低空经济

低空经济与新质生产力协同发展的时空演化研究

魏玺璐[1]，孙 滢[1,2]，高岳林[1,2]

（1. 北方民族大学数学与信息科学学院，银川 750021；2. 宁夏科学计算与智能信息处理协同创新中心，银川 750021）

摘要：为了揭示新质生产力与低空经济之间的相互作用关系，构建了相应的测度指标体系，采用熵权TOPSIS模型、耦合协调度模型、核密度估计和空间自相关分析探讨两者的动态演化与空间效应，并使用机器学习算法识别对二者协同发展影响较大的指标因子。研究结果表明，近年来新质生产力整体呈上升趋势，但区域差异显著，低空经济发展水平在区域层面存在显著不均衡特征；且二者耦合协调度整体偏低，多数省份处于轻度或中度失调阶段；二者协同发展具有显著空间相关性；政策及社会关注度、劳动力、创新环境、低空企业数量等因素对二者协同发展具有显著促进作用。据此提出在国家层面强化顶层设计和空域改革，在区域层面推动差异化发展路径，在产业层面加快关键技术突破与基础设施建设，并在政策层面建立多元支持机制等政策建议。

关键词：低空经济；新质生产力；耦合协调度；莫兰指数；XGBoost

中图分类号：F124 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)10－0001－14

随着科技的迅速发展，低空经济作为当代新兴产业，正在迅速成为国内经济乃至世界经济的重要组成部分。“十五五”规划提出加快低空经济等战略性新兴产业集群发展，强调其在推动经济高质量发展中的关键作用[1]。2024年“低空经济”首次被写入《政府工作报告》，明确将其作为新兴产业和未来产业的新增长引擎[2]。低空经济不仅是技术创新的产物，更是推动社会经济发展的新兴力量。通过在低空航空物流、智慧农业、城市空中出行等多种场景的应用，促进社会各行业的深度融合与协同发展[3]。低空经济是为解决通用航空发展问题而提出的术语，其形成源于对低空空域资源科学配置及管理改革问题的深度反思[4]。从战略定位角度，低空经济是依托1 000 m以下（部分场景延伸至3 000 m）的低空空域资源[5]。然而，低空经济并非仅限于无人机或通用航空两个领域。周钰哲[6]认为将低空经济界定为通用航空和无人机这两个单一领域的观点存在明显的局限性。低空经济的内涵更加丰富，包含低空制造、低空飞行、低空保障、综合服务四大领域，应用场景也日益广泛。低空经济的核心在于其能够有效推动先进生产力的转型升级，助力其实现数字化、智能化转型，提升资源配置效率，从而催生低空物流、载人出行等新业态新模式，既创造了大量高质量就业岗位，也为新技术应用提供广阔市场空间，成为产业体系重构和经济高质量发展的重要动力[7]。尽管国内低空经济正在蓬勃发展，但仍面临基础设施建设滞后、政策体系不健全等问题，这些问题直接制约产业潜力的释放[1]。因此，妥善破解上述问题成为低空经济迈向高质量发展的关键。以新质生产力发展为引领，系统性破除发展壁垒，是推动低空经济实现质的有效提升和量的合理增长的核心路径。

新质生产力这一概念被“十五五”规划着重强调，彰显了国家把握新科技革命机遇、掌握发展主动权、诠释国际竞争新优势的坚定决心[8]。新质生产力代表社会生产力在新时代背景下的创新性跃升，标志高科技、高效能、高质量的生产力特征，符合新发展理念，是先进生产力的重要体现[9]。与传统的经济增长方式不同，新质生产力强调创新驱动和结构转型，突破了过去依赖资源密集型和劳动密集型的生产模式，体现了信息化、智能化和绿色发展等现代科技手段的广泛应用。新质生产力通过

收稿日期：2026-01-19

基金项目：宁夏回族自治区自然科学基金(2024AAC03173)；北方民族大学研究生创新项目(CYX25150)

作者简介：魏玺璐(1999—)，女，陕西西安人，硕士研究生，研究方向为大数据分析与金融统计；通信作者孙滢(1982—)，女，吉林吉林人，博士，副教授，硕士研究生导师，研究方向为智能计算、金融优化与金融计算；高岳林(1963—)，男，陕西榆林人，博士，教授，博士研究生导师，研究方向为最优化与人工智能、大数据分析与经济社会统计。

技术创新、大数据驱动、人工智能赋能及专业人才培养等因素，不仅赋能低空经济的高效发展，也为突破产业发展瓶颈提供新的思路。低空经济与新质生产力共同推动经济转型和社会发展的新进程[10]。

关于新质生产力的研究目前已取得诸多进展，尤其是在其理论框架、构成要素和水平测度等方面取得了初步成果[8,11-12]。新质生产力被认为是衡量经济体系效率与发展潜力的重要指标。尽管现有研究为分析新质生产力提供了重要基础，但如何将这些要素与单一经济体相结合存在一定的局限性，缺乏针对性。此外，随着数字化和绿色发展环境的逐步深入，全民数智化及绿色发展也应作为评价新质生产力的重要维度，但目前有关这一方面的研究相对较少。与此同时，少数学者对低空经济的水平测度和各省域发展状况进行了相关分析，刘松林等[13]提出低空经济的基本构成包括“一大资源——低空空域”“三大核心产业——运输、作业和低空基础设施”，并从技术创新、基础设施、产业规模、市场需求、经济环境5个维度构建指标体系；施雄天等[14]从产业发展方向、区域发展方向、社会环境发展方向进行测度，为后续研究提供了重要启示。但国内在低空经济发展水平评价指标体系方面的研究仍显不足。

当前，一些学者开始深入研究新质生产力与其他经济形态或行业发展的联合关系。就低空经济与新质生产力的关系而言，低空经济蕴含巨大的投资价值与经济增长潜力，能够为新质生产力提供广阔的发展空间。它不仅为新产品和新业态的落地创造条件，也是推动现代化产业体系建设的“新引擎”[15]。新质生产力能够将现代尖端科技与传统实体经济深度融合，从而培育产业新业态和新模式，推动战略性新兴产业与未来产业的壮大[16]。通过新质生产力的发展，能够推动低空经济的蓬勃发展，而低空经济的健康发展也为新质生产力生态构建提供有力支撑。然而，现有研究对二者协同效应的探讨尚缺乏系统性的理论分析和实证支持。基于这一背景，本文从新质生产力与低空经济的耦合协调视角，分别构建新质生产力与低空经济的评价指标体系，并通过综合分析新质生产力与低空经济的动态关系，揭示二者之间的互动联系及其复杂的耦合协调机制。为理解二者如何实现协调发展提供新思路，并为低空经济的政策制定与产业发展提供理论支持。

1 研究设计

1.1 指标体系构建与数据来源

新质生产力指标体系旨在从系统性和可衡量性两个维度全面刻画在新发展阶段推动经济转型升级的核心动力。构建过程遵循“以科技创新为关键驱动力、以生产要素为主要载体、以产业发展为重要特征”的逻辑主线，在体系设计上强调结构完整性、指标可量化性以及与现实政策导向的高度契合。首先，体系从科技创新切入，将其拆分为创新环境、创新投入和创新产出三个层级。创新环境旨在反映创新活动的制度供给；创新投入体现创新资源投入强度；创新产出指标用于衡量创新活动的实际转化效率。这样的设计逻辑体现了“创新链—价值链—产业链”贯通的理念。其次，将劳动力和数智化建设纳入关键维度。数智化指标聚焦信息基础设施建设和数字要素渗透程度，意在反映生产方式智能化转型的基础支撑；劳动力要素指标强调人才是新质生产力的核心要素，体现新质生产力“以人才是第一资源”的根本特征。最后，在产业发展部分，融入新质产业发展及绿色发展环境，新质产业发展指标聚焦战略性新兴产业与高技术产业的发展规模、质量与效益，体现产业结构向高端化、智能化方向演进；绿色发展环境则代表资源能源效率。该指标体系的构建遵循了逻辑闭环：创新驱动-生产要素投入升级-产业结构优化，从而形成新质生产力的系统性测度框架。如表1所示。

低空经济发展水平指标体系旨在综合衡量低空经济在国内的发展潜力与实际进展，揭示低空经济产业链、市场需求及政策支持等多维度的关键要素，形成一个能够科学评估低空经济发展的系统化框架。该指标体系的构建思路聚焦“产业发展-市场需求-政策支持”三个方面，既关注低空经济的基础设施和产业结构，也重视技术进步与社会需求的相互促进，同时结合政策环境的支持，全面呈现低空经济发展的多维度特征。首先，产业发展维度重点关注低空产业相关企业数量和行业就业人数两个核心指标。企业数量指标反映低空经济产业的规模、活跃度以及市场渗透程度；就业人数体现了低空经济对劳动力市场的影响，能够揭示低空经济产业的就业贡献以及行业发展对人才需求的推动作用。其次，在市场需求方面，指标体系聚焦于交通、物流、农业等领域的需求情况。此外，政策支持是低空经济发展的重要保障。体系中基础设施建设指标从侧面展示了政策对低空经济的支撑作用。

