第二十八届中国科协年会学术论文

成渝低空经济产业竞争力评价与测度

——基于多城市的比较分析

魏春晓[1]，付 杨[2]，何先定[1]

（1. 成都航空职业技术大学无人机产业学院，成都 610100；2. 同济大学政治与国际关系学院，上海 200092）

摘要：以波特“钻石模型”为基础，构建包含“政策环境-传统生产要素-数据要素-产业基础-应用场景”的低空经济产业竞争力评价模型和指标体系，融合熵权-TOPSIS（逼近理想解排序）方法对10个代表性城市的低空经济产业竞争力进行测度，解析其总体特征和区域差异，进而辨识影响成渝地区低空经济发展的优势和短板。研究发现：中国低空经济发展呈现梯队发展格局，成渝两地处于追赶梯队；成都政策环境与应用场景基础较好，重庆制造业支撑能力突出，但两地均面临五维要素协同不足和数据要素发展滞后的结构性约束。因此，成渝两地应深化各自核心优势，构建区域协同的产业发展共同体，并通过共建区域性数据要素市场，推动低空经济产业竞争力系统提升。

关键词：低空经济；钻石模型；产业竞争力

中图分类号：F426.5；F127 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)11－0001－11

伴随全球新空域变革与通用航空产业升级浪潮，低空经济成为挖掘空域资源价值、培育区域发展新动能的重要引擎[1]。成渝地区双城经济圈作为国家区域发展战略的关键承载地，其独特的区位优势、雄厚的产业基础与叠加的政策红利，为抢占低空经济高地奠定了良好基础。但与此同时，成渝两地的低空经济发展也面临资源禀赋转化效率不足、产业链协同短板、创新驱动能力薄弱等核心问题[2]。因此，需要深入测评成渝地区低空经济的发展现状，准确把握两地低空产业发展态势，并具体分析成渝两地的优势和短板，为成渝两地低空经济发展的相关规划及政策制定提供数据支撑，从而提升低空经济产业竞争力，促进区域协同发展。

低空经济作为新质生产力的代表，近年来受到广泛关注，相关研究主要围绕低空经济的内涵和特征以及发展水平和测度两大方向展开。部分学者从物理空间角度出发对低空经济进行定义，认为低空经济是以真高1 000 m（含）以下、部分地区可延伸至3 000 m高度范围的空域为核心，开展的各类开发、利用和保护低空空域的经济活动，以及相关活动的总和[3]。从经济价值角度观察，低空经济是一种综合性经济活动，不仅涉及飞行器的应用，还涵盖了包括无人机制造、低空运输、低空作业和休闲娱乐等多个相关产业，是全球经济的新兴力量。概言之，低空经济是指以低空空域为主要活动场所、以航空运载与作业设备技术为工具、以低空飞行活动为主要形式、联结多条产业链的复杂生态系统和综合性经济活动[4]。因此，低空经济在产业角度具有空间立体性、区域依赖性、数字生态性、产业融合性以及辐射带动性等特征。

目前，关于低空经济的发展水平和现状测度已取得一定进展。周钰哲[4]将低空经济核心要素归纳为空域、基础设施、核心技术、产业生态、专业人才与应用场景等方面。仝鹏和王珂[5]从低空制造、低空飞行、低空保障、综合服务入手测度中国低空经济发展水平。刘松林等[6]从技术创新、基础设施等5大维度测度了各省份的现代化水平，揭示了显著的地区差异与空间相关性。许东松等[7]分别从安全、产业、服务、保障、质量5大维度构建了评价体系，并对重点城市或省份进行了实证测度与比较。在区域实践层面，研究聚焦于总结发展模式与地方经验。王倩倩等[8]针对浙江省的发展实际，构建了

收稿日期：2026-03-03

基金项目：国家社会科学基金项目（22BZZ074）；成都市哲学社会科学研究基地基金项目（CAIACDRCXM2025-44）

作者简介：魏春晓（1995—），女，山东枣庄人，硕士，讲师，研究方向为低空经济评价与政策；付杨（1995—），女，河南郑州人，博士研究生，研究方向为数字治理、区域协同；何先定（1972—），男，四川成都人，教授，研究方向为无人机产业应用。

包含设施供给、需求潜力、产业创新3个维度的评价体系，结合层次分析法和熵权法确定指标权重，测算浙江省各个地市的低空经济发展指数。李晓津等[9]以江苏省为例，研究了低空经济对区域经济贡献。劳铖强和宋晓东[10]、张雄化[11]从制度、创新、数字化平台、系统化市场等方面探讨了大湾区低空经济高质量发展的路径。

既有研究完善了低空经济的理论并丰富实践认知，为其发展提供了有益思路。但在低空经济产业竞争力评价方面仍存在一定的深化空间。在研究设计层面，一方面，现有的产业竞争力指标体系的构建较多依赖经验总结，指标选取未充分植根于产业竞争力的经典理论框架；另一方面，大多数研究尚未从低空经济的特征出发进行指标构建，对数据规模、数据开放、算力、5G基站等新型数字要素的纳入仍显不足，难以全面回应数字时代的发展特征[12-13]。在结果分析层面，既有文献侧重城市综合评分与排序，对内部优势与短板的结构性剖析有待加强。

