doi. 10. 3724/1005-0566. 20261010

基于 TOE 框架的中国低空经济成长势能评估与区域异质性研究

解佳龙[1],杨格格[1],张　璐[2]

(1. 中南民族大学管理学院,湖北　武汉　430074;2. 武汉理工大学创业学院,湖北　武汉　430070)

摘　要:低空经济作为培育新质生产力的战略新领域,以高成长、广覆盖、多场景融合优势驱动经济增长,其差异化发展态势持续赋能区域高质量发展。基于TOE理论构建"技术—组织—环境"指标体系,采用CRITIC-TOPSIS改进法测算2010—2022年我国30个省份低空经济成长势能,从时空双维度揭示其演变特征,并对三大经济带的势能差异进行溯源分析。进一步借助BP-DEMATEL模型解析全国及省域差异性发展格局,挖掘核心驱动因素及作用路径。结果表明:低空经济成长势能呈现显著区域异质性,空间格局上东高西低与多中心化并存,领先地区优势持续巩固,新兴地区加速崛起;时序上形成标杆引领、攻坚突破、蓄势孕育三个阶段,空间集聚态势日益强化且形态动态演变;全国及三大经济带成长势能总体向好,但区域间及区域内非均衡差异扩大,势能梯度分化加剧,区域间差异仍为主要贡献因子,而造成区域差异的根源逐渐转向板块差异与内部分化的双重动力机制;通过解构全国及省域成长势能的关键驱动因素,识别出各省域发展要素各异且主导优势有别,各势能水平省份均面临动能提升瓶颈。为此,提出畅通要素流动、精准系统赋能、推动错位发展等对策,以提升全国及省域低空经济成长势能。

关键词:低空经济;成长势能;时空演进;TOE框架;BP-DEMATEL模型

中图分类号:F061. 5;F124. 5　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1005－0566(2026)10－0116－16

Evaluation and regional heterogeneity study of the growth potential of China's low-altitude economy based on the TOE framework

XIE Jialong[1], YANG Gege[1], ZHANG Lu[2]

(1. *School of Management*, *South-Central Minzu University*, *Wuhan* 430074, *China*;
2. *School of Entrepreneurship*, *Wuhan University of Technology*, *Wuhan* 430070, *China*)

Abstract: The low-altitude economy, as a new strategic field for cultivating new productive forces, drives economic growth through high growth rate, wide coverage, and multi-scenario integration. Its differentiated development trend continuously empowers regional high-quality development. Based on the TOE theory, the technology-organization-environment index system was constructed, and the improved CRITIC-TOPSIS method was used to calculate the growth potential of low-altitude economy in 30 provinces of China from 2010 to 2022. The evolution characteristics was revealed from both spatial and temporal dimensions, and the potential differences among the three major economic belts are traced back. Further apply the BP-DEMATEL model to deconstruct the differentiated development trends at the national and

基金项目:国家社会科学基金青年项目"国家自主创新示范区创新价值链锁定与突破路径研究"(21CGL051)。

作者简介:解佳龙(1988—),男,黑龙江东宁人,中南民族大学管理学院副教授,博士,研究方向为产业创新与区域发展。通信作者:张璐。

provincial levels, and explore the core driving factors and action paths. The results show that the growth potential of the low-altitude economy presents significant regional heterogeneity. In terms of spatial pattern, high in the east and low in the west and multi-centralization coexist. The advantages of leading regions continue to consolidate, and emerging regions accelerate breakthroughs. In terms of time sequence, it has formed three stages: benchmark leadership, breakthrough, accumulation and nurturing. In terms of space, the phenomenon of agglomeration has become increasingly prominent and the form of agglomeration has evolved dynamically. The growth potential of the whole country and the three major economic belts is generally positive. However, the unbalanced differences among and within regions have expanded, and the differentiation of potential energy gradients has intensified. The differences among regions remain the main contributing factor, while the root causes of regional differences have gradually shifted to the dual dynamic mechanism of plate differences and internal differentiation. By deconstructing the key driving factors of national and provincial growth potential, it is identified that each province has different development elements and dominant advantages, and each province with different potential levels is facing the bottleneck of kinetic energy improvement. Finally, countermeasures such as facilitating the flow of factors, providing precise and systematic empowerment, and promoting differentiated development have been proposed to enhance the growth potential of the low-altitude economy at the national and provincial levels.

Key words: low-altitude economy; growth potential; spatiotemporal evolution; TOE framework; BP-DEMATEL model

随着无人机技术的迭代升级及人工智能、导航通信等核心技术深度融合,长期被视为“沉寂资源”的低空经济迎来新一轮开发热潮。《中国低空经济发展研究报告(2024)》表明,我国2023年低空经济规模已达5 059.5亿元,增速为33.8%,到2026年规模预计有望突破万亿元。低空经济作为新质生产力的代表,以其高度的场景延展性、产业关联性和技术融合性,正成为撬动区域高质量发展的重要引擎。我国在低空经济领域具有前瞻性部署基础,在2010年国务院、中央军委出台《关于深化我国低空空域管理改革的意见》中,从国家战略层级对低空空域的管制壁垒进行系统解构,成为我国低空经济规模化发展的制度拐点。近年来,我国低空经济的政策脉络逐渐清晰且步步深化,从2021年低空经济概念被首次写入国家规划的“破茧”,到2024年“两会”政府工作报告确定其为增长引擎的“定调”,再到2026年《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》将其列为新兴支柱产业的“升维”,其战略重要性不断凸显。

在中央战略引领下各地方政府抢抓低空经济战略机遇期,密集推出响应性政策举措,推动低空产业生态及空间集聚格局初步显现,呈现多点布局与系统性增长态势。然而,政策环境的持续优化和政策文本的爆发式增长并非转化为各区域低空经济的跃迁实效,区域发展能级差异日益显著。部分先发地区在优化要素配置基础上,依托技术全链条整合能力与高协同产业网络,构建起一体化推广模式,形成了多要素协同的产业生态。然而,部分地区的低空基础设施建设与飞行网络布局推进相对滞后,技术研发、生产制造与组织配套等短板突出,尚未有效突破地理环境与资源禀赋的刚性约束。在多重因素叠加作用下,区域间低空经济发展动能差距持续拉大,对全国统一大市场的构建和低空经济网络的连通形成挑战。因此,构建一套科学可行的低空经济评价体系,解构我国低空经济成长势能的时空分异特征及驱动机制,对破解低空经济资源配置中的“马太效应”以实现全国一盘棋具有重要意义。

一、文献综述

“低空经济”概念于2021年首次被写入《国家综合立体交通网规划纲要》,并于2024年出台的全国首部低空经济立法《深圳经济特区低空经济产业促进条例》中明确对其做出定义。自低空经济被写入政府工作报告以来,国家及地方政府多种政策工具组合深化使用,低空经济迎来黄金窗口发展期,将形成万亿级市场规模的潜力持续驱动着该领域成为多学科交叉研究的热点。当前关

于低空经济的研究成果主要聚焦产业范畴、应用场景和综合治理三个方向。

科学界定低空经济产业范畴是区域低空产业链、空间链与创新链协同布局的前提，为此需从内涵阐释、产业构成与体系层次三个维度系统梳理。在内涵阐释方面，“低空经济”一词最早由中国在2010 年提出[1]，国内外对其学术定义相差较大，国外研究多为“先进空中交通”这一概念，涵括空中交通、物流运输、医疗保健和应急服务等，也有学者将其视为在低空空域提供安全高效的货运、客运及应急服务的创新运输系统[2]。此外，外文文献中也存在如按需空中交通、城市空中交通等表述，部分学者对此类低空交通系统进行了细致研究，如智联网体系[3]、低空出行行为[4]等。国内学者李晓华[5]从核心经济活动视角切入，强调低空经济的产业带动效应，观点颇具代表性，故本文沿用其定义，将低空经济理解为“在低空空域范围内以载货、载人和其他低空作业等飞行活动为牵引，以民用航空器为载体，并带动其他领域发展的综合经济形态”。在产业构成方面，沈映春等[6]认为低空经济是现代化产业体系的重要组成，从生产要素与产业构成两维度解析其内在逻辑；洪联群[7]从服务业态与服务功能两层面拓展了低空经济的内涵，结合当前基础条件提出低空服务业的发展对策。在体系层次方面，学者多基于产业链视角进行划分，欧阳日辉[8]构建了包括基层设施、飞行制造、运营服务、飞行保障在内的四层次产业链模型；周钰哲[9]提出了上游原材料及部件、中游低空装备与配套、下游服务与应用场景的三层次框架。

应用场景以实际需求为牵引，打通飞行器从研发到应用的全过程，构建起产业链与创新链深度融合的产业生态。在场景类型划分上，低空经济的产业链长、应用场景复杂，涉及低空物流、航空摄影、空中巡查与医疗救援等场景[10]；也有研究指出目前低空经济应用场景尚未充分开发，但在物流、监控、农业、环保、消防等领域广泛应用[11]；同时，碳减排、污染监测、能源评估也是低空经济重要的应用场景[12]。在典例应用上，特定场景研究更具针对性：沈映春[13]聚焦“低空 + 文旅”融合，在剖析低空文旅现状和特点基础上提出适配对策；庄茁[14]阐析了智慧城乡建设中人工智能对低空经济的赋能机制，论证其内在逻辑与可行路径。在场景孵化上，低空经济需多元主体共创，钟成林等[15]将低空经济场景孵化划分为五个阶段，识别出场景孵化存在预期偏弱、融资约束等障碍。

区域综合治理是低空经济大规模推广与商业化的关键。法制规则与政策支持体系构建一直是学界关注的议题：杜德林等[16]梳理了我国低空经济各级各类政策，识别其演进过程与区域差异；高志宏[17]从空域使用权出发，提出了促进低空空域有序利用的法制保障建议。当前围绕破解困局的研究呈现多元视角，在风险治理方面，低空经济因高风险特征与产业成熟度不足，对城市安全与应急管理构成挑战，王庆[18]和张勤等[19]分别从敏捷治理和全产业链角度提出了风险治理的路径及策略；在瓶颈突破方面，张嘉昕等[20]和廖小罕等[21]针对低空基础设施建设滞后、关键技术薄弱等问题，分别从产业链解构和收益分配出发提出相应解决措施。

随着相关研究持续深入，低空经济逐渐从理论探讨转向实证分析。岳立等[22]和冯瑜满等[23]均以城市群为对象，先后探讨了大装置集聚对低空经济的影响以及低空制造业的时空关联模式。王姣娥等[24]构建了涵盖创新效力、产业实力、场景活力、发展潜力、保障能力的“五力”评价体系，对全国范围内的低空经济发展水平展开测度。龙小凤等[25]以我国地级市为研究单元，通过实证揭示我国低空经济创新网络的空间集聚态势。此外，史峰等[26]结合江西低空经济重点企业调查结果，从税惠视角揭示低空经济在飞起来、造出来和用起来等环节的困境。