表 1　中国新质生产力发展水平指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	属性	数据来源
科技创新	创新环境	科学技术财政支出	亿元	+	国家统计局
		财政教育支出	亿元	+	国家统计局
		第一产业发展增加值	亿元	+	国家统计局
		第二产业发展增加值	亿元	+	国家统计局
		第三产业发展增加值	亿元	+	国家统计局
		规模以上工业企业 R&D 经费	万元	+	国家统计局
	创新投入	高等学校 R&D 经费支出	万元	+	《中国科技统计年鉴》
		产业金融协同(银行业金融机构贷款余额占 GDP 比例)	%	+	《中国金融年鉴》
		产业创新协同(规模以上工业企业 R&D 外部支出占 GDP 比例)	%	+	《中国科技统计年鉴》
		技术市场成交额	亿元	+	国家统计局
	创新产出	高等学校科技产出	篇	+	《中国科技统计年鉴》
		专利申请数量(包括发明专利、实用新型专利、外观设计数量)	件	+	《中国科技统计年鉴》
		高等学校有效发明专利	件	+	《中国科技统计年鉴》
		规模以上工业企业有效发明专利数	件	+	国家统计局
		产学研合作专利数量	件	+	《工业技术经济》
		产学研合作次数	次	+	《工业技术经济》
生产要素	劳动力	人均受教育年限	年	+	《中国统计年鉴》
		本科及以上学历在校人数	万人	+	国家统计局
		高等教育人数比例数	%	+	《中国统计年鉴》
		科学研究和技术服务业从业人员	万人	+	《中国劳动统计年鉴》
		第三产业人数占比	%	+	《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》
		R&D 人员全时当量	人年	+	国家统计局
	数智化建设	每万人单位面积长途光缆线路长度	km/万人	+	EPS 数据库
		互联网普及率	%	+	EPS 数据库
		每百人使用计算机台数	台/百人	+	EPS 数据库
		每万人互联网宽带接入端口数	端口/万人	+	EPS 数据库
产业发展	新质产业发展	战略性新兴产业产值	千元	+	《中国火炬统计年鉴》
		高新技术企业成立数量	家	+	《工业技术经济》
		高新技术企业工业总产值	千元	+	《工业技术经济》
		企业信息化水平(电子商务交易活动企业数/企业总数)	%	+	国家统计局
		高技术产业主营业务收入	亿元	+	《工业技术经济》
		高技术产业利润总额	亿元	+	《工业技术经济》
	绿色发展环境	单位地区生产总值能耗比	万吨标准煤/万元	−	EPS 数据库
		单位工业增加值二氧化硫排放量	t/万元	−	EPS 数据库
		单位工业增加值工业固体废物产生量	t/万元	−	EPS 数据库
		每千元工业增加值的工业污染治理完成投资额	元/千元	−	EPS 数据库

与政策相关的指标旨在展示政府对低空经济的引导作用与政策环境的影响,尤其是在促进产业规范、市场开放及技术创新等方面的政策推动力。整体而言,该指标体系采用市场发展需求与政策支持并重的设计逻辑,全面覆盖低空经济发展的主要领域。如表 2 所示。

1.2　数据来源

低空经济概念于 2010 年提出,初期多停留在理论探讨与政策酝酿阶段,实质性产业较少,数据积累不足,2013 年起,逐步推进低空空域管理改革试点,因此以 2013—2023 年全国 30 个省份(考虑到数据完整性和连续性,未包含西藏地区及港澳台地区)面板数据为研究样本,量化考查新质生产力与低空经济的耦合发展。个别年份存在的部分缺失数据采用插值法补齐。

1.3　测度方法

1.3.1　熵权 TOPSIS 法

熵权TOPSIS法[17]是一种结合熵权法与TOP-

表 2　中国低空经济发展水平指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	属性	数据来源
低空产业	企业数量	经营范围是无人机的企业数量	个	＋	《工业技术经济》
		专利包含无人机的企业数量	个	＋	《工业技术经济》
		经营范围是无人机的专精特新企业数量	个	＋	《工业技术经济》
		专利包含无人机的专精特新企业数量	个	＋	《工业技术经济》
		经营范围是无人机的高新技术企业数量	个	＋	《工业技术经济》
		专利包含无人机的高新技术企业数量	个	＋	《工业技术经济》
		低空经济产业链上游企业数	个	＋	《工业技术经济》
		低空经济产业链中游企业数	个	＋	《工业技术经济》
		低空经济产业链下游企业数	个	＋	《工业技术经济》
	就业人数	航空运输业就业人员数	人	＋	EPS 数据库
		电子及通信设备制造业 R&D 人员数	人	＋	《工业技术经济》
		高新技术产业 R&D 人员数	人	＋	《工业技术经济》
市场需求	交通需求	交通运输财政支出占财政总支出比重	%	＋	《工业技术经济》
		等级公路里程	万 km	＋	国家统计局
		铁路营业里程	万 km	＋	国家统计局
		高速路里程	万 km	＋	国家统计局
		私人汽车拥有量	%	＋	《中国统计年鉴》
	物流需求	货物周转量	亿 t/km	＋	EPS 数据库
		交通运输、邮政、仓储业增加值	亿元	＋	《工业技术经济》
		物流固定资产投资	亿元	＋	《工业技术经济》
	农业需求	农业航空器作业面积	khm^2	＋	《工业技术经济》
		农业生产专用航空器数量	个	＋	《工业技术经济》
		农业机械总动力	万 kW	＋	EPS 数据库
		农业总产值	亿元	＋	国家统计局
政府支撑	设施支撑	高空探测业务站点数	个	＋	国家统计局
		天气雷达观测业务站点数	个	＋	国家统计局
		农业气象观测业务站点数	个	＋	国家统计局
		卫星云图接收业务站点数	个	＋	国家统计局
		当年颁证机场数量	个	＋	《工业技术经济》
		实际机场数量	个	＋	《工业技术经济》
	专项政策数量	低空经济政策试点	个	＋	《工业技术经济》
		低空飞行审批效率(航空邮路总长度)	km	＋	国家统计局
		空域开放面积(旅客吞吐量)	万人	＋	《工业技术经济》
	社会关注度	低空经济关注度(利用百度指数对低空经济相关词频进行统计,利用 PC 端和移动端词频数与常住人口比重来衡量	词人	＋	百度指数
		工业机器人安装密度	台	＋	《工业技术经济》

SIS 方法的综合评价方法,用于多指标决策分析,特别适用于在处理复杂系统或多维度数据时评估和排序各项指标的优劣。熵权法主要用于确定各评价指标的权重。通过计算各指标的数据熵值,反映其信息量大小。信息量较大的指标权重较高,而信息量较小的指标权重较低,这样能有效消除人为赋权的主观性,确保评价结果的客观性和公正性。TOPSIS 法则通过计算各选项与正理想解、负理想解的距离来进行排序。在测度各省份的新质生产力和低空经济发展水平时,熵权法为每个指标赋予合理的权重,而 TOPSIS 法通过比较不同省份之间的相对优势,最终得出更加准确和全面的综合评价结果。

1.3.2　耦合协调度模型

耦合协调度模型[18]用于分析两个或多个系统之间的互动关系。通过计算耦合度、协调度和耦合协调度,能够量化新质生产力和低空经济的相互作用与协调程度。耦合协调度综合考虑两者的耦合和协调水平,揭示它们能否共同推动区域经济高质量发展。

$$C = \sqrt{\frac{U_1 U_2}{(U_1 + U_2)^2}} \tag{1}$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \tag{2}$$

$$D = \sqrt{CT} \tag{3}$$

式中:U_1、U_2 分别为新质生产力发展综合指数和低空经济发展综合指数;C 为耦合度;T 为综合协调指数;α、β 为待定系数,本文认为新质生产力和低空经

济发展同等重要,故暂设置系数 $\alpha=\beta=0.5$;D 为耦合协调度,取值范围为[0,1],D 越大,代表二者之间越接近最佳耦合状态,D 越小,说明二者越趋于无序发展。划分耦合协调度等级类型如表 3 所示。

1.3.3 核密度估计

为了进一步分析耦合协调度时空演化特征,引入核密度估计方法。核密度估计方法[19]是一种基于考察对象测度值分布特征的空间分析工具。核密度曲线的分布位置对应耦合协调度的数值高低,波峰的高度与宽度分别反映聚集程度和分散程度,波峰的数量则揭示区域内的极化现象。