鉴于此，研究的创新性贡献在于以下3点：①对波特“钻石模型”进行合理延伸与情境化应用，构建出一个植根于该理论、并包含“政策环境-传统生产要素-数据要素-产业基础-应用场景”的低空经济产业竞争力评价模型和五维三级评价指标体系；②结合低空经济的特性，重点将数据开放情况、数据交易额、人工智能算力等数字时代的关键要素纳入指标体系中，凸显新型生产要素对低空经济竞争力的影响；③在研究方法上，利用熵权法和TOPSIS（逼近理想解排序）法构建综合评价模型，衡量成渝地区低空经济竞争力，并识别两地的优势与短板。在此基础上，采用*K*-means聚类分析与社会网络分析法进行异质性及关联度分析。研究结论可为理解低空经济发展逻辑、制定区域差异化发展策略提供理论参考与实践启示。

1 理论基础与评价指标体系构建

1.1 构建基础：波特“钻石模型”理论回顾

20世纪80年代初由美国哈佛大学商学院迈克尔·波特教授在《竞争战略》《竞争优势》和《国家竞争优势》系列著作中提出“钻石模型”。该模型显示特定地区的产业竞争力并非由单一要素决定，而是受生产要素（factor conditions）、需求条件（demand conditions）、相关与支持性产业（related and supporting industries）、企业战略、结构与同业竞争（firm strategy, structure and rivalry）4个内生关键要素的综合影响[14-15]。此外，政府与机会也是影响产业竞争力的两个外生辅助要素[16-17]。波特“钻石模型”作为经典的产业竞争力模型，为分析复杂产业系统的竞争优势形成机制提供了结构性框架。

具体而言，生产要素指产业生存与发展所需的各种资源投入。波特认为建立持久竞争优势的关键在于拥有创造生产要素的机制，而不仅仅是拥有生产要素本身。所以除地理位置、气候、天然资源等初级生产要素外，“钻石模型”更强调通过长期投资与制度培育所形成的高级生产要素，包括交通、通信、信息等基础设施以及人力、知识资源等。需求条件指国内市场需求，其对产业竞争力的提升具有重要推动作用[15]。内部需求市场不仅能促进产业的早期成长，更能激发企业持续创新。这种创新通过提升产品质量与服务标准，为产业最终参与国际竞争提供初始动力。此外，某一地区特定产业的成功发展不仅依赖此单一产业的兴盛，也需要多元交错的产业集群支持。上下游关联产业与横向互补产业通过协同创新、专业分工与资源共享，形成网络化外部效应，为核心产业提供技术、组件与服务支持，共同构筑系统化竞争优势。企业战略、结构与同业竞争指企业发展战略、不同企业的管理意识、国内行业竞争程度等因素。企业战略选择影响企业发展方向，而市场竞争能够倒逼企业提升效率、强化技术迭代与管理创新，从而塑造独特竞争力。

除了上述4个关键因素外，政府和机遇作为外部变量，成为影响产业竞争力的辅助要素。政府要素主要强调政府通过政策引导和制度设计对产业进行支持，通过政策选择对产业竞争力造成间接影响。但钻石理论认为，政府本身并不直接作用于产业，不能帮助企业创造竞争优势，其作用在于为经济发展提供长久的动力。机遇要素指那些超出企业控制范围、但可能重塑产业竞争格局的外部事件，如重大技术突破、全球性经济动荡、国际关系变迁等。机遇要素具有不可预测性和偶然性，其对产业的影响仍取决于企业本身能否依托“钻石体系”作出有效响应与战略调整。波特“钻石模型”六要素相关关系如图1所示。

上述六要素共同构成一个菱形的、存在多重互动关系的有机整体，驱动产业竞争优势的形成与演化。“钻石模型”是产业竞争力分析领域中较为完整、经典的理论模型，但其也因时代限制而不可避免地存在一定局限性。首先，经典的“钻石模型”形

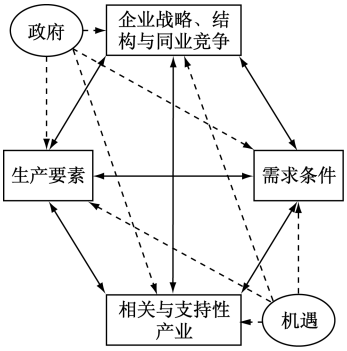


图 1　波特“钻石模型”示意图

成于近半个世纪前,其理论框架主要聚焦于土地、资本、劳动力等传统有形生产要素。因此,模型未能预见在数字经济时代,“数据”会成为一种全新的、关键性的生产要素。其次,模型认为政府仅对产业竞争力产生间接影响,将其作为外部辅助变量。而低空经济作为新兴产业,相对更加依赖前瞻性政策引导,政府的顶层设计和政策指引对其发展有着显著且直接的影响。