综上，低空经济的研究成果日益丰富，为深入探索其成长势能奠定了扎实基础。然而，现有研究仍有以下不足：首先，多数成果侧重静态分析，对低空经济作为集聚型新兴业态的动态演化关注

不足;其次,区域异质性探讨尚不深入,较少从时空分异视角展开跨区域比较;再次,关于低空经济“概念—场景—治理”三维协同的研究较缺乏,未能充分揭示其内在联系与驱动机制。基于此,本文的边际贡献主要体现为:第一,揭示低空经济的动态时空演进格局,基于TOE框架测度最近十余年全国范围及各省域、经济带的低空经济成长势能,从时空维度揭示演变特征;第二,深化区域异质性认知,溯源分析三大经济带的发展差异,结合省域三维动能进行聚类研究,识别不同区域的发展规律与模式类型;第三,解析多维因素的交互效应与驱动机制,从技术、组织与环境三个维度探究影响低空经济发展的关键因素,厘清多元动力协同的增效路径。

二、低空经济成长势能评价指标体系构建及研究设计

(一)低空经济成长势能评价指标体系

1. 指标选取与体系构建

将“成长势能”概念引入低空经济研究领域,旨在从动态演化视角量化评估区域低空经济由要素集聚向产出转化的潜在动能及其演进轨迹,以突破静态现状描述的局限。鉴于低空经济核心产业兼具投资周期长、资本密度高等特征,现阶段的势能积累构成了未来产业跃迁的基础性支撑,并且该视角也利于识别后发区域的比较优势与追赶空间,从而更深刻地揭示低空经济高质量发展的长期演化规律,为政策制定提供前瞻性决策依据。基于此,系统构建一套涵盖多维驱动要素的低空经济成长势能评价指标体系,既是对“成长势能”这一理论概念的操作化定义,又是透视区域低空经济内在结构与演化动力的关键抓手,对准确研判其培育基础与演进态势具有重要的方法论意义。低空经济是国家布局的新兴支柱产业,核心竞争力源于持续的技术创新能力,有赖于组织要素的活力激发,更需要良好的产业环境作为释放价值潜能的外部拉力。在技术、组织与环境等多重因素驱动下,低空经济呈现高度复杂且动态演进的系统特征,而TOE(技术—组织—环境)框架有效契合其内在发展逻辑。目前,TOE理论广泛用于新兴产业领域的评价指标构建,单伟等[27]还运用该框架探索低空经济企业突破式创新的驱动路径。因此,基于TOE视角构建低空经济成长势能评价指标体系,有助于系统科学评估低空经济的发展潜力。

在具体指标设计上,构建了涵盖技术、组织与环境三个维度、9项二级指标及32项三级指标的评估体系(见表1),所有指标均正向可量化,兼具客观性与可操作性,为低空经济成长势能综合研判提供参照。其中,技术维度以原始创新、应用设施与成果转化为核心,强调基础研究、关键技术环节与价值转化的协同支撑;组织维度聚焦资源整合与要素协同,着力破除市场壁垒、强化企业创新主体地位并优化人才供给结构;环境维度构建了“制度韧性—设施融合—场景创新”多元赋能框架,系统涵盖央地协同的政策响应机制、地面与空域保障的物理载体及驱动产业成长的多元场景需求。

2. 数据来源

本文将研究的时间范围确定为2010—2022年,以契合低空经济概念于2010年正式提出的背景,并确保采用当前最新且完备的数据。为规避数据缺失对研究科学性的影响,研究对象选取全国除西藏、港澳台外的30个省份,数据源于《中国火炬统计年鉴》《民航生产统计公报》《从统计看民航》《中国高技术产业统计年鉴》等统计年鉴、公报与国家统计局网站。针对部分年度国家级统计年鉴数据缺失情况,通过查阅省级统计年鉴比对后选用,或依据等比增长趋势估算;对于无法直接获取的数据,则依据其变化特征采用指数平滑、移动平均加权或线性插值补齐。O_{22}、O_{23}、O_{24}在《中国工业统计年鉴》的统计口径自2019年由“主营业务收入”变为“营业收入”,人民政府网相关说明表示这不妨碍数据使用,因而统一采用“营业收入”口径。鉴于T_{11}的流量指标特性,并考虑创新产出

受前期投入的累积影响,故通过永续盘存法将其转化为存量指标。

表 1　低空经济成长势能评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标		指标单位	权重	指标释义
		操作化定义	观测指标			
技术(T)	研发创新基础(T_1)	研发资金投入规模	(T_{11}) R&D 内部经费支出	万元	0.026	低空技术研发资金保障能力
		研发人力投入实时体量	(T_{12}) R&D 人员全时当量	人年	0.025	低空技术研发人才投入
		知识产权产出能力	(T_{13})有效发明专利数	件	0.019	低空核心技术储备质量
		技术更新投入水平	(T_{14}) 技术改造经费支出	万元	0.035	传统产业低空化改造潜力
		创新载体实体规模	(T_{15})高校(机构)数量	所	0.053	低空科研平台载体密度
	技术应用设施(T_2)	运输能力	(T_{21})民航起降架次数	架次	0.024	低空飞行设施利用效率
		通信能力	(T_{22}) 长途光缆线路长度	万公里	0.047	低空智联网信息传输底座
		导航能力	(T_{23})测绘基准成果	点	0.035	低空高精度导航数据基础
	成果转化能力(T_3)	技术要素市场化流转能力	(T_{31})技术市场成交额	万元	0.033	科技成果商业化转化水平
		创新产品市场渗透能力	(T_{32})新产品销售收入	万元	0.028	低空技术商业化应用成效
		技术孵化载体效能	(T_{33})国家级科技企业孵化器总收入	万元	0.022	低空企业培育孵化能力
组织(O)	市场主体活力(O_1)	技术供给主体规模	(O_{11})高技术产业生产企业数	家	0.021	低空高技术产业集群基础
		外资企业长期驻留规模	(O_{12})外商投资企业年底注册数	家	0.029	低空全球产业链嵌入
		创新活力均衡度	(O_{13})规上工业企业平均有效发明专利数	件/家	0.031	低空产业配套创新支持力度
		企业研发活力	(O_{14})有研发机构的企业数	家	0.026	低空企业创新组织化基础
		流动外资固化规模	(O_{15})实际到位固定资产利用外资金额	万元	0.038	低空产业资本国际化规模
	产业协同网络(O_2)	联运协同能力	(O_{21})交通运输、仓储和邮政业增加值	万元	0.035	多式联运协同基础规模
		智能终端赋能水平	(O_{22})计算机、通信和其他电子设备制造业工业营业收入	万元	0.021	低空智能终端供应能力
		航空技术转化能力	(O_{23})铁路、船舶、航空航天工业营业收入	万元	0.022	低空装备航空技术产业关联支撑
		专用设备适配能力	(O_{24})专用设备制造业工业营业收入	万元	0.033	低空特种作业配套设备支撑能力
		区域技术交互贡献能力	(O_{25})区域技术交易输出与吸纳成交总金额	万元	0.016	低空技术区域协同水平
	人力资源支持(O_3)	专业人才供给能力	(O_{31})航空运输业就业人员数	人	0.043	低空专业人才供给规模
		区域智力资本储备	(O_{32}) 高校在校学生数量	人	0.039	低空潜在智力储备
环境(E)	政策支持环境(E_1)	科技发展支持力度	(E_{11})地方财政科学技术支出	万元	0.024	地方政府低空创新支持力度
		交通运输支持力度	(E_{12})地方财政交通运输支出	万元	0.019	低空新基建保障潜能
		企业科创服务平台搭建	(E_{13})国家技术转移机构数及国家级科技企业孵化器数	个	0.026	低空科技服务体系完善度
	基础设施环境(E_2)	气象监测	(E_{21})自动气象站站点	个	0.055	低空气象服务精细化水平
		安全预警	(E_{22})天气雷达观测业务站点	个	0.033	低空监测预警能力
		通航保障	(E_{23})通用航空飞行小时数	小时	0.041	低空空域开放与运行活跃度
	应用场景环境(E_3)	生产作业	(E_{31})农业、林业、渔业、建筑业总产值及规上工业企业收入	万元	0.033	低空作业服务需求规模
		交通运输	(E_{32})快递业务收入及城镇居民交通通信支出(载物、载人)	万元	0.023	低空空中交通消费潜力
		文体活动	(E_{33})教育文化娱乐消费支出	万元	0.046	新兴消费场景拓展空间

(二)研究思路与方法

基于低空经济成长势能评价指标体系,对2010—2022 年我国各省域低空经济成长势能展开量化分析,从时空维度揭示其分布特征与组群差异,并从三个维度解构其驱动机制。研究方法包括:①采用 CRITIC 法指标赋权,该方法能剥离共线性干扰并反映要素间协同效应,提升权重分配稳健性,随后结合 TOPSIS 改进模型进行综合评价,引入余弦相似度刻画正负理想解之间的距离与方向,增强评价全面性,并针对该方法在贴近度计算中因上下限差距较小导致分辨率偏低的问题,引入杰卡德系数对其进行优化,便于后续神经网络算法的输入处理;②运用 Dagum 基尼系数与聚类分析处理三维聚合指标数据,并采用核密度估计与莫兰指数对成长势能进行时空分析,呈现省域及三大经济带的发展差异与空间关联;③在驱动要素识别方面,将 BP 神经网络与 DEMATEL 结合,构建输入层与隐含层之间的映射关系,获取指标间相互影响的客观权重,克服了传统 DEMATEL 模型权重设定的主观性。研究框架如图 1 所示。

1. 成长势能测算:CRITIC-TOPSIS 改进

第一,依据 CRITIC 法确定的权重(因篇幅所限,具体过程参见文献[28]),构建加权决策矩阵 V:

$$V=XW=\begin{bmatrix}X_{11}&\cdots&X_{1n}\\ \vdots&\ddots&\vdots\\ X_{m1}&\cdots&X_{mn}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}W_1&\cdots&0\\ \vdots&\ddots&\vdots\\ 0&\cdots&W_n\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}v_{11}&\cdots&v_{1n}\\ \vdots&\ddots&\vdots\\ v_{m1}&\cdots&v_{mn}\end{bmatrix} \tag{1}$$

其中,X_{ij} 为第 i 个省份第 j 项指标的标准化值,在 Min-Max 归一化数据上增加 0.001 的微量数值,以便后续余弦相似距离计算;W_j 为第 j 项指标的权重。

第二,取各列极值确定正理想解 $V_J^+=\{\max v_{ij}\mid j=1,2,\cdots,n\}=\{V_1^+,V_2^+,\cdots,V_j^+\}$ 和负理想解 $V_J^-=\{\min v_{ij}\mid j=1,2,\cdots,n\}=\{V_1^-,V_2^-,\cdots,V_j^-\}$,进而计算得到正负理想解的欧氏距离。