1.3.4 莫兰指数

采用莫兰指数识别所有省份是否存在空间自相关性[20]。全局莫兰指数检验耦合协调度的空间相关性,如果全局莫兰指数显著为正,说明耦合协调度存在正的空间自相关,即邻近省份之间的耦合协调度较为相似;如果显著为负,说明存在负的空间自相关,即邻近省份的耦合协调度有差异。局部莫兰指数进一步分析不同省份之间的空间集聚特征。

表 3 耦合协调度等级划分标准

耦合协调度(D)	协调等级
[0,0.1)	极度失调
[0.1,0.2)	严重失调
[0.2,0.3)	中度失调
[0.3,0.4)	轻度失调
[0.4,0.5)	濒临失调
[0.5,0.6)	勉强协调
[0.6,0.7)	初级协调
[0.7,0.8)	中级协调
[0.8,0.9)	良好协调
[0.9,1.0]	优质协调

2 实证结果分析

2.1 省份新质生产力及低空经济发展水平测度结果

使用熵权 TOPSIS 法测算 2013—2023 年各省份新质生产力发展水平及低空经济发展水平,如表 4 所示。

表 4 各省份新质生产力发展水平及低空经济发展水平测算结果

地区	省份	2013 年		2016 年		2019 年		2021 年		2023 年		均值		平均增速/%		排序	
		X	D	X	D	X	D	X	D	X	D	X	D	X	D	X	D
东部	北京	0.154	0.126	0.201	0.166	0.244	0.265	0.297	0.113	0.327	0.096	0.240	0.133	23.846	13.178	3	12
东部	天津	0.064	0.153	0.095	0.268	0.096	0.316	0.125	0.052	0.101	0.043	0.092	0.109	9.135	10.546	16	22
东部	河北	0.079	0.182	0.088	0.189	0.109	0.240	0.146	0.113	0.130	0.097	0.107	0.134	10.661	13.285	14	10
东部	上海	0.104	0.062	0.158	0.211	0.191	0.171	0.209	0.129	0.249	0.130	0.176	0.144	17.534	14.345	6	7
东部	江苏	0.196	0.081	0.241	0.159	0.282	0.178	0.347	0.216	0.409	0.169	0.282	0.160	28.033	15.922	2	4
东部	浙江	0.111	0.064	0.142	0.110	0.191	0.106	0.240	0.124	0.323	0.126	0.201	0.110	19.778	11.021	4	19
东部	福建	0.060	0.074	0.080	0.181	0.280	0.293	0.120	0.108	0.135	0.083	0.111	0.109	10.953	10.760	13	21
东部	山东	0.124	0.089	0.158	0.154	0.172	0.148	0.227	0.201	0.283	0.138	0.196	0.146	19.498	14.536	5	6
东部	广东	0.194	0.205	0.287	0.320	0.378	0.347	0.449	0.267	0.585	0.288	0.351	0.320	34.637	31.672	1	1
东部	海南	0.046	0.106	0.068	0.094	0.081	0.173	0.109	0.045	0.065	0.052	0.067	0.077	6.636	7.658	24	28
中部	山西	0.046	0.086	0.050	0.132	0.101	0.245	0.101	0.086	0.080	0.058	0.070	0.102	6.976	10.059	23	24
中部	安徽	0.071	0.092	0.107	0.135	0.118	0.264	0.401	0.149	0.195	0.086	0.160	0.127	15.550	12.575	7	14
中部	江西	0.050	0.096	0.057	0.089	0.076	0.096	0.096	0.087	0.109	0.093	0.087	0.100	8.609	9.971	18	25
中部	河南	0.086	0.070	0.214	0.115	0.124	0.114	0.156	0.117	0.162	0.119	0.130	0.134	12.966	13.124	10	13
中部	湖北	0.076	0.103	0.100	0.118	0.141	0.111	0.160	0.103	0.218	0.094	0.138	0.135	13.719	13.225	8	11
中部	湖南	0.072	0.088	0.085	0.082	0.113	0.122	0.136	0.103	0.190	0.091	0.117	0.161	11.618	15.382	12	5
东北	辽宁	0.072	0.065	0.093	0.137	0.102	0.162	0.106	0.075	0.109	0.064	0.093	0.091	9.323	9.018	15	27
东北	吉林	0.060	0.063	0.085	0.122	0.114	0.093	0.128	0.065	0.087	0.053	0.089	0.075	8.827	7.424	17	29
东北	黑龙江	0.058	0.216	0.097	0.078	0.073	0.159	0.107	0.122	0.124	0.080	0.084	0.109	8.348	10.778	19	20
西部	内蒙古	0.044	0.061	0.046	0.153	0.087	0.165	0.096	0.113	0.166	0.096	0.074	0.103	7.354	10.274	22	23
西部	广西	0.051	0.093	0.059	0.113	0.068	0.336	0.081	0.086	0.092	0.095	0.065	0.169	6.514	16.171	25	3
西部	重庆	0.052	0.044	0.068	0.089	0.079	0.068	0.098	0.054	0.097	0.055	0.076	0.065	7.547	6.487	21	30
西部	四川	0.082	0.105	0.102	0.157	0.124	0.142	0.183	0.113	0.184	0.130	0.134	0.136	13.351	13.622	9	9
西部	贵州	0.044	0.093	0.050	0.118	0.101	0.173	0.070	0.066	0.081	0.071	0.065	0.097	6.457	9.676	26	26
西部	云南	0.056	0.101	0.064	0.134	0.081	0.400	0.095	0.090	0.118	0.094	0.078	0.143	7.789	13.990	20	8
西部	陕西	0.057	0.063	0.225	0.128	0.104	0.410	0.133	0.077	0.183	0.068	0.120	0.125	11.912	12.150	11	16
西部	甘肃	0.044	0.071	0.064	0.112	0.040	0.493	0.047	0.065	0.104	0.067	0.052	0.120	5.156	11.470	30	18
西部	青海	0.036	0.077	0.036	0.070	0.041	0.393	0.051	0.077	0.302	0.045	0.067	0.127	6.444	12.009	27	17
西部	宁夏	0.049	0.025	0.053	0.397	0.061	0.392	0.072	0.042	0.096	0.023	0.062	0.134	6.166	12.416	28	15
西部	新疆	0.051	0.084	0.039	0.412	0.052	0.399	0.062	0.105	0.112	0.101	0.055	0.182	5.440	17.492	29	2

注:X 代表新质生产力;D 代表低空经济。

从时间趋势看，2013—2023年绝大多数省份的新质生产力水平整体呈上升趋势，其中广东、江苏、浙江、北京、山东不论是新质生产力发展水平均值还是平均增速，均排在全国前列，这些省份均位于东部区域。中部地区的省份中，安徽、湖北表现较好，呈现较强的追赶势头。东北和西部地区整体发展较为滞后，但其中也有一些省份，如四川、陕西和辽宁，发展势头较为强劲，整体水平处于全国中等偏上。但甘肃、新疆、宁夏、贵州新质生产力的发展态势较弱，每年的发展水平增长较小。由此表明，尽管新质生产力整体呈现增长态势，但各省份发展存在较大差异，存在显著的不均衡现象。

2013—2023年各省份低空经济发展水平指数波动较大。增速较快的省份包括广东、新疆、广西、江苏、湖南，表现出强劲的发展动力。增速较慢的省份包括重庆、海南、吉林，发展动力相对不足。东部地区整体领先，显示其在低空经济领域的绝对优势。西部地区表现亮眼，均值高于多数东部省份，说明西部部分省份在低空经济方面具有较强竞争力。中部地区及东北地区整体偏低，发展相对滞后。广东作为经济大省在低空基础设施、产业应用和政策支持方面走在全国前列。新疆和广西的低空经济发展可能与地处边疆、空域资源丰富等因素有关。湖南在中部地区中表现突出，说明其在低空领域有较好的布局和发展潜力。北京、上海等传统经济强省在低空经济方面排名并不靠前，可能受空域管制严、城市空域资源紧张等因素制约。由此可以总结出，全国低空经济发展呈现“东部引领、西部崛起、中部跟进、东北滞后”的区域格局。