1.2　构建逻辑:波特“钻石模型”理论优化与适配

波特“钻石模型”虽源于对国家层面的产业国际竞争力解释,但其核心即强调系统性、互动性与结构性的竞争优势分析框架,同样适用于区域产业竞争力研究。模型所揭示的“竞争优势源于多要素协同整合而非孤立优势”这一规律,并不因分析尺度(国际或国内区域)而改变。因此,在继承波特“钻石模型”核心思想的基础上,结合低空经济的产业特征,将模型的评价维度进行重构,提出低空经济产业竞争力模型,并用于分析成渝地区的低空经济产业竞争力。低空经济产业竞争力模型构建思路如下。

(1)根据低空经济特征和国内发展现状将波特钻石模型优化,把政府从辅助要素提升至核心要素,重点关注政策环境对低空经济发展的影响。国家顶层设计的指引,将低空经济从边缘产业纳入重点战略规划产业中,低空经济整体规模明显扩大。自 2021 年以来,中央政府通过规划、试点等形式的空域制度创新逐步释放资源价值,发展至 2023 年,中国低空经济规模达 5 059.5 亿元,增速 33.8%[18]。从低空经济本身的特征来看,其对空域管理规则、飞行准入标准、数据接入标准等制度性需求高,相关政策和制度环境是产业能否从无到有、规模化发展的先决条件。因此,政府角色在低空经济产业中起到至关重要的作用。

(2)更新迭代“生产要素”内涵并与低空经济语境适配。数据的指数式增长和应用对生产力和生产关系的变革产生重要影响,其也随着人工智能为代表的新一轮产业革命的蓬勃发展而成为新质生产力下的全新生产要素。因而将生产要素拆分为“传统生产要素”与“数据要素”。低空经济作为以低空空域为主要活动场所,以航空运载与作业设备技术为工具的经济活动,其对于机场、低空起降点等的硬性基础支撑要求较高,因而模型中设立“物理基础设施”作为独立的二级指标,强调其作为产业运行的物理承载平台作用。同时,低空经济高复杂度的特征也要求高密度的知识创造与技术突破。因此,模型将波特钻石理论中高级生产要素的核心——科技创新也加以强调并提炼为二级指标“科创投入与人才”,凸显其作为驱动产业升级的内生动力地位。

在数据要素维度,模型提出数字基建和数据规模两个二级指标。数字基建中的算力和通信是低空经济,尤其是低空飞行安全的保障。强大的算力基础和良好的通信网络能够促进低空空域管理、提升低空要素利用率。此外,数据要素作为推动经济发展的新型生产要素类别,对于低空经济的发展也同样具有重要意义。开放、透明的数据环境能够弱化航线规划、起降服务和安全飞行诸多低空关键环节信息壁垒。活跃、稳健的数据市场则作为桥梁创造低空经济产业上下游的需求和创新动能。因此,模型在数据规模维度关注各城市数据开放程度和数据交易规模,以评估低空经济发展所需的数据环境。

(3)整合“相关与支持性产业”与“企业战略与同业竞争”,构建“产业基础”。低空经济具有强产业融合性和协同带动性的形式特征,其竞争力体现在整机研发、零部件制造、飞行服务、运营保障等上下游产业集群的成熟度与协同性上。因此,将企业主体规模和产业集群水平融合作为“产业基础”维度,用以综合评估从上游研发制造到下游服务应用的产业链完整性与竞争力。

(4)根据低空经济的市场需求将“需求条件”具体化为“应用场景”。低空经济的市场需求并非抽象概念,而是通过物流配送、载人交通、农林作业、城市管理等具体“应用场景”来呈现和拉动。此维度转换旨在更直观地衡量内需市场的规模、成熟度及前瞻性,判断现有市场的应用场景及规模能否为技术迭代和商业模式创新提供初始动力。

(5)发展机遇相对而言具有不可预测性和不稳定性,较难有统一指标将其量化。此外,机遇实质上内蕴于上述诸维度之中,如政策的窗口期、技术突破、市场需求风口等。因此,机遇对于低空经济产业竞争力的影响需要借助其他维度进行传递,所以将“机遇”要素内化于各维度的动态演进中,不再为其设置独立维度。综上所述,根据波特“钻石模型”重构后的低空经济产业竞争力模型如图2所示。

根据建立的低空经济产业竞争力模型,构建了包含“政策环境-传统生产要素-数据要素-产业基础-应用场景”5个维度的指标体系,以期更精准地刻画成渝地区低空经济的竞争力格局。波特“钻石模型”各因素与低空经济竞争力评价维度对应关系见表1。