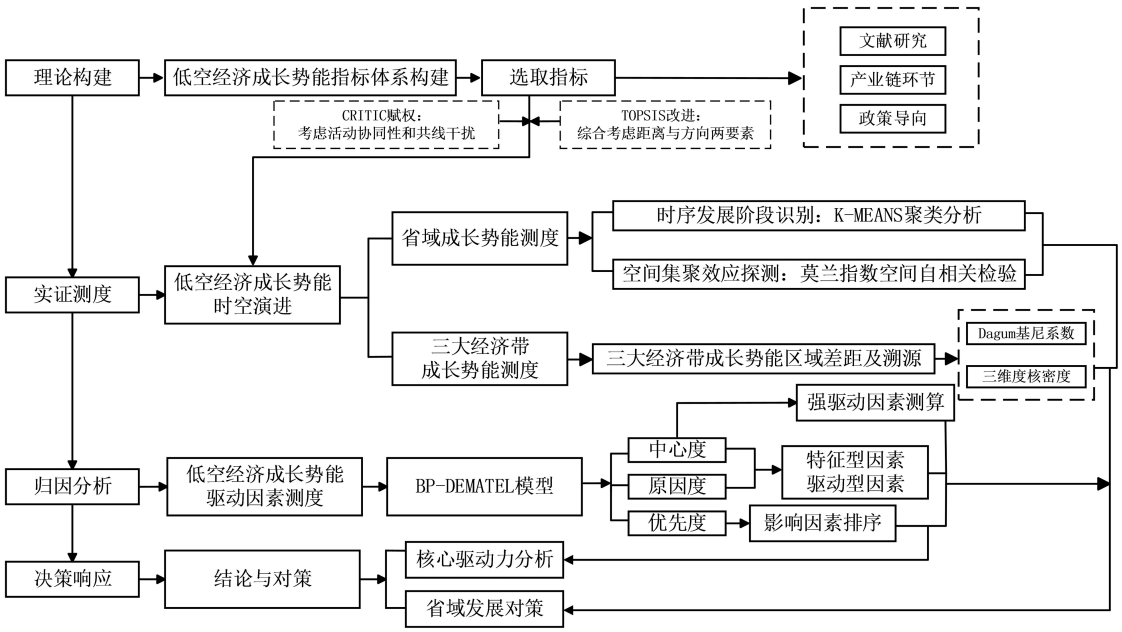


图1　整体研究设计框架

$$D_i^{euc+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_j^+)^2} \tag{2}$$

$$D_i^{euc-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_j^-)^2} \tag{3}$$

其中：D_i^{euc+} 和 D_i^{euc-} 为与正向距离解、负向距离解的欧式距离。

第三，运用引入的余弦公式再次计算余弦相似距离，并据此对欧式距离进行修正，计算决策目标及正负理想点的修正距离为：

$$D_i^+ = \sqrt{D_i^{euc+} \times D_i^{cos+}} = \sqrt{D_i^{euc+} \times cos_i^+\theta} = \sqrt{D_i^{euc+} \times \frac{V_i \cdot V_j^+}{\| V_i \| \| V_j^+ \|}} \tag{4}$$

$$D_i^- = \sqrt{D_i^{euc-} \times D_i^{cos-}} = \sqrt{D_i^{euc-} \times cos_i^-\theta} = \sqrt{D_i^{euc-} \times \frac{V_i \cdot V_j^-}{\| V_i \| \| V_j^- \|}} \tag{5}$$

其中，D_i^{cos+}、D_i^{cos-} 为 V_i 与正理想解 V_j^+、负理想解 V_j^- 的余弦相似长度，$D_i^{cos+}, D_i^{cos-} \in [0,1]$。

第四，引入杰卡德系数对贴近度公式进行优化[29]，由杰卡德贴近度引申的低空经济成长势能为：

$$C_i = \frac{(D_i^-)^2}{(D_i^+)^2 + (D_i^-)^2 - D_i^+ D_i^-} \tag{6}$$

2. 驱动因素解构：BP-DEMATEL 模型

第一，根据原始指标构建影响因素矩阵 X（元素为指标数据）和目标因素矩阵 Y（元素为成长势能），并将标准化值分别输入 BP 神经网络的输入层和输出层：

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \tag{7}$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & \cdots & y_{mk} \end{bmatrix}_{m \times k} \tag{8}$$

第二，根据输入层影响因素数 a 和输出层目标因素数 b，确定隐含层节点数 $d = \sqrt{a+b} + c$，其中 $c \in Z[0,10]$，具体取值根据数据量选定。

第三，通过映射关系得到“输入层—隐含层”权值向量 $W_{n \times t}$ 及“隐含层—输出层”权值矩阵 $V_{t \times k}$，进而计算权值向量 $\omega = mean(|W| \times |V|)$，其中 $mean$ 函数表示当 $k > 1$ 时，取每列数值平均值，但本文实际目标因素数量 k 为 1，故无需均值化处理。

第四，构建直接关联矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$，表示第 i 项指标对第 j 项指标的影响程度，其中 $a_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$，若 $\omega_i = \omega_j$，则 $a_{ij} = 0$。随后矩阵 A 除以每行求和的最大值，得到标准化后的矩阵 $B = (b_{ij})_{n \times n} =$

$A/max\sum_{j=1}^{n}a_{ij}$，最终计算综合影响矩阵 $T=B(1-B)^{-1}$。

第五，计算各指标的影响度 D_i（该指标对其他指标的影响）、被影响度 P_i（其他指标对该指标的影响）、中心度 C_i（该指标在成长势能中的重要性）及原因度 R_i（该指标与其他指标的因果关系）

$$D_i=\sum_{j=1}^{n}t_{ij} \tag{9}$$

$$P_i=\sum_{i=1}^{n}t_{ij} \tag{10}$$

$$C_i=D_i+P_i \tag{11}$$

$$R_i=D_i-P_i \tag{12}$$

其中，$R_i>0$ 表示该指标对其他指标影响程度大，称为原因（驱动型）因素；$R_i<0$ 表示其他指标对该指标影响程度大，称为结果（特征型）因素。

第六，强驱动因素测度。若某指标的中心度超过阈值 θ，则该指标被界定为强驱动因素：

$$\theta=\frac{(C_1+C_2+\cdots+C_n)}{n}+\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(C_i-\overline{C})^2}{n}} \tag{13}$$

其中，n 为因素数量；$\overline{C}$ 为中心度均值。

三、中国低空经济成长势能测度及时空分异

（一）省域低空经济成长势能测度

在省域成长势能测度基础上，时间维度运用 K-MEANS 识别发展阶段及路径分化，空间维度借助莫兰指数探究空间关联与集聚效应，通过时空耦合分析揭示低空经济协同演化与空间分异机制。

1. 低空经济成长势能的省域分布态势

根据表 1 指标体系，采用 CRITIC-TOPSIS 改进法对全国 30 个省份历年低空经济成长势能进行综合评价，表 2 结果显示我国省域低空经济成长势能呈现以下特征。

表 2　2010—2022 年我国省域低空经济成长势能测算结果

省份	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
北京	0.343	0.375	0.396	0.408	0.425	0.445	0.464	0.497	0.525	0.562	0.567	0.607	0.627
天津	0.163	0.164	0.172	0.177	0.180	0.188	0.192	0.191	0.197	0.197	0.196	0.203	0.210
河北	0.388	0.399	0.440	0.448	0.459	0.515	0.467	0.482	0.489	0.508	0.511	0.530	0.538
上海	0.284	0.313	0.321	0.324	0.337	0.357	0.382	0.404	0.430	0.432	0.428	0.450	0.473
江苏	0.716	0.743	0.773	0.789	0.824	0.918	0.837	0.824	0.839	0.908	0.902	0.936	0.982
浙江	0.379	0.399	0.419	0.443	0.471	0.608	0.497	0.503	0.561	0.586	0.628	0.715	0.831
福建	0.259	0.279	0.297	0.299	0.309	0.340	0.327	0.337	0.355	0.360	0.368	0.392	0.390
山东	0.552	0.580	0.601	0.624	0.655	0.739	0.687	0.685	0.665	0.682	0.698	0.776	0.803
广东	0.599	0.622	0.659	0.773	0.794	0.897	0.889	0.944	1.021	1.086	1.052	1.099	1.152
海南	0.034	0.038	0.049	0.057	0.063	0.081	0.084	0.084	0.138	0.099	0.087	0.088	0.094
广西	0.234	0.235	0.279	0.284	0.289	0.327	0.353	0.373	0.318	0.336	0.352	0.366	0.371
辽宁	0.421	0.435	0.443	0.438	0.436	0.456	0.413	0.417	0.420	0.411	0.408	0.423	0.428
安徽	0.358	0.355	0.383	0.392	0.406	0.460	0.433	0.447	0.491	0.479	0.493	0.546	0.568
山西	0.236	0.244	0.263	0.281	0.277	0.310	0.281	0.286	0.283	0.287	0.297	0.301	0.307
江西	0.278	0.278	0.295	0.313	0.328	0.357	0.341	0.352	0.362	0.384	0.395	0.408	0.416
河南	0.419	0.434	0.468	0.497	0.514	0.611	0.540	0.554	0.569	0.581	0.598	0.642	0.675
湖北	0.395	0.411	0.441	0.455	0.470	0.552	0.492	0.510	0.515	0.533	0.534	0.575	0.611
湖南	0.455	0.472	0.505	0.525	0.511	0.652	0.524	0.530	0.522	0.531	0.547	0.556	0.588
内蒙古	0.254	0.219	0.239	0.236	0.270	0.329	0.308	0.316	0.416	0.313	0.298	0.293	0.318
吉林	0.204	0.202	0.211	0.212	0.226	0.252	0.230	0.234	0.220	0.275	0.230	0.242	0.249
黑龙江	0.281	0.285	0.309	0.279	0.290	0.323	0.294	0.293	0.292	0.278	0.278	0.284	0.287
重庆	0.159	0.166	0.169	0.219	0.233	0.245	0.236	0.240	0.236	0.245	0.249	0.260	0.273
四川	0.414	0.503	0.524	0.610	0.627	0.668	0.642	0.667	0.706	0.799	0.816	0.861	0.815
贵州	0.312	0.199	0.252	0.262	0.275	0.308	0.292	0.301	0.314	0.318	0.307	0.311	0.278
云南	0.212	0.244	0.262	0.334	0.332	0.378	0.364	0.378	0.348	0.357	0.378	0.391	0.429
陕西	0.313	0.316	0.327	0.347	0.348	0.386	0.350	0.357	0.356	0.379	0.392	0.422	0.439
甘肃	0.136	0.145	0.178	0.188	0.206	0.224	0.215	0.223	0.197	0.201	0.209	0.221	0.228
青海	0.076	0.086	0.181	0.103	0.110	0.114	0.114	0.107	0.112	0.120	0.101	0.119	0.123
宁夏	0.154	0.032	0.033	0.049	0.060	0.064	0.063	0.065	0.064	0.065	0.066	0.067	0.072
新疆	0.155	0.169	0.206	0.199	0.204	0.216	0.221	0.238	0.209	0.230	0.232	0.257	0.255