2.2 耦合协调度测算结果

通过耦合协调度模型，对2013—2023年各省份的新质生产力与低空经济发展水平的互动关系进行了测度与评估，分析结果如表5所示。

表5 各省份新质生产力发展水平与低空经济发展水平的耦合协调度

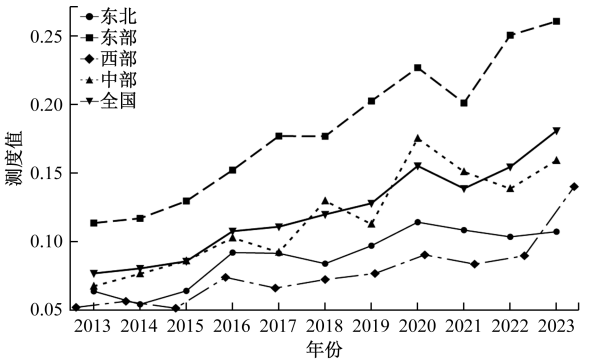
地区	省份	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	均值	耦合协调程度
东部	北京	0.373	0.386	0.391	0.428	0.402	0.414	0.505	0.425	0.428	0.401	0.421	0.416	濒临失调
东部	福建	0.276	0.250	0.265	0.347	0.289	0.296	0.535	0.315	0.337	0.314	0.326	0.323	轻度失调
东部	广东	0.453	0.482	0.496	0.551	0.628	0.575	0.602	0.671	0.588	0.591	0.641	0.571	勉强协调
东部	海南	0.255	0.214	0.254	0.283	0.268	0.258	0.344	0.230	0.265	0.254	0.241	0.260	中度失调
东部	河北	0.346	0.292	0.292	0.359	0.318	0.337	0.402	0.346	0.358	0.356	0.335	0.340	轻度失调
东部	江苏	0.379	0.387	0.410	0.442	0.443	0.457	0.473	0.487	0.523	0.535	0.513	0.459	濒临失调
东部	山东	0.336	0.350	0.364	0.395	0.444	0.407	0.399	0.432	0.462	0.454	0.445	0.408	濒临失调
东部	上海	0.382	0.351	0.394	0.427	0.414	0.405	0.425	0.396	0.405	0.405	0.424	0.403	濒临失调
东部	天津	0.314	0.236	0.271	0.400	0.276	0.275	0.418	0.261	0.284	0.287	0.257	0.298	中度失调
东部	浙江	0.312	0.316	0.341	0.353	0.357	0.389	0.377	0.402	0.416	0.481	0.449	0.381	轻度失调
中部	安徽	0.285	0.286	0.280	0.346	0.318	0.351	0.420	0.438	0.495	0.403	0.360	0.362	轻度失调
中部	河南	0.295	0.303	0.307	0.396	0.322	0.331	0.345	0.490	0.368	0.372	0.372	0.355	轻度失调
中部	湖北	0.266	0.291	0.344	0.330	0.345	0.367	0.354	0.492	0.359	0.378	0.378	0.355	轻度失调
中部	湖南	0.259	0.322	0.286	0.289	0.444	0.339	0.343	0.485	0.344	0.360	0.362	0.348	轻度失调
中部	江西	0.243	0.227	0.231	0.267	0.297	0.458	0.293	0.318	0.303	0.307	0.318	0.296	中度失调
中部	山西	0.232	0.213	0.224	0.285	0.299	0.312	0.397	0.283	0.305	0.263	0.261	0.279	中度失调
东北	黑龙江	0.268	0.244	0.286	0.294	0.264	0.261	0.328	0.320	0.338	0.340	0.316	0.296	中度失调
东北	吉林	0.257	0.206	0.212	0.319	0.286	0.326	0.321	0.302	0.302	0.285	0.261	0.280	中度失调
东北	辽宁	0.261	0.258	0.266	0.335	0.301	0.305	0.359	0.336	0.299	0.280	0.289	0.299	中度失调
西部	甘肃	0.237	0.229	0.254	0.291	0.231	0.250	0.375	0.276	0.235	0.246	0.288	0.265	中度失调
西部	广西	0.237	0.252	0.241	0.286	0.394	0.263	0.388	0.412	0.289	0.289	0.306	0.305	轻度失调
西部	贵州	0.252	0.222	0.249	0.277	0.300	0.269	0.363	0.293	0.261	0.272	0.275	0.276	中度失调
西部	内蒙古	0.245	0.238	0.239	0.290	0.258	0.311	0.346	0.303	0.322	0.281	0.356	0.290	中度失调
西部	宁夏	0.188	0.212	0.219	0.381	0.207	0.390	0.394	0.221	0.235	0.239	0.216	0.264	中度失调
西部	青海	0.229	0.185	0.211	0.224	0.259	0.374	0.357	0.248	0.251	0.243	0.342	0.266	中度失调
西部	陕西	0.245	0.310	0.299	0.412	0.339	0.340	0.454	0.296	0.318	0.322	0.334	0.333	轻度失调
西部	四川	0.305	0.347	0.330	0.356	0.355	0.382	0.364	0.376	0.380	0.415	0.394	0.364	轻度失调
西部	新疆	0.256	0.228	0.232	0.355	0.291	0.378	0.379	0.260	0.284	0.288	0.326	0.298	中度失调
西部	云南	0.274	0.263	0.319	0.304	0.298	0.340	0.424	0.293	0.304	0.324	0.325	0.315	轻度失调
西部	重庆	0.219	0.216	0.245	0.279	0.261	0.291	0.271	0.289	0.269	0.274	0.270	0.262	中度失调

整体来看,两大系统的耦合协调度较低,大多数省份处于“轻度失调”或“中度失调”状态。只有广东进入了“勉强协调”的等级,耦合协调度最高;北京、江苏、山东、上海的耦合协调度虽排在全国前列,但也处于“濒临失调”状态,海南、重庆、宁夏、甘肃、青海等省份的协调度较低。这表明,尽管一些地区在新质生产力或低空经济的某一领域表现突出,但两者之间尚未形成有效的协同发展机制。由此可见,在低空经济这一新兴产业的发展过程中,可能存在科技创新支持不足、关键要素连接不畅,或产业政策与创新政策未能有效对接等深层次问题。

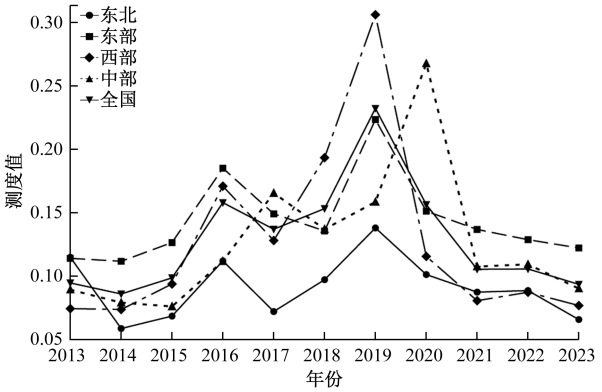
如图 1(a)所示,2013—2023 年新质生产力整体呈现“稳步上升、阶段性波动”的发展态势,但区域分化特征较为明显。东部地区始终处于领先地位,增长趋势最为显著,尤其在 2016 年以后加速上升,虽在 2021 年出现短暂回落,但随后迅速恢复并继续走高,显示出较强的创新基础和抗冲击能力。中部地区整体水平居中,波动幅度相对较大,2020 年达到阶段性高点,反映其在承接产业转移和新动能培育方面取得一定成效,但稳定性仍有待增强。西部地区总体水平偏低,但长期趋势向上,特别是 2022—2023 年增幅明显,后发优势逐步释放。东北地区水平相对较低且增长较为平缓,虽有小幅波动,但整体改善有限。全国平均水平与东部和中部走势较为一致,持续上升表明我国新质生产力总体不断增强,但区域间发展不均衡问题依然存在。

由图 1(b)可以看出,2013—2023 年低空经济发展水平总体呈现“先缓慢增长、后快速上升、再回落趋稳”的演进特征。全国均值在 2013—2015 年处于低位平稳阶段,2016 年后明显提升,并于 2019 年达到阶段性高点,随后在 2020 年出现回落,2021—2023 年维持在相对稳定区间,这种下降趋势主要与新冠疫情的影响有关。从区域差异看,东部地区整体发展水平较高且波动较小,表现出较强的持续性优势;中部和西部地区呈现阶段性快速增长特征,其中西部地区在 2019 年达到全时期峰值,但随后回落幅度较大,欠缺稳定性;东北地区整体水平偏低,增长动能相对有限。总体而言,全国低空经济发展具有显著的阶段性和区域不均衡特征。