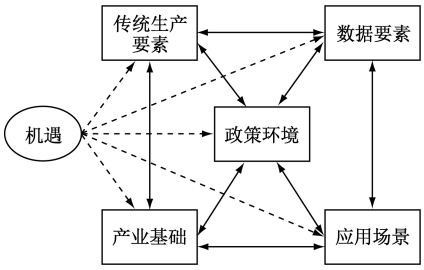


图2　基于波特“钻石模型”重构后的低空经济产业竞争力模型

表1　波特“钻石模型”因素与低空经济竞争力评价维度对应关系

波特“钻石模型”因素	低空经济竞争力评价维度	转换说明
政府行为(外部变量)	政策环境	权重上升
生产要素	传统生产要素	拆分与具象化
	数据要素	拆分与核心化
相关与支持性产业	产业基础	融合与扩展
企业战略、结构与同业竞争		
需求条件	应用场景	具体化、场景化
机遇(外部变量)	—	内化于上述维度中

1.3　构建依据:成渝地区低空经济发展现状

1.3.1　成渝地区低空经济多层次政策支持体系

在政策环境方面,成渝地区已形成较为显著的多层次制度优势[19]。在中央政府层面,《成渝地区双城经济圈国土空间规划(2021—2035年)》明确提出将成渝地区建设成为具有全国影响力的重要经济中心与科技创新中心,为低空经济发展奠定了战略定位。在地方层面,成都与重庆相继出台《成都市低空经济促进办法(征求意见稿)》《重庆市推动低空空域管理改革促进低空经济高质量发展行动方案(2024—2027年)》等一系列专项政策,为低空经济提供了有力的制度驱动力与合法性保障。

1.3.2　成渝地区发展低空经济的设施基础和科创资源

成渝地区具备优越的自然与区位条件,盆地地形开阔、气候适宜,加之作为西部交通枢纽和人口经济集聚区,拥有庞大的潜在市场与航线网络基础。在物理设施方面,依托通用机场与起降点建设,已初步形成地面服务保障体系。在科技创新方面,根据相关学者研究[20-21],该地区集聚了多所高校与国家级科研机构,在航空宇航、人工智能等低空经济相关领域具备较强的研发积累与人才储备,为产业技术突破与原始创新提供了支撑。

1.3.3　成渝地区发展低空经济的数字基建和数据资源

在数据资源层面,成渝地区拥有超1亿人口及坚实的工业与商贸基础,积累了规模庞大、价值突出的多元数据。在数据流通与开放方面,两地政府协同推进公共数据与社会数据融合,依托重庆数据交易所等平台逐步建立数据交易体系,推动数据要素有序流通与价值转化。在数字基础设施方面,作为“东数西算”国家工程的核心节点,成渝已布局成都超算中心等高性能算力设施,并凭借国家级互联网骨干直联点与先进网络架构,构建起低时延、高可靠的算力网络体系。

1.3.4　成渝地区发展低空经济先进制造业的支撑能力

坚实的制造业基础是低空经济从概念走向产业化的重要依托,其作用机制主要体现在产业集群带来的规模经济、知识外溢与协同效应。依据《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》及相关产业报告,该地区装备制造业规模已超过1.2万亿元,在航空航天、汽车制造、电子信息等领域产业链完整、配套能力较强,能够为无人机整机研发、关键部件制造、地面设施建设等环节提供有力支撑。

1.3.5　成渝地区多样化的应用需求和市场潜力

丰富多元的应用场景是低空经济实现商业化价值的关键环节。成都和重庆的地方统计年鉴表明,成渝地区人口密集、经济活跃、地貌多样,在物流配送、低空旅游、农林植保等领域孕育出大量差异化需求,为技术验证与应用创新提供了试验空间。成都聚焦低空安全防控、飞行服务保障、低空生产制造、低空飞行应用等领域痛点难点问题,发布涉及39项供给清单、48项需求清单[22],重庆则围

绕超大城市现代化治理和低空货运物流两大领域,发布首批低空经济应用场景机会清单42项和能力清单40项[23],推动低空经济与城市治理、民生服务、产业发展深度融合。

1.4 构建结果:五维三级的低空经济产业竞争力评价指标体系

综上所述,结合成渝地区发展实际,构建了基于波特"钻石模型"的低空经济产业竞争力评价模型及指标体系,如图3及表2所示。

研究构建了"一级指标-二级指标-三级指标"的层次化评价指标体系,以保障其系统性与完整性。三级指标作为最基础、最具体的观测变量,是竞争力测度的直接数据来源,能够最为直观和精确地反映各地区在低空经济各细分领域的发展现状。一级指标代表了竞争力构成的宏观方面,是分析区域优势与短板的理论框架。因此,在后续的测度结果展示、比较分析与对策探讨中,论述将主要围绕一级指标和三级指标展开,避免因二级指标过多而导致的论述分散,以实现宏观把握与微观洞察的有效结合。

2 研究设计

2.1 研究城市选取依据

为全面、科学地评价中国低空经济的发展格局,在确定以成渝为研究核心的基础上,参考《中国低空经济发展研究报告(2024)》,进一步选取北京、上海、广州、深圳、西安、武汉、苏州、杭州8个城市作为对比城市,旨在构建一个覆盖多元驱动模式、关键区域布局和不同产业基础的立体化评价集合。这些城市分别代表了政策规制(北京)、全产业链(深圳)、高端制造与场景(上海、广州)、传统航空底蕴(西安)、区域枢纽应用(武汉)及数字技术赋能(杭州、苏州)等低空经济发展的关键驱动模式,与成渝两地共同勾勒出中国低空经济发展的多元全景与核心格局。