第一,各省域低空经济整体平稳发展,领先地区持续巩固优势,新兴地区加速后发突破。江苏、广东、浙江、山东、四川等省份凭借先发优势与持续创新,后期综合测度值均达0.8,稳居前列。其中,广东依托“规划早、政策实、链条齐、配套全”的产业生态,2016年反超江苏,2018年势能突破1.0,率先形成珠三角多点支撑格局。同时,浙江、河北、湖北、安徽、河南、北京等省份通过长期战略布局与政策市场双轮驱动,势能从初期0.3左右升至0.6左右,浙江尤为突出,测度末期势能突破0.8,年均增速6.8%。

第二,省域低空经济成长势能异质性显著,东部沿海与部分内陆核心省份共同构成初始发展高地,整体呈东高西低的多中心化格局。2010年测算显示,江苏(0.716)、广东(0.599)、山东(0.552)及内陆枢纽四川(0.414)初始值明显领跑全国。这反映出省域低空经济发展与区域资源禀赋密切相关:东部沿海省份依托雄厚经济基础与完善的基础设施、产业配套,高收入水平催生多元化低空应用需求;四川凭借航空航天工业积淀形成技术溢出,空域与地理条件提供天然试验场,叠加国家试点政策的制度支撑,共同奠定先发优势。

2. 低空经济成长势能的时序发展阶段

分别以2010年、2014年、2018年、2022年为时间节点,基于TOE三维度聚合得分开展K-MEANS聚类分析,将发展水平与特征相近的省域归为同类,经人工校验确保分类准确,最终划分为标杆引领、攻坚突破、蓄势孕育三类群组(见表3),以此揭示各省域跨期发展路径的演变规律。

表3　我国低空经济成长势能的省域聚类结果

类型	年份			
	2010	2014	2018	2022
标杆引领	江苏、广东、山东	江苏、广东	广东、江苏	广东、江苏
攻坚突破	北京、河北、辽宁、上海、浙江、安徽、福建、河南、湖北、湖南、四川、陕西	北京、河北、辽宁、上海、浙江、安徽、福建、山东、河南、湖北、湖南、四川、陕西	北京、河北、辽宁、上海、浙江、安徽、山东、河南、湖北、湖南、四川	北京、河北、上海、浙江、安徽、山东、河南、湖北、湖南、四川
蓄势孕育	天津、山西、内蒙古、黑龙江、吉林、江西、广西、海南、重庆、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆	天津、山西、内蒙古、黑龙江、吉林、江西、广西、海南、重庆、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆	天津、山西、内蒙古、黑龙江、吉林、福建、江西、广西、海南、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	天津、山西、内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、福建、江西、广西、海南、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆

(1)标杆引领区。该类型低空经济呈梯度固化与动态微调并行特征,整体势能持续增强。省域格局中,标杆引领区稳中有变:2010年江苏、广东各维度领先山东,2014年后山东退出标杆引领区,苏粤鲁三足鼎立演变为苏粤双核心稳定态势。技术维度广东从0.468升至1.055、江苏从0.604增至0.902,高端制造与创新转化优势持续巩固;组织维度两省同步提升,协同创新潜力进一步释放。环境维度虽整体偏弱,但标杆引领区省份仍显著高于其他地区,为技术与组织协同提供了支撑。

(2)攻坚突破区。这类省份单维度优势突出、无明显系统性短板,内部竞争活跃,具备动态筛选更新机制。但受技术、组织、环境三维势能适配不足制约,梯度跃迁存在结构性障碍,整体呈现集聚与分化并存格局。可划分为三个梯队:头部追赶梯队(京浙皖沪)单维度表现突出,却因势能结构失衡形成增长瓶颈;中部稳定梯队(豫鄂冀)各维度均衡但水平中游,缺乏突破性优势;尾部梯队(辽闽陕)资源流失、升级迟缓,面临成长势能持续下滑挑战。

(3)蓄势孕育区。部分省份低空经济长期处于蓄势孕育阶段,多维度增长滞缓,关键要素缺失,潜力释放受阻,逐渐成高梯度地区挤出效应的“蓄水池”。一方面头部省份极化效应凸显,区域差距拉大,资源虹吸下部分省份竞争弱势、难以能级跃升;另一方面内部协同不畅、内生动力不足,辽宁等新增省份虽多项指标优于原有蓄势孕育区省份,但仍需警惕依赖短期利好陷入低水平均衡。以内蒙古、贵州等地为例,长期受技术迭代慢、政策适配弱、企业创新乏力等困扰,逐步陷入“技术弱化锁定—组织效能衰减—环境系统失调”恶性循环,难以摆脱低水平陷阱。

3. 低空经济成长势能的空间集聚效应

(1)全局莫兰指数

表4结果显示低空经济成长势能呈持续增强的空间集聚特征,历年全局莫兰指数均为正,存在

稳定正向空间相关性。2010 年、2012—2017 年及 2019 年在 90% 置信水平下呈弱显著集聚($P<0.1$, $Z>1.65$),莫兰指数介于 0.168 ~ 0.195,集聚程度存在波动;2011 年与 2021—2022 年达到 95% 置信水平下的显著集聚($P<0.05$, $Z>1.96$),指数由 0.190 升至 0.220,空间集聚日渐强化,地理关联网络更趋紧密。该趋势增强主要源于:低空经济产业链对通用机场等基础设施的强依赖推动区域协同;上下游企业为获取技术外溢、提升效率趋向地理集中;区域协同政策进一步巩固了空间集聚格局。

表 4　全国低空经济成长势能全局莫兰指数

年份	Global Moran's I	Z 值	P 值	年份	Global Moran's I	Z 值	P 值
2010	0.190	1.948	0.051	2017	0.181	1.872	0.061
2011	0.195	1.987	0.047	2018	0.153	1.630	0.103
2012	0.184	1.896	0.058	2019	0.168	1.760	0.078
2013	0.174	1.808	0.071	2020	0.190	1.938	0.053
2014	0.176	1.820	0.069	2021	0.210	2.116	0.034
2015	0.180	1.851	0.064	2022	0.220	2.196	0.028
2016	0.188	1.935	0.053	—	—	—	—

(2)局部莫兰指数

基于 2011 年、2021 年、2022 年通过显著性检验的局部莫兰指数分析(见表 5),低空经济成长势能呈显著空间分异与动态演化特征:H-H 型数量持续增长,以长三角为核心向外围拓展,高能级省份辐射效应不断强化;L-L 型集中于中西部并向北延伸,形成甘蒙连片低值带,受创新动力不足、市场需求有限、区域联动偏弱等因素制约。省域层面,H-H 型从长三角核心区拓展至赣闽,形成"长三角—赣闽"联动格局,2022 年福建转为 L-H 型,处于高能级省份包围之中;西部唯一曾为 H-L 型高值孤岛的四川,其类型在 2022 年消失,区域协调性提升,整体空间集聚以同质类型为主导。

表 5　低空经济成长势能局部莫兰指数

年份	空间集聚类型	省份	Local Moran's I	Z 值	P 值
2011	H-H 集聚	江苏	8.656	1.752	0.044
		山东	8.770	2.439	0.012
		上海	0.773	2.166	0.025
		安徽	3.472	2.754	0.003
	L-H 集聚	江西	-0.005	-1.843	0.036
	L-L 集聚	甘肃	2.582	1.875	0.027
	H-L 集聚	四川	-3.666	-1.665	0.040
2021	H-H 集聚	江苏	7.996	1.908	0.034
		山东	6.860	2.128	0.022
		上海	0.911	2.255	0.016
		安徽	4.632	2.755	0.003
		江西	0.502	2.280	0.016
		福建	0.038	2.009	0.026
	L-L 集聚	甘肃	1.752	1.660	0.048
		内蒙古	1.468	2.064	0.018
2022	H-H 集聚	江苏	8.660	2.096	0.028
		山东	6.741	2.135	0.023
		上海	1.108	2.530	0.003
		安徽	4.896	2.805	0.002
		江西	0.351	2.355	0.016
	L-H 集聚	福建	-0.243	-2.163	0.014
	L-L 集聚	甘肃	1.886	1.667	0.047
		内蒙古	1.252	2.052	0.017

(二)三大经济带低空经济成长势能测度

1. 三大经济带的整体分布态势

全国及三大经济带低空经济成长势能整体稳健上升,区域间形成"东部领先、中西部阶梯跟进"格局。如图 2 所示,各地低空经济持续积累产业潜能、扩大规模,夯实发展基础。2022 年东部地区成长势能达 0.575,年均增速 3.9%,依托全链条完善布局与产业集聚效应,成为全国"领飞"核心。中西部虽整体水平偏低,但均保持追赶态势,其中西部年均增速 3.5%,略高于中部的 2.8%,在政策与场景创新驱动下展现出可观增长潜力,正于区域梯度分化中逐步实现动态平衡。

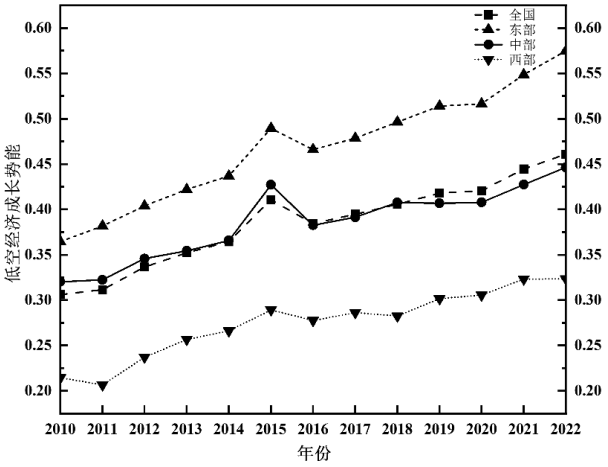


图 2　全国及三大经济带低空经济成长势能历年变动

2. 三大经济带的区域差距及溯源

如表 6 所示,研究期内整体基尼系数介于 0.305 和 0.349 之间,累计上升 14.6%,呈逐年扩大趋势,并于 2013 年(0.317)和 2022 年(0.349)

先后形成峰值,表明区域间势能差距持续拉大。但各年度系数均未突破0.4警戒水平,整体差异仍处可控范围。三维核密度图(图3)进一步揭示了三大经济带内部省域间成长势能差异的动态演化格局。