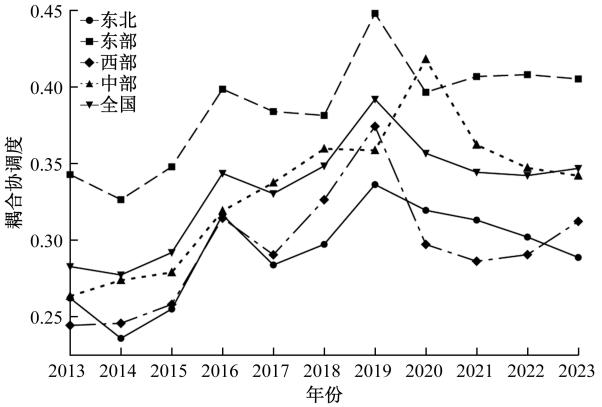
低空经济与新质生产力之间具有一定的协同与错位关系。从时间维度看,低空经济在样本期内表现较强的波动性;相比之下,新质生产力表现为“持续上升、韧性更强”的发展轨迹,除个别年份短暂调整外,全国及各区域总体保持稳步增长。这一差异直接反映在耦合协调度的变化上。2013—2016 年,各区域耦合协调水平总体处于较低区间,随着新质生产力基础逐步夯实而明显改善;2017—2019 年,低空经济与新质生产力的互动增强,耦合协调度普遍上升,并在 2019 年前后达到阶段性高点;2020 年以后,低空经济波动加剧,耦合协调度出现回落并趋于震荡调整,但整体仍高于初期水平,显示系统韧性有所增强。这表明低空经济更易受政策周期、技术成熟度和外部环



(a) 区域新质生产力随时间发展情况



(b) 区域低空经济随时间发展情况



(c) 二者耦合协调度的时序变化

图 1　各区域新质生产力、低空经济发展水平及耦合协调度时序变化情况

境影响，而新质生产力具有更强的长期积累性和内生增长动力。

从区域结构看，东部地区在三个指标中均表现最为突出，其新质生产力长期保持领先，低空经济基础较为稳固，二者耦合协调度始终处于较高水平，且波动相对可控，体现出“技术-产业-应用”之间较为成熟的良性循环，且新质生产力的持续上升为低空经济提供较为坚实的技术与产业基础。中部和西部地区的耦合协调度提升速度较快，但波动幅度明显大于东部，尤其在个别年份出现“低空经济快速扩张但新质生产力支撑不足”或“新质生产力提升而应用转化滞后”的错位现象，说明其协同发展仍依赖政策驱动和阶段性投入。东北地区整体水平偏低，耦合协调度提升缓慢，反映产业结构转型和新动能培育仍面临一定约束。从协同关系看，新质生产力的稳步提升为低空经济的中长期发展提供重要支撑，也是推动耦合协调度长期上行的关键基础，而低空经济在短期内对耦合协调度的波动起到放大作用。二者并非简单同步演进，而是呈现“长期协同、短期错位”的特征。这说明低空经济更偏向应用层和场景驱动，而新质生产力体现为更深层次的技术进步和要素重组。

总体而言，中国低空经济正处于由“政策驱动、波动发展”向“以新质生产力为支撑、更加稳健发展”转变的关键阶段，二者的耦合关系正由初期的弱关联阶段，逐步向更高层次的协同发展阶段过渡，但区域间在发展基础、转化效率和稳定性方面仍存在显著差异，这也是未来政策调控和区域协调发展的重点方向。

全国四大地区新质生产力与低空经济耦合协调度的频数分布如图 2 所示。可以看出，东部地区耦合协调度分布区间相对较宽，主要集中在 0.25～0.45，均值和上限均明显高于其他区域，且右尾特征较为明显，说明部分省份已迈入较高协调水平阶段。这反映东部地区在新质生产力积累、低空经济应用场景拓展以及二者协同机制方面较为成熟，但内部差异依然存在，呈现“高位集聚与分化并存”的特征。中部及西部地区耦合协调度主要集中在 0.20～0.40，分布相对集中但整体水平略低于东部，峰值明显，其分布形态表明，在低空经济与新质生产力协同推进过程中已形成一定基础，但整体协同深度和稳定性仍有待进一步提升。相比之下，东

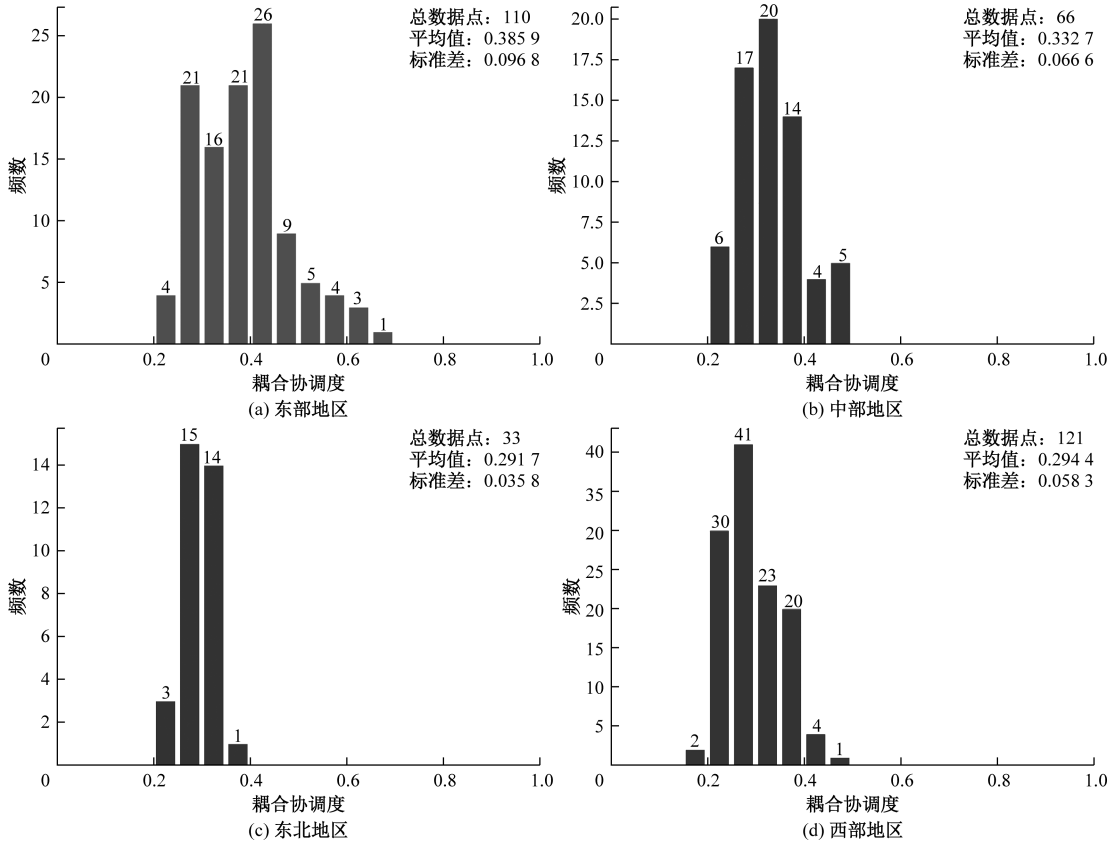


图 2　各区域新质生产力与低空经济耦合协调度分布特征

北地区耦合协调度分布最为集中,主要集中在0.20～0.30,均值和离散度均较低,高值区间样本稀少,反映其低空经济与新质生产力之间的互动关系整体较弱,协同发展动力不足,结构性约束仍然较为明显。总体来看,区域差异表现为“东部最高、中部次之、西部波动、东北最低”的梯度格局。这一分布特征表明,新质生产力与低空经济的协同发展仍处于培育和爬坡阶段,未来提升耦合协调水平的关键在于夯实区域新质生产力基础、提高低空经济的技术转化效率,并增强区域内部与跨区域的协同联动能力。

2.3 耦合协调度的动态演变特征

通过核密度估计方法对新质生产力与低空经济发展的耦合协调度演化特征进行分析,如图3所示。可以看出,核密度曲线整体呈现持续、缓慢的上移趋势,且早期的单峰、尖峭型逐渐演变为峰值平缓、上尾拉长的形态;中后期部分年份出现轻微多峰特征,反映不同地区在协同发展水平上的分化加剧,高协调地区逐步显现,但尚未形成对整体分布具有主导性的高值集群。曲线在纵轴覆盖范围随时间有所扩大,尤其在2017年之后更为明显,表明全国范围内耦合协调度的地区差异在扩大。一方面,新质生产力基础雄厚、低空经济应用条件成熟的地区加速向更高协调阶段迈进;另一方面,部分地区提升速度相对缓慢,导致整体分布呈现“拉长而非整体跃升”的特征。由此可见,地区间的低空经济与新质生产力协调发展的差异分化逐渐增大。