2.2 数据来源

为确保评价指标的数据可得性与可比性,研究的原始数据主要来源于各省市统计年鉴、各市国民经济和社会发展统计公报、各市政府门户网站、中国政府采购网、民航局通用机场信息管理系统及企查查等公开平台。在指标体系中,将数据要素作为重要维度,并设置数据规模、数字基础设施等相关指标。由于当前中国数据要素市场仍处于发展阶段,部分指标尚未形成统一统计口径,因此对其中

表2 低空经济产业竞争力五维三级评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位
A1 政策环境	B1 政府支持力度	C1 一般公共预算支出(科学技术)	亿元
		C2 入选无人驾驶航空试验基地(试验区)数量	个
	B2 制度创新能力	C3 获批的低空航路航线数量	条
		C4 颁布的低空经济相关政策文件数量	个
A2 传统生产要素	B3 物理基础设施	C5 通用航空机场数量	个
		C6 低空飞行器起降点数量	个
	B4 科创投入与人才	C7 研究与试验发展(R&D)内部经费支出	万元
		C8 普通高等学校年度毕业生人数	人
A3 数据要素	B5 数据规模	C9 数据交易所交易规模	亿元
		C10 数据开放指数	—
	B6 数字基建	C11 5G通信基站数量	个
		C12 人工智能算力规模	PFlops
A4 产业基础	B7 企业主体规模	C13 经营范围含"低空、无人机、通用航空、eVTOL"的企业数量	家
		C14 相关领域上市公司企业数量	家
	B8 产业集群水平	C15 航空航天和其他运输设备制造业年度营业收入	亿元
		C16 计算机、通信和其他电子设备制造业年度营业收入	亿元
A5 应用场景	B9 市场需求潜力	C17 快递业务量	万件
		C18 年度旅游总收入	亿元
		C19 年度农林牧渔总产值	亿元
	B10 应用示范规模	C20 公开招标的政府低空应用项目数量	个

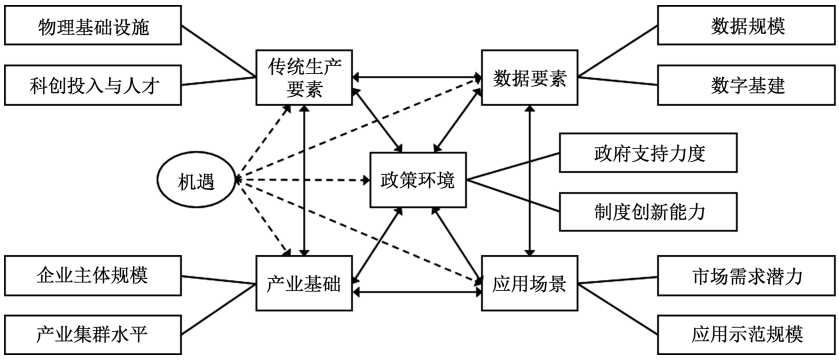


图3 基于波特"钻石模型"的低空经济产业竞争力评价模型

代表性较强且数据获取方式相对复杂的指标进行补充说明。

其中，C9数据交易所交易规模指标主要来源于各地数据交易所或数据要素流通平台公开发布的年度交易额，并结合地方政府数字经济发展报告进行交叉校验。C12人工智能算力规模指标主要依据各城市算力中心、超算中心以及相关算力基础设施规模进行测度，数据来源包括工信部算力基础设施报告以及地方政府发布的算力中心建设信息。数据交易规模能够反映城市数据要素流通与共享水平，有助于推动低空空域管理、飞行数据共享及应用场景开发；算力则为低空大数据处理、智能控制及人工智能算法训练提供技术支持，二者能够较好地反映数据要素对低空经济产业发展的支撑能力。

鉴于低空经济在2024年首次被写入政府工作报告的政策里程碑意义，并考虑关键数据的可得性，选取2023年与2024年作为核心分析年度。对于部分缺失数据，根据年变化率进行补齐。

2.3 评价模型

为避免主观判断导致评价结果的偏差，选择熵权法与TOPSIS法相结合进行评价。熵权法是一种基于决策矩阵信息量的客观权重赋值方法，它根据各指标的信息熵来确定权重，信息熵越小，对应的指标权重则越大。具体计算步骤包括原始数据标准化、计算各指标比重、计算指标信息熵、计算各指标权重[24]。TOPSIS法是一种基于理想点比较的多属性决策方法。其核心思想是通过构造评价问题的正理想解(最优方案)和负理想解(最劣方案)，然后计算各备选方案与这两个理想解的欧氏距离，进而得出各方案与最优方案的相对接近度。相对接近度越高，表明该方案的综合表现越好。具体计算步骤包括决策矩阵的归一化处理、确定正负理想解、计算各方案到理想解的欧氏距离、计算相对接近度[25]。熵权法能够基于数据本身的离散程度客观赋权，有效避免人为主观因素的干扰；而TOPSIS法则通过计算评价对象与理想解的相对贴近度进行排序，概念清晰且结果直观。二者结合，既能保证权重确定的客观性，又能实现对城市竞争力的有效排序和差距分析。利用熵权-TOPSIS模型对低空经济产业竞争力评价的具体步骤如下。