表6　低空经济成长势能的三大经济带Dagum基尼系数

年份	整体	区域内			区域间			贡献度(%)		
		东部	中部	西部	东部—中部	东部—西部	中部—西部	区域内	区域间	超变密度
2010	0.305	0.290	0.148	0.303	0.272	0.427	0.288	29.71	50.73	19.56
2011	0.322	0.288	0.168	0.352	0.283	0.448	0.322	29.50	49.88	20.62
2012	0.305	0.284	0.165	0.300	0.275	0.421	0.289	29.79	50.07	20.14
2013	0.317	0.295	0.180	0.336	0.288	0.423	0.300	30.50	47.32	22.18
2014	0.313	0.296	0.169	0.326	0.288	0.418	0.290	30.53	47.18	22.30
2015	0.313	0.297	0.180	0.325	0.287	0.414	0.296	30.71	46.30	22.99
2016	0.313	0.295	0.176	0.319	0.291	0.415	0.287	30.58	48.52	20.90
2017	0.314	0.297	0.178	0.321	0.293	0.416	0.288	30.67	47.93	21.40
2018	0.321	0.304	0.179	0.333	0.294	0.426	0.302	30.69	48.28	21.03
2019	0.331	0.319	0.174	0.342	0.308	0.433	0.303	30.96	47.15	21.89
2020	0.337	0.321	0.190	0.348	0.316	0.435	0.311	31.05	46.14	22.81
2021	0.342	0.326	0.202	0.346	0.325	0.436	0.314	31.17	45.40	23.43
2022	0.349	0.337	0.209	0.340	0.333	0.447	0.317	31.24	46.30	22.46

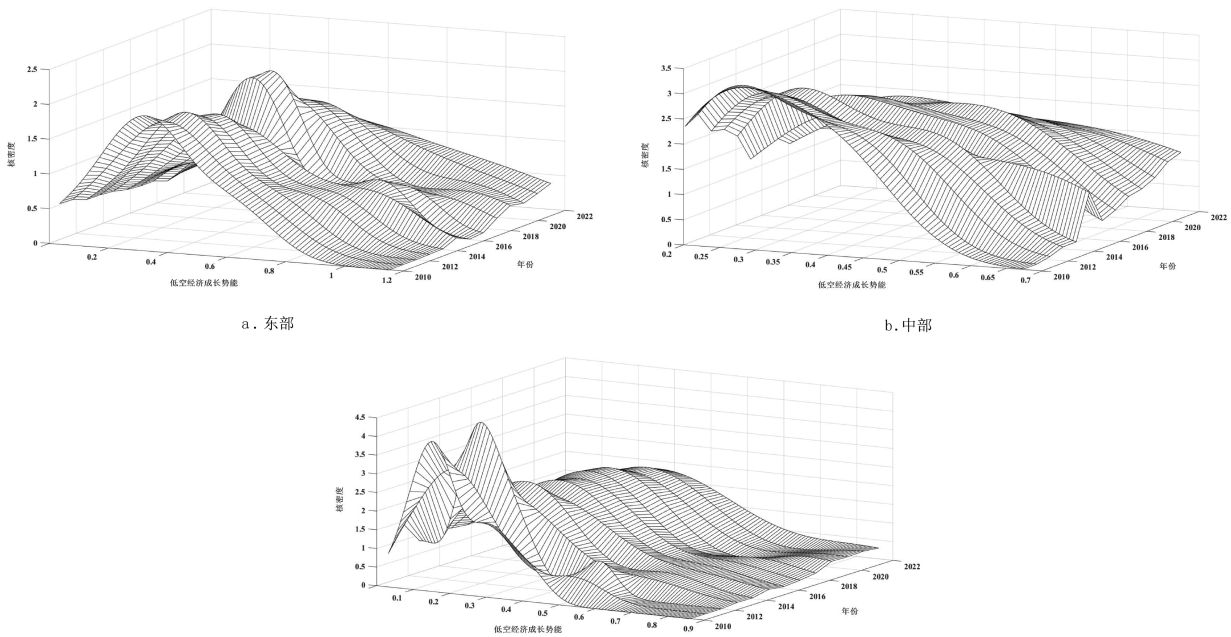
(1)经济带区域内差异

第一,东西部省域成长势能期初即存在显著差距,长期保持小幅抬升态势,整体势能提升过程中呈分层集聚特征。核密度结果显示,东西部省份多集中于中低势能区间且集聚波峰持续右移,区域内各省势能普遍增强。期初两区域基尼系数已处于较高水平,但后续增速平缓,西部年均增速不足1%。该特征印证成长势能与资源禀赋强关联:东部长三角、珠三角等省份依托资源优势率先拉开梯度,西部除四川(0.665)外多数省份势能偏低,最终形成东西部分层集聚格局。

第二,中部各省域成长势能分布相对均衡,整体差距较小,基尼系数始终保持在0.3以下,区域内部差异明显低于东西部。然而,该区域年均差异增速达41%,存在分化加剧风险。从核密度图分布形态来看,多数省份仍处于中低势能水平,尚未形成带动性的增长极或产业集群。这种相对均质但缺乏协同的发展格局,与各地各自为政的低空经济政策布局有关,导致空域管理和产业链协作等方面的效能未充分发挥,存在陷入普遍均衡陷阱的隐忧。

(2)经济带区域间差异

从时间演变看,三大经济带基尼系数整体波动上升,均值由0.329升至0.366,区域间成长势能差异持续扩大。东部与其他区域空间分异显著,东西部差距最突出,其基尼系数在研究初期即突破0.4警戒值并持续攀升。东部依托产业链、科创资源与应用场景优势,率先在物流配送、城市交通、旅游观光等领域实现规模化,强化成长势能集聚效应;西部受地形、空域成本与基础设施短板制约发展滞后,东西部"低空鸿沟"逐步固化。同时,



a.东部　　b.中部

c.西部

图3　三大经济带低空经济成长势能核密度图

东部—中部成长势能基尼系数增幅达 22.8%，正快速追平中部—西部差距，区域分化从单一地理梯度差，演变为产业生态、政策创新、应用场景共同主导的综合竞赛。东部已跨越基建初级阶段，在产业质量与创新浓度上拉开与中部的代际差；中部承接转移优势难以匹配新兴赛道的创新要求，追赶滞后；西部依托空域、市场与政策优势，在低空旅游、应急救援、特色物流等细分赛道跨梯度突破。可见，中西部差距是发展阶段的时序差，东中部差距则是产业层级的代际差。

此外，测度期末各经济带高成长势能省域核密度普遍抬升，产业转移与区域竞合推动成长势能梯度扩散。低空经济产业链长、辐射面广，正加速催生一批新的高成长势能区域：东部以深穗为核心形成创新策源与综合应用高地，中部长沙、合肥在工业无人机、航空材料领域快速崛起，西部成都、西安依托科研与空域资源构建细分赛道优势。该多点布局进一步强化了核密度分布所呈现的势能扩散效应，推动低空经济新赛道的区域竞合关系向动态多元方向演进。

(3)经济带差异溯源

根据 Dagum 基尼系数分解显示，低空经济区域成长势能差异主要源于区域间差异(47.78%)、区域内差异(30.55%)和超变密度(21.67%)。从动态演变看，区域间差异贡献率 2010 年达峰后波动下降，后两者则持续上升。尽管区域间差距仍居主导，但区域内差异增速更快，反映资源正向经济带内优势省份聚焦，东部亦不例外。超变密度贡献率上升表明高低势能省份交叉重叠增多，区域内部分化趋显。总体而言，低空经济空间分异正从区域间主导转向区域内差异扩大与跨区重叠并存的格局。

四、中国低空经济成长势能影响因素解构

(一)全国低空经济成长势能影响因素

根据 BP-DEMATEL 模型结果(见表 7)，低空经济成长势能影响因素的高优先度要素在各维度分布较均衡，强驱动因素阈值 $\theta = 2.018$ 表明部分指标对系统发展具有显著驱动效应。

表 7　全国低空经济成长势能影响因素测度结果

输入指标	中心度	原因度	优先度	优先度排序	输入指标	中心度	原因度	优先度	优先度排序
T_{11}	1.796	0.456	1.853	16	O_{21}	1.833	-0.588	1.925	13
T_{12}	1.764	-0.304	1.790	24	O_{22}	1.768	0.326	1.798	23
T_{13}	1.815	0.528	1.890	14	O_{23}	1.782	0.395	1.825	19
T_{14}	1.778	-0.378	1.818	22	O_{24}	2.160	-1.292	2.516	4
T_{15}	2.034	1.065	2.296	6	O_{25}	1.836	-0.597	1.931	12
T_{21}	2.209	1.373	2.601	2	O_{31}	1.753	0.234	1.769	28
T_{22}	2.211	1.377	2.605	1	O_{32}	1.796	-0.455	1.852	17
T_{23}	1.759	-0.277	1.781	25	E_{11}	1.742	-0.128	1.747	30
T_{31}	1.757	-0.261	1.776	27	E_{12}	2.161	-1.293	2.518	3
T_{32}	1.751	0.213	1.763	29	E_{13}	1.997	0.991	2.229	7
T_{33}	1.783	-0.400	1.827	18	E_{21}	1.741	-0.111	1.745	31
O_{11}	1.740	0.083	1.742	32	E_{22}	1.757	-0.261	1.776	26
O_{12}	1.927	-0.839	2.102	8	E_{23}	1.779	0.384	1.820	21
O_{13}	1.806	-0.496	1.873	15	E_{31}	1.867	-0.689	1.990	10
O_{14}	1.890	0.749	2.033	9	E_{32}	2.143	1.264	2.488	5
O_{15}	1.779	-0.385	1.820	20	E_{33}	1.866	-0.685	1.988	11

1. 夯实技术底座：以数字联通和地面承载筑牢低空经济根基

低空经济依赖数字化空域管理与航空物理系统的深度融合，二者协同驱动产业升级。技术层面，T_{22}(2.605)与 T_{21}(2.601)优先度显著，同属原因要素且对其他指标具有强驱动效应，其余技术指标影响较弱。T_{22} 对应长途光缆通信能力，是数字基建的核心载体，支撑“端—边—云”数据交互与多业态融合。T_{21} 反映地面设施承载与飞行保障水平，直接制约低空经济效能释放。通过优化起降点功能、推进通用机场改扩建，可提升空域配置效率，加速低空管制数字化转型。硬设施与软服务协同联动，有助于汇聚多元市场主体、加速企业培育与外资引入，为空域政策创新与基建规划优化提供支撑。

2. 强化组织保障：以专用产能和资本活水助推低空经济跃升

专用设备制造能力与外部资本赋能共同构成成长势能的核心组织支撑，是应对技术转化瓶颈与市场波动的关键基础。O_{24} 和 O_{12} 优先度分别为 2.516 和 2.102，位列第四和第八，但二者原因度均为负值，说明当前表现为结果型特征，尚未形成对产业链的主动带动效应。具体而言，专用设备制造业营业收入直接反映核心硬件的本地供给与集成能力，尽管低空经济发展并非绝对依赖本地制造产能，但本土配套体系的构建能通过产业集聚效应降本增效，而扎实的专用设备制造基础有助

于催生显著的集聚效应与技术溢出,构成产业规模化发展的产能根基;外商投资企业数量折射区域市场开放度与资源配置活力,有利于引进先进技术与管理经验,激活本土竞争创新。未来应推动二者由要素驱动转向协同联动,增强产业链辐射溢出效应,提升低空经济整体效能。