四大区域的新质生产力与低空经济发展的耦合协调度核密度演化特征如图4所示。东部地区

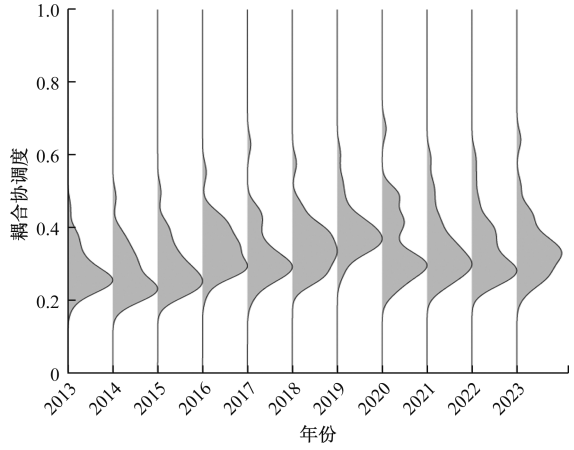


图3 低空经济与新质生产力耦合协调度的核密度演化特征(全国)

的核密度曲线整体呈现明显的上移趋势。2013—2016年,分布主要集中在较低协调区间,峰值较为单一;随着时间推移,分布拉长,并在2021—2023年形成一定程度的多峰结构。这表明东部地区一方面整体协同水平持续提升,另一方面区域内部出现分层现象,高协调地区数量增加,但内部差异也随之扩大,体现由“整体提升”向“结构分化”的演进特征。中部地区核密度分布同样呈现上移,但幅度和稳定性弱于东部,峰值逐步抬升并向上移动,2019—2020年出现阶段性“双峰”特征,反映部分地区协同水平显著提升,而另一部分地区仍停留在较低水平。2021年后分布趋于重新收敛,说明中部地区在经历阶段性跃升后,整体进入调整与消化阶段,协同发展尚未形成稳定的高水平集聚。西部地区核密度分布表现出较强的波动性。整体分布虽有上移趋势,但移动幅度有限,且曲线形态在不同年份之间差异较大。部分年份出现明显展宽或偏移,反映区域内部发展不均衡、个别地区阶段性快速推进对整体分布的拉动效应较强。总体来看,西部地区尚未形成持续稳定的分布结构。相比之下,东北地区核密度曲线高度集中,且随时间变化的上移幅度最小。各年份分布峰值大多稳定在较低区间,曲线形态变化有限,显示出耦合协调度提升缓慢、内部差异较小但整体水平偏低的特征。这表明东北地区在新质生产力积累和低空经济应用协同方面进展相对滞后,缺乏显著的突破性提升。综合来看,未来提升耦合协调度的关键不在于单一指标的增长,而在于促进区域内部均衡发展和提高新质生产力向低空经济的有效转化能力。

2.4 耦合协调度空间相关性分析

2.4.1 全局空间自相关

在空间权重的设定上,参考韩文龙等[21]的做法,同时考虑地理距离和经济距离的空间关联,构造地理经济嵌套矩阵,避免单纯使用地理距离或经济距离可能对区域的空间关联性造成的估计误差。地理距离的衡量为各省会城市之间的距离,经济距离的衡量为省份人均GDP差值的绝对值,在矩阵中对两种距离取倒数,并且默认控制地理及经济距离的权重相同($\alpha=0.5$)。中国版图边界信息来自国家地理信息公共服务平台。测算结果如表6所示。可以看出,2013—2023年全局莫兰指数均显著为正,表明新质生产力与低空经济的耦合协调度具有显著的空间相关性。

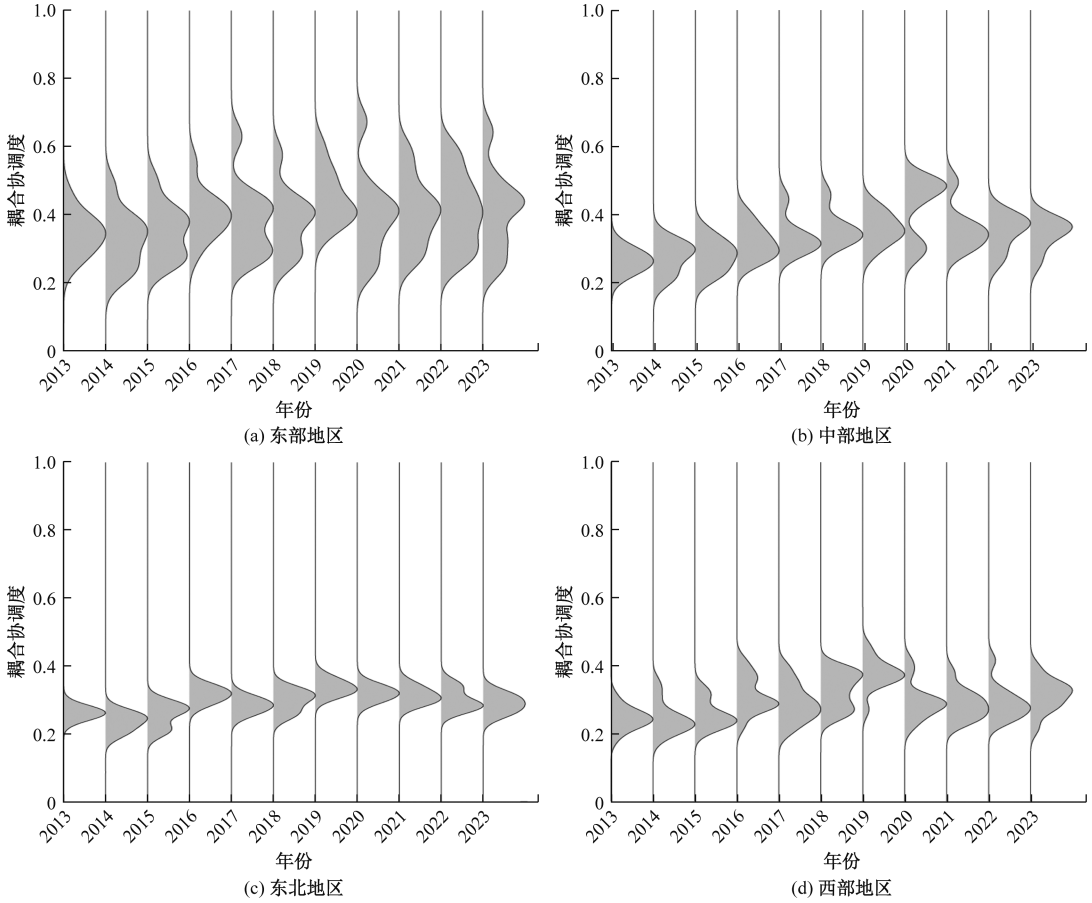


图 4　区域低空经济与新质生产力耦合协调度的核密度演化特征

表 6　新质生产力发展水平与低空经济发展水平耦合协调度的全局莫兰指数

指标	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
莫兰指数	0.070***	0.006**	0.041***	0.031**	0.040***	0.006**	0.008***	0.142***	0.094***	0.072***	0.009***

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1% 的水平下显著。

2.4.2　局部空间相关性

各省份 2013—2023 年局部莫兰指数分布情况如表 7 所示。结果表明：①不同省份间新质生产力与低空经济的耦合发展存在显著的空间集聚特征，其中，东部省份主要为“高-高”集聚（H-H）扩散效应区，区域间存在强烈的正向空间溢出效应。西北地区、西南地区及部分中部地区省份主要集中在“低-低”集聚（L-L）的低速增长区，自身和邻近地区均处于低水平耦合状态，两者均呈现显著的正相关。四川、河南、北京等分布在“高-低”集聚的极化效应区（H-L），呈现空间负相关性，这意味着新质生产力与低空经济耦合发展水平较高的省份对相邻地区具有显著的虹吸效应。重庆、天津等分布在“低-高”集聚的过渡效应区（L-H），存在潜在的空间被动提升效应。②综合 2021—2023 年数据可以看出，H-H 区域几乎在整个时期都比较稳定，说明东部与中部核心城市的耦合发展持续稳健。L-L 区域在近年来出现边缘城市减少的趋势，区域差距略有收窄。部分年份中，H-L 和 L-H 城市数量较为灵活，表明局部地区受政策、基建投资或产业发展影响而发生变化。整体来看，中国新质生产力与低空经济发展整体趋向于“核心区稳定、外围区改善”的扩散现象。

2.5　耦合协调度影响因素

采用机器学习方法深入挖掘二级指标对新质生产力及低空经济发展耦合协调度的影响，可以更好地理解推动二者协同发展的内在机制。选择决策树、随机森林、XGBoost 三个模型，并对模型的性能进行评估，采用多种指标全面衡量模型分析的准确性，包括 RMSE、MAE、MSE 及 R^2，从不同的角度反映误差分布。MSE 和 RMSE 突出大误差的影响，值越小表明模型的分析精度越高；MAE 提供对所有误差的平均视角，MAE 越小，表明模型的误差