(1)根据上述指标体系和评价对象，生成评价对象对应指标的原始矩阵 $\boldsymbol{R}$。

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中：m 为评价城市数；n 为评价指标数。

(2)对原始矩阵 $\boldsymbol{R}$ 利用极差法进行标准化处理，得到归一化矩阵 $\boldsymbol{S}$，使得所有 $\boldsymbol{S}$ 矩阵中每个元素 s_{ij} 都落在[0,1]区间。假设指标均为正向指标，即指标越大越好，则 s_{ij} 为

$$s_{ij}=\frac{r_{ij}-\min r_{ij}}{\max r_{ij}-\min r_{ij}} \tag{2}$$

式中：r_{ij} 为指标的原始值；$\max r_{ij}$ 为第 j 项指标的最大值；$\min r_{ij}$ 为第 j 项指标的最小值；$i=1,2,\cdots,m$；$j=1,2,\cdots,n$。

(3)计算第 j 项指标的熵 H_j 和熵权 w_j，构建评价矩阵 $\boldsymbol{Y}$。

$$H_j=-\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^{m}t_{ij}\ln t_{ij} \tag{3}$$

$$w_j=\frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^{n}(1-H_j)} \tag{4}$$

$$\boldsymbol{Y}=(y_{ij})_{m\times n},\ y_{ij}=w_j s_{ij} \tag{5}$$

式中：$t_{ij}=s_{ij}\Big/\sum_{i=1}^{m}s_{ij}$。指标的熵越小，说明该指标包含的信息量越大，在综合评价中所占的权重就越大。同时也可以得到第 i 个城市的低空经济产业竞争力综合得分 $P_i=\sum_{j=1}^{n}s_{ij}w_j$。

(4)确定第 j 个指标的最优解 y_j^+ 和最劣解 y_j^-。

$$\begin{cases} y_j^+=\max(y_{1j},y_{2j},\cdots,y_{mj}) \\ y_j^-=\min(y_{1j},y_{2j},\cdots,y_{mj}) \end{cases} \tag{6}$$

(5)计算各城市20个三级指标与最优解的欧式距离 D_i^+ 和最劣解的欧式距离 D_i^-。

$$\begin{cases} D_i^+=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(y_j^+-y_{ij})^2} \\ D_i^-=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(y_j^--y_{ij})^2} \end{cases} \tag{7}$$

(6)计算各城市20个三级指标与最优解的贴近度 C_i。

$$C_i=\frac{D_i^-}{D_i^++D_i^-} \tag{8}$$

贴进度 C_i 的取值范围为[0,1]。贴近度越大，认为该城市的低空经济产业竞争力越强。

3 实证计算与结果分析

3.1 低空经济产业竞争力评价模型指标权重分析

利用熵权法计算低空经济产业竞争力评价模型五维三级指标的权重,结果如表 3 和图 4 所示。由表 3 可知,在 20 项三级指标中,C9 数据交易所交易规模的权重最高,达到 0.119 9,这反映了在数字时代背景下,数据规模和数据流动对低空经济竞争力的关键影响。其次,C13 经营范围含低空经济相关企业数量与 C2 入选无人驾驶航空试验基地数量的权重也较为突出,分别为 0.092 4 和 0.090 6,说明市场主体规模与政策试点支持是影响区域低空经济发展水平的重要因素。此外,C14 相关领域上市公司数量、C3 获批的低空航路航线数量、C16 计算机、通信和其他电子设备制造业营业收入及C6 低空起降点数量的权重处于中等偏高水平,体现了产业基础、空域资源供给以及电子信息产业支撑对低空经济竞争力的实际影响。相比之下,C8 普通高等学校年度毕业生人、C11 5G 通信基站数量、C18 年度旅游总收入等指标的权重相对较低,均未超过 0.02,说明这些指标对整体竞争力的区分作用相对有限,或与其他指标存在一定信息重叠。

进一步分析低空经济产业竞争力评价模型 5 个维度的权重,如图 5 所示。其中产业基础权重最高(0.282 6),表明产业链完整性、企业集聚与配套能力是支撑竞争力的核心;政策环境次之(0.233 1),凸显制度供给与政府引导在产业发展初期的关键作用;数据要素权重为 0.186 2,突出数字时代下数据资源、算力基础与开放能力作为新型生产要素的重要性;传统生产要素权重为 0.155 5,涵盖基础设施、科研投入与人才储备,构成产业发展的物理与人力基础;应用场景权重为 0.142 7,反映市场需求与示范项目对技术落地和业态培育的拉动作用。这一权重结构既呼应了波特“钻石模型”理论中各因素的系统性、互动性和结构性,也强调了在低空经济这一新兴领域中,政策引领与数据驱动所扮演的关键角色,从而为系统地评估区域竞争力提供了理论依据与实证切入点,也为后续的 TOPSIS 综合评价与短板分析提供了客观依据。