3. 优化环境支撑:以制度保障和需求牵引积蓄低空经济动能

政策赋能与市场驱动共同构筑低空经济双轮驱动格局,形成供给推动与需求拉动协同的系统环境。环境维度中,E_{12}(2.518)和E_{32}(2.488)优先度分列指标体系第三、第五。E_{12}原因度为负,表明对其他要素的辐射带动尚显不足,该指标通过政府投资与政策承诺为低空交通运输体系提供财政支撑与制度保障,涵盖国家规划纳入、地方基建投入及补贴采购等工具。E_{32}原因度为正,呈现对系统的正向驱动效应,重点指向核心应用场景,映射现代物流与城镇出行领域的市场需求及支付能力,是衡量商业化前景的关键变量。

4. 促动要素共振:以核心势能和协同聚力厚植低空经济生态

测算显示,T_{22}、T_{21}、E_{12}、O_{24}、E_{32}、T_{15}六项指标中心度均超阈值,构成低空经济发展的强驱动因素。其成长势能源于五大动能协同,涵盖技术创新驱动、政策资源倾斜、高端制造转化、应用设施支撑及市场需求牵引。具体而言,政策与财政杠杆为研发及基建提供先导支撑,奠定规模化根基;高校院所深化产学研融合,专用设备制造加速关键技术产业化;物流配送与空中交通两大场景拉动需求、孕育新增长点,形成要素投入与市场反馈的正向循环。综上,低空经济呈现系统化、多维度并进格局——以财政政策为引导引擎,以航空网络与通信设施为物理基础,以高端制造为转化枢纽,以市场需求为价值闭环,构建起“政策引导—技术支撑—产业协同—市场牵引”的良性互动生态。

(二)省域低空经济成长势能影响因素

BP-DEMATEL测算结果(见表8)显示,各省驱动因素优先度排序差异显著,表明低空经济发展的核心驱动机制与增长优势各具特点。

1. 实体集聚与知识溢流驱动低空经济能级跃升

在成长势能较高地区,低空经济的增长动能源于坚实的产业基础与持续迭代的创新储备,技术供给主体规模(O_{11})与创新效率(O_{13})是驱动区域发展的关键。在广东、山东、河南、北京等势能突出区域,O_{11}发挥核心驱动作用:高技术产业企业是技术实体化的重要载体,其集聚既保障技术供给充足性,又促进产业链协同与创新要素空间集聚,实现协同研发与规模经济。此类企业能与当地产业基础和应用场景深度融合,如北京依靠此类企业加速智能控制、无人机通信等前沿技术的量产转化。同时,O_{13}在浙江、湖北的势能演进中地位显著,侧重创新主体均质化水平与知识流动效率,高专利密度常伴随活跃的知识溢出网络,利于构建与低空经济深度融合的共享生态。浙江依托“专精特新”集群强化专利布局,为低空经济提供模块化技术支撑,而湖北凭借高校院所优势畅通产学研转化通道,持续为产业注入创新动能。

2. 要素适配与场景驱动塑造低空经济多元路径

低空经济成长势能的释放有赖于结合区域特征明确驱动要素的战略优先级。安全预警(E_{22})与市场需求(E_{32})作为两大核心驱动因素,在各地呈现差异化战略定位。安全预警层面,江苏凭借高密度天气雷达网为空域密集、气象复杂条件下的无人机物流与城市空中交通提供精准保障,四川依托雷达观测防范山区突发气象灾害、支撑低空作业安全运行,两省均以安全能力筑牢发展底座。市场需求层面,湖北以九省通衢区位和快递旅游优势驱动无人机物流与低空文旅落地,浙江借助电商生态拓展末端配送并以较高出行支付意愿培育新型低空出行,山东依托工农业大省禀赋在载人载物场景中释放广阔试验空间。三省均以旺盛需求与商业前景牵引低空经济从概念走向实践。

表 8　省域低空经济影响因素优先度排序

省份	影响因素优先度排序
北京	$O_{11}>T_{12}>O_{22}>O_{15}>T_{23}>O_{25}>E_{33}>E_{21}>E_{12}>E_{11}>O_{31}>E_{23}>T_{21}>T_{22}>O_{14}>E_{31}>O_{23}>O_{12}>T_{15}>T_{11}>O_{24}>O_{32}>E_{22}>O_{13}>E_{13}>T_{13}>O_{21}>T_{33}>T_{14}>E_{32}>T_{31}>T_{32}$
天津	$O_{12}>O_{25}>T_{21}>E_{21}>T_{31}>E_{11}>O_{23}>O_{15}>O_{14}>T_{13}>T_{32}>T_{14}>T_{11}>T_{15}>O_{21}>E_{33}>E_{22}>E_{32}>T_{33}>E_{12}>E_{23}>T_{22}>O_{31}>T_{23}>O_{22}>O_{32}>O_{13}>E_{13}>O_{24}>E_{31}>T_{12}>O_{11}$
河北	$O_{11}>E_{22}>O_{15}>T_{12}>E_{11}>O_{13}>T_{14}>E_{32}>E_{13}>T_{15}>E_{31}>E_{23}>E_{12}>O_{22}>E_{21}>O_{24}>T_{33}>O_{31}>O_{23}>T_{31}>O_{25}>T_{13}>T_{22}>O_{14}>T_{32}>E_{3}>T_{23}>O_{12}>T_{11}>O_{21}>O_{32}>T_{21}$
山西	$E_{12}>O_{2}>O_{11}>O_{22}>E_{22}>E_{33}>O_{31}>T_{21}>T_{23}>O_{32}>T_{33}>E_{23}>T_{14}>E_{32}>O_{23}>O_{14}>O_{12}>E_{13}>T_{11}>O_{21}>T_{15}>T_{31}>O_{13}>E_{11}>T_{32}>T_{22}>E_{21}>T_{12}>T_{13}>O_{24}>O_{15}>E_{31}$
内蒙古	$E_{12}>E_{13}>E_{23}>T_{22}>T_{33}>T_{12}>T_{31}>O_{14}>O_{24}>T_{23}>O_{21}>O_{13}>E_{33}>O_{22}>O_{12}>E_{21}>O_{31}>T_{32}>T_{15}>T_{13}>E_{31}>T_{14}>O_{15}>T_{11}>O_{32}>E_{22}>E_{32}>T_{21}>O_{11}>O_{23}>E_{11}>O_{25}$
辽宁	$O_{15}>T_{14}>O_{14}>T_{12}>O_{13}>O_{25}>E_{31}>O_{12}>O_{22}>E_{21}>T_{22}>O_{24}>O_{32}>T_{13}>T_{31}>E_{33}>O_{21}>T_{11}>T_{32}>T_{21}>O_{31}>E_{22}>O_{11}>T_{23}>T_{33}>E_{13}>T_{15}>O_{23}>E_{12}>E_{11}>E_{32}>E_{23}$
吉林	$O_{24}>E_{32}>E_{23}>O_{15}>O_{31}>T_{32}>T_{15}>E_{22}>T_{31}>O_{13}>O_{11}>T_{22}>O_{23}>O_{12}>E_{21}>E_{12}>T_{33}>E_{13}>E_{33}>T_{14}>O_{21}>O_{32}>O_{14}>E_{31}>O_{22}>O_{25}>T_{12}>T_{23}>T_{21}>T_{13}>E_{11}>T_{11}$
黑龙江	$O_{11}>E_{12}>T_{32}>T_{31}>T_{23}>O_{14}>T_{22}>T_{11}>T_{12}>O_{23}>T_{33}>E_{31}>O_{21}>E_{11}>E_{22}>E_{13}>O_{12}>T_{13}>O_{24}>E_{23}>O_{25}>T_{15}>O_{31}>T_{21}>E_{33}>E_{21}>O_{22}>T_{14}>O_{15}>O_{32}>O_{13}>E_{32}$
上海	$T_{33}>E_{23}>O_{14}>O_{12}>T_{13}>O_{32}>E_{32}>E_{12}>T_{11}>E_{22}>O_{31}>E_{33}>T_{32}>E_{11}>O_{23}>T_{15}>T_{21}>E_{13}>T_{14}>T_{22}>O_{11}>O_{25}>O_{24}>E_{21}>O_{13}>T_{12}>O_{15}>O_{22}>T_{31}>O_{21}>E_{31}>T_{23}$
江苏	$O_{15}>T_{31}>E_{22}>O_{22}>E_{23}>T_{21}>T_{15}>O_{32}>E_{11}>O_{24}>E_{32}>E_{13}>T_{14}>T_{32}>O_{31}>O_{25}>O_{14}>E_{21}>O_{12}>E_{31}>T_{13}>O_{11}>T_{12}>E_{12}>E_{33}>T_{11}>O_{13}>O_{21}>T_{23}>T_{22}>T_{33}>O_{23}$
浙江	$O_{13}>E_{32}>T_{32}>O_{32}>E_{21}>T_{33}>O_{14}>E_{13}>T_{22}>E_{23}>O_{31}>E_{33}>T_{14}>O_{11}>T_{11}>O_{21}>E_{12}>O_{23}>O_{12}>T_{31}>E_{22}>E_{31}>T_{21}>T_{23}>T_{13}>O_{22}>T_{15}>O_{25}>O_{15}>T_{12}>O_{24}>E_{11}$
安徽	$O_{15}>T_{31}>E_{23}>E_{22}>T_{21}>E_{11}>T_{15}>O_{24}>E_{32}>O_{11}>E_{13}>O_{14}>O_{32}>T_{14}>O_{22}>O_{25}>O_{12}>O_{31}>T_{13}>O_{21}>T_{11}>E_{21}>T_{32}>E_{12}>T_{22}>T_{23}>T_{12}>O_{23}>T_{33}>E_{31}>E_{33}>O_{13}$
福建	$E_{31}>O_{25}>T_{33}>T_{21}>E_{33}>E_{21}>O_{15}>E_{32}>O_{32}>T_{31}>O_{11}>E_{22}>E_{12}>T_{32}>T_{22}>E_{23}>O_{21}>O_{12}>E_{13}>O_{22}>O_{23}>T_{15}>T_{14}>T_{13}>T_{11}>O_{14}>T_{12}>O_{24}>O_{13}>E_{11}>T_{23}>O_{31}$
江西	$T_{33}>O_{31}>O_{22}>O_{13}>E_{32}>T_{21}>T_{23}>E_{31}>E_{21}>O_{21}>O_{24}>E_{11}>T_{32}>E_{12}>E_{23}>O_{15}>E_{33}>T_{22}>T_{11}>T_{14}>O_{25}>O_{12}>E_{22}>E_{13}>T_{12}>T_{15}>O_{11}>O_{23}>T_{13}>T_{31}>O_{32}>O_{14}$
山东	$T_{33}>T_{22}>T_{11}>E_{32}>O_{11}>E_{31}>O_{14}>E_{33}>E_{13}>T_{23}>O_{23}>O_{24}>E_{21}>O_{22}>O_{13}>O_{32}>T_{12}>O_{21}>O_{31}>T_{32}>O_{12}>E_{22}>E_{12}>O_{25}>O_{15}>T_{31}>T_{14}>T_{13}>T_{15}>E_{11}>E_{23}>T_{21}$
河南	$T_{22}>O_{11}>O_{24}>E_{12}>O_{12}>O_{15}>E_{22}>E_{11}>T_{14}>E_{21}>T_{33}>T_{23}>O_{21}>E_{13}>T_{32}>T_{13}>O_{14}>E_{31}>O_{13}>T_{21}>E_{33}>O_{31}>O_{32}>E_{32}>T_{15}>E_{23}>O_{25}>O_{22}>T_{31}>O_{23}>T_{12}>T_{11}$
湖北	$O_{13}>O_{31}>E_{32}>T_{32}>O_{22}>E_{21}>O_{24}>E_{31}>E_{23}>E_{12}>T_{22}>T_{33}>O_{21}>T_{15}>O_{15}>T_{21}>O_{23}>O_{12}>O_{14}>E_{11}>E_{13}>O_{11}>O_{25}>T_{31}>E_{22}>O_{32}>E_{33}>T_{14}>T_{23}>T_{11}>T_{12}>T_{13}$
湖南	$O_{25}>O_{21}>E_{31}>T_{33}>O_{23}>E_{32}>E_{23}>E_{33}>O_{24}>O_{11}>T_{21}>O_{31}>T_{12}>T_{22}>E_{21}>T_{11}>T_{14}>T_{31}>O_{14}>O_{32}>O_{15}>T_{23}>O_{22}>O_{13}>E_{11}>T_{32}>E_{13}>T_{13}>E_{22}>E_{12}>O_{12}>T_{15}$
广东	$T_{22}>O_{12}>O_{14}>O_{11}>E_{11}>O_{24}>E_{12}>T_{33}>T_{21}>O_{15}>E_{13}>T_{32}>T_{23}>O_{21}>E_{31}>T_{14}>T_{13}>O_{13}>O_{23}>O_{25}>E_{21}>O_{31}>E_{22}>E_{23}>T_{31}>T_{12}>E_{33}>E_{32}>O_{32}>T_{15}>T_{11}>O_{22}$
广西	$T_{12}>E_{33}>E_{32}>E_{11}>T_{15}>E_{12}>O_{24}>T_{21}>O_{15}>O_{31}>E_{21}>O_{11}>T_{31}>T_{22}>T_{23}>O_{32}>O_{12}>T_{33}>O_{22}>E_{31}>T_{14}>E_{13}>O_{14}>O_{21}>O_{25}>T_{11}>T_{13}>E_{23}>E_{22}>O_{13}>T_{32}>O_{23}$
海南	$O_{31}>O_{15}>O_{23}>O_{32}>T_{14}>T_{33}>O_{13}>E_{32}>O_{14}>O_{11}>E_{23}>T_{11}>T_{12}>T_{21}>E_{21}>T_{31}>E_{11}>T_{15}>O_{25}>T_{23}>E_{33}>E_{13}>E_{31}>O_{24}>E_{22}>T_{32}>T_{22}>O_{12}>T_{13}>E_{12}>O_{22}>O_{21}$
重庆	$T_{31}>T_{33}>O_{23}>T_{13}>T_{14}>E_{22}>T_{11}>E_{32}>O_{22}>E_{33}>T_{15}>O_{13}>E_{31}>T_{32}>T_{22}>E_{23}>T_{23}>O_{14}>O_{25}>O_{32}>O_{24}>E_{11}>T_{12}>O_{12}>O_{15}>O_{31}>O_{21}>E_{21}>O_{11}>T_{21}>E_{12}>E_{13}$
四川	$E_{22}>T_{33}>O_{23}>T_{32}>O_{32}>E_{21}>O_{15}>E_{33}>E_{12}>O_{31}>O_{13}>T_{23}>T_{12}>O_{25}>O_{12}>E_{11}>T_{15}>O_{14}>E_{32}>T_{13}>T_{22}>T_{21}>E_{31}>O_{21}>E_{13}>T_{11}>O_{24}>O_{22}>T_{31}>O_{11}>E_{23}>T_{14}$
贵州	$T_{23}>T_{15}>E_{31}>O_{32}>E_{21}>E_{23}>T_{22}>E_{13}>O_{31}>T_{11}>T_{32}>O_{13}>T_{21}>O_{21}>E_{11}>O_{11}>T_{33}>O_{24}>E_{33}>E_{12}>O_{15}>E_{22}>T_{13}>O_{23}>T_{31}>T_{12}>O_{25}>O_{14}>E_{32}>O_{22}>O_{12}>T_{14}$
云南	$O_{22}>O_{14}>T_{13}>T_{14}>E_{22}>E_{23}>O_{23}>T_{21}>E_{11}>O_{15}>E_{13}>E_{32}>O_{12}>O_{21}>E_{33}>T_{12}>O_{31}>T_{23}>O_{11}>O_{25}>T_{22}>E_{12}>T_{32}>E_{21}>T_{33}>T_{15}>E_{31}>T_{31}>O_{13}>O_{32}>O_{24}>T_{11}$
陕西	$O_{11}>O_{23}>E_{13}>T_{31}>T_{32}>O_{22}>E_{31}>O_{14}>T_{12}>E_{32}>O_{32}>T_{33}>T_{23}>T_{21}>E_{12}>E_{21}>T_{22}>E_{33}>O_{12}>E_{23}>E_{22}>T_{13}>T_{11}>O_{31}>T_{15}>O_{21}>T_{14}>O_{15}>O_{24}>O_{25}>O_{13}>E_{11}$
甘肃	$O_{11}>T_{31}>O_{31}>O_{15}>O_{25}>E_{12}>O_{24}>O_{23}>O_{22}>T_{12}>E_{33}>E_{21}>T_{21}>T_{33}>E_{32}>T_{15}>O_{32}>E_{23}>T_{13}>O_{12}>O_{21}>E_{22}>T_{32}>O_{13}>T_{14}>T_{23}>O_{14}>E_{31}>T_{11}>T_{22}>E_{13}>E_{11}$
青海	$O_{23}>O_{25}>E_{22}>E_{31}>O_{31}>T_{13}>T_{32}>E_{21}>O_{24}>T_{15}>T_{31}>O_{22}>E_{32}>E_{13}>E_{11}>O_{15}>T_{23}>T_{21}>E_{23}>T_{33}>T_{11}>E_{33}>T_{12}>E_{12}>O_{21}>O_{32}>T_{22}>O_{12}>T_{14}>O_{11}>O_{14}>O_{13}$
宁夏	$T_{15}>O_{32}>O_{31}>O_{15}>T_{21}>T_{11}>E_{13}>O_{21}>O_{12}>E_{32}>E_{12}>T_{33}>T_{22}>O_{24}>T_{23}>T_{32}>E_{21}>E_{33}>T_{31}>T_{14}>O_{23}>O_{11}>O_{14}>O_{22}>T_{13}>T_{12}>E_{31}>E_{22}>E_{23}>O_{25}>O_{13}>E_{11}$
新疆	$E_{13}>O_{25}>E_{11}>E_{12}>T_{22}>E_{31}>E_{22}>O_{31}>T_{21}>T_{23}>O_{12}>E_{23}>E_{32}>O_{15}>O_{11}>T_{11}>T_{32}>T_{13}>T_{12}>O_{14}>E_{21}>E_{33}>T_{33}>O_{13}>T_{31}>O_{24}>O_{32}>T_{14}>O_{22}>O_{21}>T_{15}>O_{23}$