表 7　局部莫兰区域分布

年份	H-H	H-L	L-H	L-L
2013	山东、上海、浙江、河南、江苏、北京、天津、安徽	河北、广东、四川	山西、江西、内蒙古、广西、福建	陕西、贵州、吉林、云南、辽宁、湖南、海南、黑龙江、重庆、新疆、湖北、宁夏、青海、甘肃
2014	山东、湖南、上海、浙江、河南、湖北、江苏	陕西、河北、广东、四川、北京、安徽	贵州、山西、江西、海南、广西、重庆、天津、福建	吉林、云南、辽宁、内蒙古、黑龙江、新疆、宁夏、青海、甘肃
2015	山东、上海、浙江、湖北、江苏	陕西、河北、云南、广东、四川、河南、北京	山西、江西、湖南、广西、天津、福建	贵州、吉林、辽宁、内蒙古、海南、黑龙江、重庆、新疆、宁夏、青海、甘肃、安徽
2016	河北、山东、上海、四川、浙江、河南、内蒙古、江苏、北京、天津、福建、安徽	陕西、广东、宁夏	吉林、山西、江西、辽宁、内蒙古、湖南	贵州、云南、广西、黑龙江、重庆、湖北、青海、甘肃
2017	湖南、上海、浙江、湖北、江苏	陕西、山东、广东、广西、四川、北京	贵州、江西、辽宁、海南、黑龙江、重庆、天津、福建、安徽	河北、吉林、山西、云南、内蒙古、河南、新疆、宁夏、青海、甘肃
2018	上海、四川、浙江、新疆、湖北、江苏、安徽	山东、江西、广东、北京、宁夏、青海	内蒙古、湖南、海南、河南、重庆、甘肃	陕西、河北、贵州、吉林、山西、云南、辽宁、广西、黑龙江、天津、福建
2019	河北、山东、上海、江苏、天津、安徽	陕西、山西、云南、广东、北京、宁夏、福建	江西、内蒙古、浙江、重庆	贵州、吉林、辽宁、湖南、海南、广西、黑龙江、四川、河南、新疆、湖北、青海、甘肃
2020	山东、湖南、上海、广西、浙江、湖北、江苏、安徽	广东、四川、河南、北京	陕西、贵州、江西、内蒙古、重庆、天津、福建	河北、吉林、山西、云南、辽宁、海南、黑龙江、新疆、宁夏、青海、甘肃
2021	河北、山东、上海、浙江、湖北、江苏、安徽	广东、四川、河南、北京	江西、辽宁、湖南、重庆、天津、福建	陕西、贵州、吉林、山西、云南、内蒙古、海南、广西、黑龙江、新疆、宁夏、青海、甘肃
2022	山东、湖南、上海、浙江、河南、湖北、江苏、安徽	河北、广东、四川、北京	山西、江西、海南、广西、重庆、天津、福建	陕西、贵州、吉林、云南、辽宁、内蒙古、黑龙江、新疆、宁夏、青海、甘肃
2023	湖南、上海、浙江、湖北、江苏、安徽	山东、内蒙古、广东、四川、河南、北京	河北、江西、海南、广西、重庆、天津、福建	陕西、贵州、吉林、山西、云南、辽宁、黑龙江、新疆、宁夏、青海、甘肃

越小;R^2 评估模型对目标变量变异的解释能力,用于比较模型的整体性能,便于跨数据集或跨模型比较。R^2 越接近 1,说明模型的预测结果越接近实际数据[22]。

如表 8 所示,XGBoost 模型效果最优,RMSE、MAE、MSE 较小,R^2 较高,随机森林模型在可接受范围内,但 RMSE、MAE、MSE 相较于 XGBoost 较大,R^2 略低。决策树模型表现一般,未达到预期水平。因此,选择 XGBoost 模型作为最优分析模型,XGBoost 通过梯度提升框架迭代构建决策树,每棵树纠正前一棵树的预测误差,同时在损失函数中加入正则化项,动态优化偏差与方差的平衡;其动态加权机制可以高效捕捉高维数据中的深层非线性关系[23]。结合夏普利加性解释(SHAP)分析方法,以进一步探究各二级指标对耦合协调度的贡献及作用。

表 8　模型结果比较

模型	RMSE	MAE	MSE	R^2
随机森林	0.026 5	0.017 0	0.000 7	0.891 8
决策树	0.039 2	0.029 0	0.001 5	0.763 9
XGBoost	0.024 0	0.016 9	0.000 6	0.911 6

如图 5 所示,影响区域低空经济与新质生产力耦合协调度的关键因素包括政策及社会关注度、劳动力、创新环境和低空企业数量。其中,政策引导与社会关注度为最重要的因素,表明政策支持对低空经济与新质生产力的耦合具有决定性作用。劳动力的数量和质量对新质生产力提升和低空经济发展具有显著影响,劳动力也是推动耦合协调度的基础资源。创新环境也是关键驱动力,高水平的创新能够促进产业技术进步,推动低空经济与新质生产力的融合。低空企业数量的增加有助于产业链的发展和市场规模的扩大,从而提升耦合协调度。产业发展和创新投资对耦合协调度的影响相对较小,但随着产业结构的优化,这些因素的作用会逐渐增强。此外,绿色发展、交通需求、设施支撑等因素在短期内影响较弱,但在未来低空经济扩张过程中将发挥重要作用。总体而言,政策引导、劳动力和创新环境是提升低空经济与新质生产力耦合的核心因素,而低空企业数量、产业发展等则在长期持续推动其协调发展。

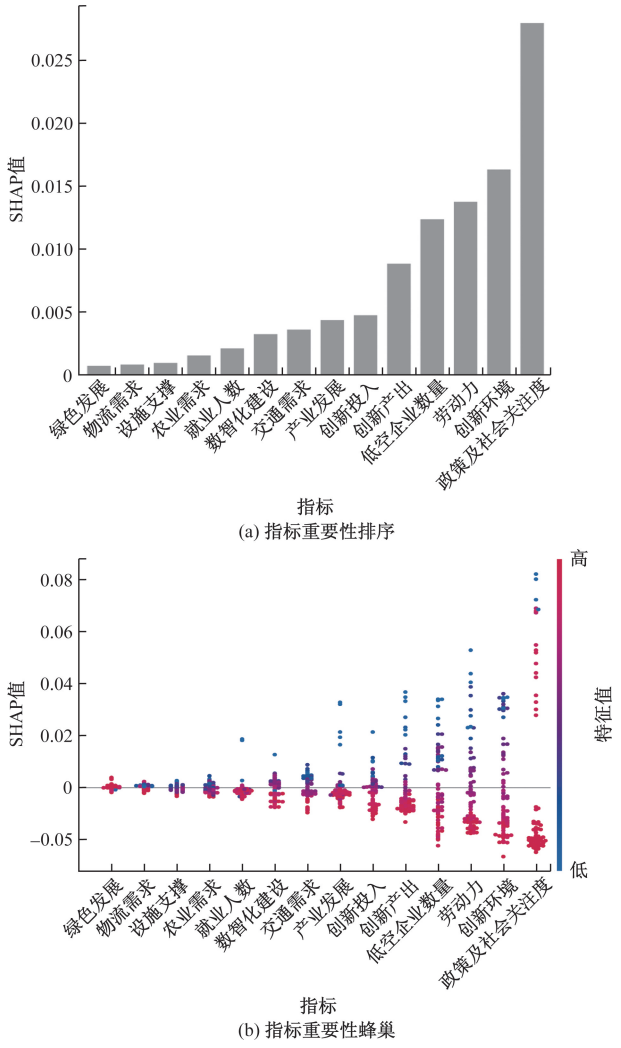


图 5　低空经济与新质生产力指标重要性排序

3　结论

本文从新质生产力与低空经济协同发展的视角出发，构建系统性、可测量的评价指标体系，通过熵权 TOPSIS 法、耦合协调度模型、核密度估计及空间自相关分析，对 2013—2023 年 30 个省份（因数据缺失，未包含西藏地区和港澳台地区）的面板数据进行综合评估。研究结果表明，新质生产力和低空经济均呈现持续发展态势，但区域发展差异显著，整体协同水平偏低，尚未形成紧密互动的耦合机制。在当前经济结构转型和低空经济快速兴起的大背景下，不仅揭示了低空经济发展的现状与瓶颈，也为推动新质生产力与低空经济深度融合提供了政策启示。

