统的换电站形成网格化布局。气象监测站点应当加密布设微型传感器阵列,实时捕捉低空逆温层等特殊气象数据。空域管理单位需要部署三维可视化系统,将建筑物电磁辐射参数纳入飞行路径规划的核心变量。充电桩制造商应当研发适应多种机型的智能充电接口,解决旋翼机与固定翼飞行器充电标准不兼容的痛点。数据交换平台需建立分级授权机制,确保商业飞行数据在共享过程中的知识产权保护。地形测绘机构应定期更新城市建筑顶部的障碍物数据库,特别关注新建楼宇的玻璃幕墙反射参数变化^[3]。

2.3 技术创新与人才培养

低空经济产业链的技术研发需要建立动态知识更新机制,高校飞行器设计专业应当每学期更新动力系统课程模块,融入新型复合材料的应力分析模型。企业研发中心可以设立跨学科攻关小组,定期轮换航空工程师与人工智能算法师的协作岗位。职业院校应当开发模块化实训平台,让学生在模拟城市峡谷环境中调试避障算法的参数灵敏度。科研院所需要构建技术转化评估矩阵,将实验室阶段的导航定位误差率指标与工程化标准进行量化比对。政府部门应当搭建技术验证的公共测试场,允许不同厂商的通信协议在真实电磁干扰环境下进行互操作性调试。行业协会可制定技术骨干的跨企流动规则,在保护商业秘密前提下促进氢能源推进系统的经验共享。飞行控制算法的环境适应性测试需要更多实测数据支撑,气象部门可以开放历史低空湍流数据集供研发

机构建模使用。企业人力资源部门应当设计双轨晋升通道,让深耕电池热管理技术的工程师与擅长系统集成的项目管理者享有同等职业发展空间。

2.4 市场拓展与应用场景开发

行业协会应当建立应用场景数据库,分类整理景区巡查与电力巡检等差异化任务对飞行器载荷的特定需求。商业运营主体可以开发场景适配性评估工具,帮助客户精准匹配旋翼机与固定翼机型的经济效益临界点。低空服务提供商需要构建动态定价模型,根据农业植保作业的季节性波动规律调整设备租赁套餐。制造企业应当设立应用场景实验室,邀请应急救援队伍实地测试新型照明吊舱在浓烟环境下的穿透性能。市场部门需研发需求挖掘算法,通过分析城市交通热力图预判物流无人机的高频运输走廊。旅游开发机构可以设计模块化载荷接口,使同一架飞行器能够快速切换航拍摄影与地形测绘功能。建立跨领域的商业模式验证平台,允许气象监测设备制造商与光伏电站运营商联合测试积冰预警系统的数据价值。销售团队应当掌握垂直行业的技术话语体系,用输电线覆冰厚度等专业参数阐释巡检无人机的不可替代性^[4]。

2.5 安全与风险管理强化

飞行器制造企业可开发基于增强现实的故障预演平台,允许维护人员在虚拟环境中模拟处置锂电池组的热失控场景。行业协会应当制定风险量化评估指南,明确不同空域环境下电磁干扰强度的分级预警阈值。监管机构需要部署分布式声光感知阵列,利用多普勒效应捕捉飞行器异常运动轨迹。应急救援单位应当定期开展多灾种叠加演练,重点磨合山区信号盲区中无人机与地面救

援装备的协同搜救流程。飞行培训机构需要将人体生理监测模块嵌入模拟器,实时捕捉学员在突发险情处置时的心率变异指数。空域管理单位可以建立风险数据共享池,汇总不同厂商飞行控制系统的失效模式特征形成动态知识图谱。保险机构应当研发自适应保费计算模型,根据企业安全培训频次和设备健康档案数据动态调整承保系数。适航认证机构需要完善改装审批流程,对加装农用喷洒设备的飞行器进行气动稳定性重评估。

结语

低空经济产业链的成熟需要政策创新与技术演进的双轮驱动,既要突破传统空域管理的制度惯性,更需构建适配新型业态的基础设施网络。建议相关企业通过动态调整监管框架平衡安全与效率的矛盾,依托数字技术提升空域资源利用效能,同时加强跨领域技术融合以培育新的增长极。未来产业发展将呈现立体化、智能化和生态化趋势,随着关键技术的持续突破与应用场景的深度融合,低空经济有望重塑城市空间格局和产业组织形式,成为推动经济高质量发展的新引擎。

参考文献

- [1]樊睿,司玉锋,于明.我国低空经济市场应用研究[J].中国工业和信息化,2024,(12):54-59.
- [2]朵灏,张鹤,卢海萌,等.我国低空经济发展问题研究[J].中国电信业,2024,(12):18-20.
- [3]张嘉昕,许倩.低空经济产业链发展的制约因素与优化对策研究[J].经济纵横,2024,(08):63-70.
- [4]黄怡菲,谢紫寒.基于产业链视角的低空经济发展分析——以广州为例[J].中国电信业,2024,(12):26-29.