3. 驱动要素协同差异引致区域成长势能分异

各省域驱动要素中心阈值测算结果(见表9)表明,超阈值强驱动因素呈显著空间异质性,映射出差异化发展模式与制约瓶颈。广东、江苏等高成长势能地区全维度强驱动要素齐备,形成“技术支撑—组织承接—环境保障”的协同生态;产业根基深厚(如深圳无人机产值占全国近半,核心零部件至整机制造链完整),创新融合能力突出,叠加政策与安全保障,构筑良性发展闭环。北京、浙江、四川等次高势能地区则存在某一驱动要素缺位的结构性失衡,如北京因城市功能定位致空域管控趋严、环境驱动偏弱,四川受内陆区位制约致产业集聚与外资动能不足。而成长势能薄弱地区共性问题突出:或多维度驱动因素缺失引发木桶效应,系统瓶颈难以通过单点突破弥补;或维度虽全但要素协同乏力、动能转化低效,制约整体势能跃升。

表9　省域低空经济成长势能强驱动因素

省份	θ 阈值	强驱动因素
北京	4.765	O_{11}(5.400)、T_{12}(4.865)
天津	2.858	O_{12}(3.143)、O_{25}(3.117)、T_{21}(2.995)、E_{21}(2.930)
河北	4.071	O_{11}(5.027)、E_{22}(4.362)
山西	3.214	E_{12}(3.630)、O_{25}(3.397)、O_{11}(3.296)、O_{22}(3.267)
内蒙古	4.508	E_{12}(4.722)、E_{13}(4.590)、E_{23}(4.585)、T_{22}(4.578)
辽宁	3.683	O_{15}(3.884)、T_{14}(3.816)、O_{14}(3.785)、T_{12}(3.774)、O_{13}(3.697)
吉林	3.838	O_{24}(4.012)、E_{32}(4.000)、E_{23}(3.897)、O_{15}(3.854)
黑龙江	4.913	O_{11}(5.105)、E_{12}(5.015)、T_{32}(5.012)、T_{31}(4.950)
上海	5.904	T_{33}(6.208)、E_{23}(6.080)、O_{14}(5.965)、O_{12}(5.956)
江苏	3.561	O_{15}(3.860)、T_{31}(3.671)、E_{22}(3.647)、O_{22}(3.584)、E_{23}(3.568)
浙江	4.138	O_{13}(4.661)、E_{32}(4.460)
安徽	3.284	O_{15}(3.463)、T_{31}(3.452)、E_{23}(3.339)、E_{22}(3.320)、T_{21}(3.286)
福建	5.253	E_{31}(5.540)、O_{31}(5.483)、O_{25}(5.348)、T_{33}(5.337)、T_{21}(5.255)
江西	5.029	T_{33}(5.528)、O_{22}(5.346)、O_{13}(5.147)
山东	4.296	T_{33}(6.391)
河南	4.436	T_{22}(4.639)、O_{11}(4.532)、O_{24}(4.503)、E_{12}(4.492)、O_{12}(4.440)
湖北	4.449	O_{13}(4.774)、O_{31}(4.554)、E_{32}(4.545)、T_{32}(4.481)
湖南	4.228	O_{25}(4.466)、O_{21}(4.377)、E_{31}(4.293)、T_{33}(4.276)、O_{23}(4.253)、E_{32}(4.234)
广东	4.197	T_{22}(4.517)、O_{12}(4.278)、O_{14}(4.259)、O_{11}(4.244)、E_{11}(4.225)、O_{24}(4.209)
广西	2.684	T_{12}(2.977)、E_{33}(2.724)
海南	3.341	O_{31}(4.381)、O_{15}(3.356)
重庆	4.449	T_{31}(5.152)、T_{33}(4.813)、O_{23}(4.718)
四川	4.828	E_{22}(5.516)、T_{33}(4.958)
贵州	3.036	T_{23}(3.284)、T_{15}(3.194)、E_{31}(3.156)、O_{32}(3.078)、E_{21}(3.060)
云南	4.143	O_{22}(4.436)、O_{14}(4.247)、T_{13}(4.171)、T_{14}(4.169)、E_{22}(4.159)、E_{23}(4.157)
陕西	4.722	O_{11}(5.143)、O_{23}(4.765)、E_{13}(4.733)
甘肃	3.960	O_{11}(4.141)、T_{31}(4.047)、O_{31}(4.026)、O_{15}(4.025)、O_{25}(3.989)、E_{12}(3.982)、O_{24}(3.982)、O_{23}(3.970)
青海	4.199	O_{23}(4.910)、O_{25}(4.591)
宁夏	3.551	T_{15}(3.862)、O_{32}(3.765)、O_{31}(3.629)、O_{15}(3.613)、T_{21}(3.611)
新疆	6.141	E_{13}(6.525)、O_{25}(6.455)、E_{11}(6.228)