从发展水平来看，新质生产力总体呈现稳步提升态势，东部地区优势最为明显，尤其是广东、江苏、浙江、上海等省份在创新投入、产业结构优化、劳动力等方面形成了较强的综合竞争力；中部地区近年来加速追赶，创新动能逐步释放；西部地区整体水平偏低，但部分省份呈现快速发展势头；东北地区受产业结构调整和创新基础薄弱影响，整体发展相对滞后。低空经济的发展格局呈现出不同特点：广东仍然保持全国领先地位，新疆、广西、云南等部分西部省份凭借区域资源优势、政策扶持和产业基础在低空经济领域展现更强的增长势头；北京、上海等东部核心城市因空域限制等因素，低空经济发展受制约明显。

从耦合协调度分析来看，新质生产力与低空经济的协同水平整体偏低，大多数省份处于中度或轻度失调阶段，能够达到“濒临协调”的省份仅占少数。这说明尽管各地在科技创新或低空经济单一维度上取得进展，但二者之间的互动并不充分，现实中存在产业链与创新链对接不畅、政策资源分散、创新成果转化不足等问题，导致系统间的协同效应尚未有效释放。

此外，空间相关性分析显示，新质生产力与低空经济耦合协调度存在显著的空间集聚效应。东部地区及长三角等区域呈现高-高集聚特征，东北和部分西部省份则属于低-低集聚区域。这表明区域发展之间存在空间依赖关系，强者更强、弱者更弱的“马太效应”趋于明显。区域间协同发展仍需进一步加强，否则区域差距可能进一步扩大，这对低空经济产业体系的整体竞争力构成一定挑战。对影响二者协同发展的因素进行分析得出，政策及社会关注度、劳动力、创新环境和低空企业数量对二者的影响最为显著。基于上述研究结论，提出以下建议。

未来从国家战略、区域协调、产业升级和政策机制等方面着手，推动新质生产力与低空经济实现深度融合。在国家层面，加快构建低空经济发展的顶层设计，推动空域管理改革，建立跨部门联动机制，强化创新链与产业链的贯通能力。同时设立国家级低空经济示范区，通过制度创新与政策试点，引导资源要素向优势区域集中，形成“可复制、可推广”的发展模式。

在区域层面，坚持因地制宜的发展路径。东部地区进一步发挥创新资源和产业集群优势，加强关键核心技术突破，推动城市空中交通、低空物流等高端应用场景落地；中部地区加强区域创新能力建设与产业承接能力，提升科技成果转化水平；西部地区应依托空域资源宽松、空间潜力大的优势，打造全国低空飞行试验中心或文旅低空经济示范区；

东北地区加强产业结构调整和技术升级，利用制造业基础发展无人机配套产业。

在产业层面，加快关键技术突破与产业链完善，特别是在飞控系统、动力系统、低空监测设备等关键领域实现自主可控。同时加大低空基础设施建设力度，包括低空航路网络、监测系统、起降场站等，为低空经济规模化商业化应用奠定基础。各行业积极探索低空经济与传统经济的融合路径，如推进物流配送、农业航空、电力巡检、应急救援等低空应用场景落地。

在政策机制层面，加快完善低空经济相关的法律法规体系，推动实名制管理、动态空域审批、智能监管平台建设。此外，构建多元化的支持政策体系，通过产业基金、税收优惠、保险机制等方式降低行业创新成本，吸引更多资本和企业参与低空经济建设。同时强化人才培养体系，推动高校、科研机构与企业协同培养飞行控制、航空工程、智能制造、空域管理等复合型人才，为低空经济的持续发展提供坚实的人力资源支撑。

综上所述，新质生产力与低空经济协同发展既是产业升级的客观需求，也是推动未来经济增长的重要路径。当前已具备良好基础，但要真正形成强协同效应，还需在技术、制度、产业、区域协调等方面持续发力。未来随着空域政策进一步开放、基础设施不断完善和创新体系更加成熟，新质生产力与低空经济有望形成互促共进的良性循环，为中国经济高质量发展注入持久动力。

参考文献

[1] 谭洪波，秦盛晋. 新质生产力引领低空经济高质量发展：基本特征与突破路径[J]. 价格理论与实践，2025(10)：62-68.

[2] 缴翼飞，王嘉琪. 寻找“十五五”工业新引擎：人工智能、低空经济等重点突围[N]. 21世纪经济报道，2025-04-10(006).

[3] 张雄化. 低空经济兴起及高质量发展的理论与实践：深圳的视角[J]. 特区经济，2023(8)：15-19.

[4] 覃睿. 再论低空经济：概念定义与构成解析[J]. 中国民航大学学报，2023，41(6)：59-64.

[5] 沈映春. 低空经济：“飞”出新赛道[J]. 人民论坛，2024(8)：74-79.

[6] 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.

[7] 张夏恒. 低空经济赋能新质生产力的逻辑、阻碍及建议[J]. 当代经济管理，2025，47(1)：17-23.

[8] 徐浩，冯涛. 新质生产力生态环境的时空演化与发展障碍研究[J]. 统计与信息论坛，2025，40(11)：71-83.

[9] 戴翔. 低空经济赋能新质生产力发展：逻辑及路径[J]. 阅江学刊，2024，16(6)：110-119.

[10] 张青兰，蒋永强. “产业-技术”协同式发展：低空经济高质量发展的新质生产力逻辑及其路径[J]. 当代经济研究，2025(5)：47-55.

[11] 苏振东，宫硕，李卓平. 新质生产力：创新力与生产力的耦合协调分析[J]. 当代经济科学，2025，47(3)：96-114.

[12] 施雄天，余正勇. 新质生产力水平测度、区域差异与复合系统协同度研究[J]. 科技进步与对策，2025，42(7)：9-20.

[13] 刘松林，张虹，杨青龙，等. 低空经济现代化水平的统计测度与时空特征[J]. 统计与决策，2025，41(5)：109-115.

[14] 施雄天，余昊臻，肖懿. 我国区域低空经济现代化发展水平测度及时空演进研究[J]. 工业技术经济，2025，44(9)：118-129.

[15] 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.

[16] 赵光辉，李重荣. 低空经济协同发展助推新质生产力发展的逻辑与路径[J]. 企业科技与发展，2025(1)：22-28.

[17] 李泽明，刘兵. 中国式产业链现代化水平的统计测度、区域差异及动态演进[J]. 统计与决策，2024，40(8)：89-93.

[18] 陈磊，杜宝贵. 科技服务业发展与区域科技创新耦合协调度及影响因素研究[J]. 科学学与科学技术管理，2023，44(12)：51-67.

[19] 乔成治. 新质生产力“三维”指标体系构建、区域差异与对策分析[J]. 商业经济研究，2026(5)：183-188.

[20] 王丙参，魏艳华，张宝学. 中国数字经济水平地区差异、空间集聚及收敛性研究[J]. 统计与信息论坛，2024，39(4)：63-78.

[21] 韩文龙，张瑞生，赵峰. 新质生产力水平测算与中国经济增长新动能[J]. 数量经济技术经济研究，2024，41(6)：5-25.

[22] 郭振敏，汲玉河，周广胜，等. 基于机器学习的兴安落叶松生态系统在不同时间尺度的碳通量模拟及影响因素分析[J]. 生态学报，2025，45(16)：8139-8153.

[23] ZOUNEMAT K M，BATELAAN O，FADAEE M，et al. Ensemble machine learning paradigms in hydrology：a review[J]. Journal of Hydrology，2021，598：126266.

A Spatio-temporal Evolution Study on the Synergistic Development of Low-altitude Economy and New Quality Productivity

WEI Xilu[1], SUN Ying[1,2], GAO Yuelin[1,2]

(1. School of Mathematics and information Science, North Minzu University, Yinchuan 750021, China;
2. Ningxia Collaborative Innobation Center for Scientific Computing and Intelligent Information Processing, Yinchuan 750021, China)

Abstract: To reveal the interaction between new quality productive forces and the low-altitude economy, a corresponding measurement indicator system was constructed. Employing the entropy-weighted TOPSIS model, coupling coordination degree model, kernel density estimation, and spatial autocorrelation analysis, their dynamic evolution and spatial effects were examined. Machine learning algorithms were used to identify key indicator factors significantly influencing their synergistic development. Findings indicate that while new-type productive forces have shown an overall upward trend in recent years, significant regional disparities exist. Low-altitude economic development exhibits pronounced regional imbalances, with overall coupling coordination remaining low, and most provinces experiencing mild to moderate misalignment. Significant spatial correlation exists between their synergistic development. Factors such as policy and social attention, labor force, innovation environment and the number of low-altitude enterprises significantly promote their synergistic development. Based on these findings, policy recommendations include strengthening top-level design and airspace reform at the national level, promoting differentiated development paths at the regional level, accelerating breakthroughs in key technologies and infrastructure construction at the industrial level, and establishing diversified support mechanisms at the policy level.

Keywords: low-altitude economy; new-quality productive forces; coupling coordination degree; moran's index; XGBoost