表 3 低空经济产业竞争力评价模型指标权重

指标	权重	指标	权重	指标	权重	指标	权重	指标	权重
A1	0.233 1	A2	0.155 5	A3	0.186 2	A4	0.282 6	A5	0.142 7
B1	0.114 3	B3	0.115 3	B5	0.141 5	B7	0.176 2	B9	0.095 9
B2	0.118 8	B4	0.040 2	B6	0.044 6	B8	0.106 5	B10	0.046 8
C1	0.023 6	C5	0.050 3	C9	0.119 9	C13	0.092 4	C17	0.042 5
C2	0.090 6	C6	0.065 0	C10	0.021 6	C14	0.083 8	C18	0.015 4
C3	0.075 9	C7	0.026 7	C11	0.017 1	C15	0.043 4	C19	0.038 0
C4	0.042 8	C8	0.013 5	C12	0.027 5	C16	0.063 0	C20	0.046 8

3.2 10 个代表性城市低空经济产业竞争力异质性分析

基于熵权法构建的 10 个代表性城市低空经济产业竞争力综合指数见表 4。数据显示,中国主要城市在低空经济发展水平上呈现显著的非均衡发展格局。为确保梯队划分的客观性,以各城市综合竞争力指数为聚类依据,采用 K-means 聚类方法分层分析。通过分析不同聚类数(k)下误差平方和(SSE)的变化趋势,发现当 $k=4$ 时,SSE 下降幅度显著趋缓,形成较为明显的“肘部”特征,表明可以将样本城市划分为 4 个竞争力梯队。

深圳作为第 1 梯队,其综合得分显著领先,在产业基础、数据要素及应用场景等多个维度表现突出,形成了较为完整的低空经济生态体系,具备较强的引领和辐射能力。第 2 梯队包括北京、上海等城市,这些城市在政策创新、科研投入、基础设施等

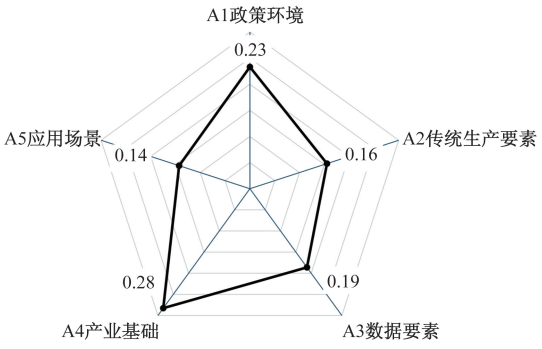


图 5 低空经济产业竞争力评价模型一级指标权重

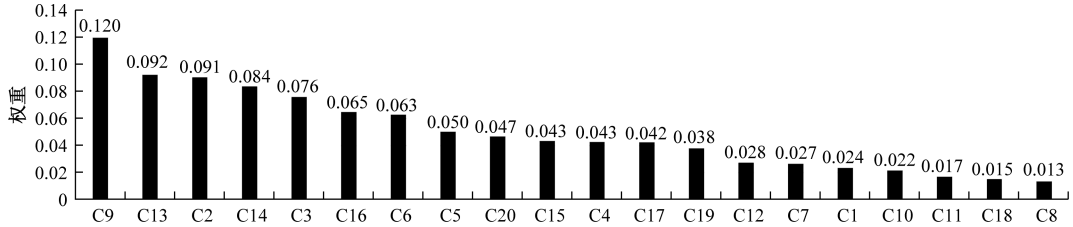


图 4 低空经济产业竞争力评价模型三级指标权重

表 4　10 个代表性城市低空经济产业竞争力综合指数（百分制）与梯队划分

排名	城市	综合得分	梯队	排名	城市	综合得分	梯队
1	深圳	79.08	第 1 梯队	6	杭州	29.14	第 3 梯队
2	北京	52.09	第 2 梯队	7	苏州	23.10	第 4 梯队
3	上海	43.20	第 2 梯队	8	重庆	21.52	第 4 梯队
4	成都	30.69	第 3 梯队	9	武汉	18.68	第 4 梯队
5	广州	30.53	第 3 梯队	10	西安	13.36	第 4 梯队

方面具有明显优势，整体竞争力较强，是中国低空经济发展的重要支撑力量。第 3 梯队涵盖成都、广州、杭州等城市，它们在部分领域如应用场景、特色产业等方面具备一定基础，发展势头良好，正逐步加快布局，具有较大的提升空间和发展潜力。第 4 梯队包括苏州、重庆、武汉、西安等城市，目前整体竞争力相对较弱，但在区域市场、政策试点或特色应用等方面已开始布局，未来有望在差异化路径中逐步培育竞争力。