五、结论与建议

(一)研究结论

自中央推出系列低空经济政策以来,我国低空经济产业范畴不断拓展,应用场景持续丰富,治理体系逐步完善。随着各省立足资源禀赋因地施策,低空经济发展势能逐渐梯度分化。基于TOE框架构建评价指标体系,测度了2010—2022年全国30个省份及三大经济带的低空经济成长势能,从时空维度揭示其聚类格局与空间关联,并以Dagum基尼系数解析区域差异及成因;继而运用BP-DEMATEL甄别全国及各省域的关键驱动因素,识别低空经济成长核心动力。主要结论如下:

第一,全国低空经济成长势能持续增强且总体呈现东高西低与多中心化空间格局,并伴随梯度分化与集聚演进。2010年以来,在技术迭代、组织协同与环境保障协同驱动下,全国低空经济质效与势能显著提升,在广东、江苏及四川等地形成多个增长极。基于TOE框架,省域低空经济已形成标杆引领、攻坚突破、蓄势孕育三级梯度,流动竞争与梯度固化、动态重构与静态分层交织并存。空间上,高势能区域辐射效应增强,高—高与低—低集聚省份持续扩容,折射出低空经济在区域发展中极化与扩散效应并存的结构性张力。

第二,我国三大经济带之间以及各经济带内部的成长势能差异持续扩大,区域分异的动力机制更趋复杂。整体来看,三大经济带区域内外差异均波动上升,其中东部优势显著,东部—西部差异尤为突出,空间分异在区域内和区域间双轨并行、同步深化。动力结构上,区域间差异仍为总体

差异主因但贡献率渐降，区域内差异与超变密度作用持续增强。这表明全国低空经济格局首先受地理要素驱动，形成东—中—西逐级递减的梯度特征，并在 TOE 多维要素作用下省域间差异日益凸显，呈现“区域间板块梯度主导、区域内省际差异强化”的结构性演进。

第三，全国及各省低空经济成长动能和主导因素各异，形成多元化发展模式，并普遍面临要素短板与协同梗阻等挑战。研究发现，优先度越高的因素对低空经济成长影响越大，全国层面关键因素在 TOE 三维度分布均衡，技术要素始终是核心驱动力。各省关键因素与强驱动因素各有侧重，体现了各地依托差异化优势资源衍生的多元产业路径。然而，部分省域仍存在要素缺位、效能不足及多维协同低效等问题，制约了低空经济发展潜能的有效释放。

（二）政策建议

1. 立足势能差异构建发展共同体，畅通要素流动激活区域全格局

针对我国低空经济区域成长势能差异显著、梯队分化突出问题，应着力构建区域一体化低空产业生态，促进要素跨域流通与优势互补。鼓励广东、江苏等高势能省份依托创新外溢效应，推动长三角、珠三角等区域集群协同发展，通过组建跨区域联合体输出技术、场景与管理经验，建立先飞带后飞结对帮扶机制。立足各地资源禀赋与基建基础差异，畅通技术人才、数据信息、资本政策等全要素流动通道，破解低势能地区“无人可用、无据可依、无资可投”发展瓶颈。以此构建一体化发展格局、共享低空经济红利，既激活薄弱区域内生动力，又拓展领先地区市场纵深，形成优势互补、联动共享的低空经济发展新格局。

2. 区分成长能级实施精准赋能策略，优化系统协同提升要素总动能

我国各省低空经济发展有赖于多维要素的系统协同与整体效能释放，须因地施策、分类推进：广东、江苏等高成长势能地区应从要素齐备迈向系统最优，组建产学研创新联合体攻克核心技术以强化技术—组织协同，政府开放空域、搭建场景促进技术落地以实现技术—环境协同，并依托行业协会制定标准将实践转化为规则优势达成组织—环境协同；中低成长势能地区应聚焦短板精准补强，加速科技成果转化，培育多元市场主体，引进高端制造企业，并强化顶层设计与场景创新以优化产业生态；要素齐备但动能不足地区应着力提质增效，培育区域链主企业，推动产业环境优化升级，全面激活要素动能以构建核心竞争力。

3. 引导因地制宜布局特色产业赛道，推动错位发展塑造竞争新优势

低空经济蓬勃发展之际须警惕低端同质化与重复建设风险，各地当立足资源禀赋、地理特征及产业基础科学定位，走特色差异化发展之路。标杆引领区应聚力建设低空经济创新策源地与综合发展高地，配套先行先试的顶层激励政策，辐射引领全国。攻坚突破区宜聚焦特定领域率先示范——浙江依托电商物流优势培育高端制造，构建低空经济融合发展示范区；四川凭借航空产业底蕴发力精密仪器，打造高端研发制造高地。蓄势孕育区则应锚定“小而精”细分赛道精准发力——东北地区推动“无人机 + 智慧农业”，山西、内蒙古推进“智慧矿业”应用，云贵地区依托生态资源开辟“低空文旅”新业态。通过政策引导形成优势互补、错位协同的产业格局，有效释放各地低空经济潜力，避免低水平同质内卷。

（三）研究展望

低空经济培育是一项复杂的系统工程，本文所构建的成长势能评价体系仅初步搭建了指标体系与模型框架。随着低空经济专项统计制度逐步健全、多源数据持续积累，后续研究将在指标层面跟踪国家相关部委关于低空经济专项统计制度与权威核算口径的发布进展，据此对指标体系进行动态调整，逐步纳入与低空经济直接相关的专项指标，以增强测度的直接性与精确度。同时，考虑到低空经济的发展空间在很大程度上受政策松紧程度约束，后续研究拟借助文本挖掘方法对各地低空经济

政策进行结构化解析,将政策变量系统纳入成长势能的实证分析框架,比较政策先行地区与限飞严格地区在势能积累与转化路径上的差异,进而揭示制度环境作用于低空经济发展的内在机制。

参考文献:

[1]欧阳桃花,郑舒文. 基于共同演化的低空经济产业生态策略研究:以"低空航空器+"为例[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版),2024,37(5):109-119.

[2]张壹帆,陆岷峰. 首发经济与低空经济:协同创新视角下科技金融支持路径[J]. 创新科技,2025,25(7):16-25.

[3]HUANG C Q, FANG S F, WU H, et al. Low-altitude intelligent transportation: system architecture, infrastructure, and key technologies[J]. Journal of industrial information integration, 2024, 42: 100694.

[4]ADAMIDIS F, DITTA C C, WU Hao, et al. Urban air mobility for airport access: mode choice preferences and pricing considerations[J]. Transport policy, 2025, 171: 1025-1040.

[5]李晓华. 政府引导、产业生态构建与低空经济发展[J]. 改革,2025(2):21-35.

[6]沈映春,赵雨涵,周昕怡. 低空经济现代化产业体系建设的逻辑框架与战略路径[J]. 江苏社会科学,2025(2):104-112,242-243.

[7]洪群联. 低空服务业的概念特征、发展条件与推进对策[J]. 经济纵横,2024(8):45-52.

[8]欧阳日辉. 低空经济助推新质生产力的运行机理与路径选择[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2025,46(1):118-131.

[9]周钰哲. 低空经济发展的理论逻辑、要素分析与实现路径[J]. 东南学术,2024(4):87-97.

[10]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): 24-32.

[11]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.

[12]TAN H J, GUO Z L, YAN J Y, et al. Advancing low-carbon smart cities: leveraging UAVs-enabled low-altitude economy principles and innovations[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2025, 222: 115942.

[13]沈映春."低空+文旅"打造文化消费新增长点[J]. 人民论坛,2025(9):92-97.

[14]庄苗. 人工智能赋能低空经济:应用场景与未来方向[J]. 人民论坛·学术前沿,2024(15):38-44.

[15]钟成林,胡雪萍. 低空经济应用场景孵化:实现进路、瓶颈障碍与纾解对策[J]. 苏州大学学报(哲学社会科学版),2025,46(4):121-133.

[16]杜德林,谭文蔚,王姣娥,等. 中国低空经济政策演进及区域差异[J]. 资源科学,2025,47(8):1651-1662.

[17]高志宏. 低空经济空域管理法治建设[J]. 中国法律评论,2025(4):184-195.

[18]王庆. 低空经济发展:新兴安全风险与敏捷治理[J]. 科学学研究, 2025, 43(8): 1569-1578.

[19]张勤,朱登轩. 低空经济安全风险与治理的实践向度研究:基于技术风险衍生的动态分析[J]. 城市发展研究,2025,32(6):1-8.

[20]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(8):63-70.

[21]廖小罕,徐晨晨,叶虎平. 低空经济发展与低空路网基础设施建设的效益和挑战[J]. 中国科学院院刊,2024,39(11):1966-1981.

[22]岳立,于新媛,潘均柏. 大科学装置集聚能使低空经济技术量质齐升吗[J]. 科学学研究, 2025, 43(11): 2283-2299.

[23]冯瑜满,马丽,金凤君,等. 珠三角城市群低空经济制造业时空关联模式及其影响因素[J]. 资源科学,2025,47(8):1758-1771.

[24]王姣娥,杜德林,陈卓,等. 中国低空经济发展指数评估与未来展望[J]. 中国科学院院刊, 2025, 40(10): 1867-1877.

[25]龙小凤,胡书昊,廖霭榛,等. 中国低空经济创新网络的空间演化特征与影响因素[J]. 经济地理,2026,46(3):12-23.

[26]史峰,龚云斌,赖文军,等. 税惠赋能低空经济高质量发展的实施路径研究:基于江西省282家低空经济重点企业的调查[J]. 税务研究,2025(5):85-89.

[27]单伟,谢文彬,孙一中,等. 低空经济企业突破式创新与高质量发展[J]. 科学学研究,2026,44(6): 1154-1168.

[28]曹琨,吴新年,白光祖,等. 基于专利文献的"卡脖子"技术识别研究:以数控机床领域为例[J]. 图书情报工作,2023,67(19):80-91.

[29]崔海涛,李玲娟. 基于Jaccard和LPA的社团划分算法[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版),2019,39(6):79-85.