基于 TOPSIS 模型计算 10 个代表性城市低空经济产业竞争力五维指标贴近度（图 6），直观地揭示了 10 个代表性城市在低空经济 5 大核心要素上的结构性差异。深圳表现最为均衡且突出，在传统生产要素（0.84）、数据要素（0.90）和产业基础（0.78）上贴近度均居首位，展现出在基础设施、科创资源、数据能力与产业链完整性上的全面领先优势，奠定了其作为低空经济发展标杆的地位。在第 2 梯队中，北京和上海在政策环境方面表现突出，显示其在科技创新投入、政策体系构建与制度创新上的引领作用，二者共同构成中国低空经济发展的重要支撑。

在第 3 梯队城市中，成都政策环境贴近度达 0.60，应用场景为 0.50，表现积极，但在传统生产要素（0.13）和数据要素（0.10）方面稍显薄弱；杭州同样在政策环境（0.63）方面有一定基础，但产业基础贴近度为 0.04，要素支撑相对不足；广州主要受益于物流、文旅与农业应用基础，在应用场景方面表现突出（0.59），但数据要素（0.26）方面相对滞后。

第 4 梯队城市整体竞争力相对较弱，各维度贴近度普遍较低。具体来看，在政策环境方面，除重庆（0.51）、苏州（0.31）相对较好外，武汉（0.11）和西安（0.07）均表现较弱，反映该类城市在低空经济相关的政策体系构建与制度创新上仍处于起步或局部推进阶段。在数据要素方面，4 城贴近度均未超过 0.11，其中重庆（0.08）与西安（0.03）尤为薄弱，说明数据资源积累、数字基础设施建设仍是该梯队的普遍短板。

总体来看，中国低空经济发展呈现要素不均衡的特征。各城市应结合自身资源禀赋，在发挥优势维度的同时，着力补强短板，推动形成差异化定位、协同化发展的低空经济产业格局。

3.3　成渝低空经济产业竞争力对比分析

为了进一步剖析成渝两地低空经济产业竞争力的内在结构差异，利用 TOPSIS 模型对两地 20 项三级指标进行贴近度测算，结果如图 7 所示。图 7 表明，成都作为第 3 梯队的代表，在政策环境与应用场景方面具有相对优势：其 C2 无人驾驶航空试验区（1.00）、C19 农林牧渔总产值（1.00）贴近度突出，反映出较强的政策牵引与特色场景基础；C8 普通高校毕业生规模（0.66）也为其创新活动提供了一定人力储备。然而，在数据要素方面表现较为薄弱，C9 数据交易规模（0.02）贴近度偏低，C5 通用机场等传统基础设施（0.04）也存在明显短板，说明其在数据赋能与部分基础支撑环节仍有较大提升空间。重庆作为第 4 梯队城市，其 C15 航空航天制造业营收（0.96）贴近度显著领先，显示出坚实的高端制造能力；C6 低空起降点数量（0.15）也具有一定基础。相比之下，C12 人工智能算力（0）、C9 数据交易规模（0.01）、C7 科研经费支出（0.03）等指标贴近度均处于低水平，反映出其在数字化转型与创新能力支撑上的不足。

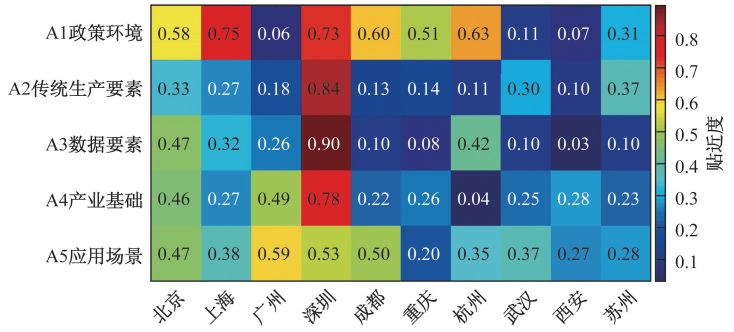


图 6　10 个代表性城市低空经济产业竞争力五维指标贴近度热力图

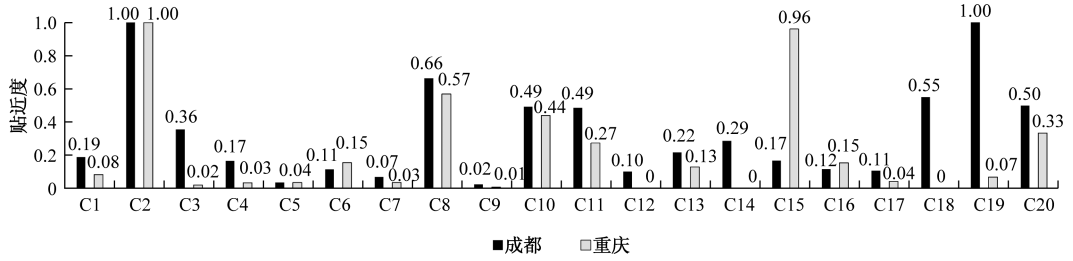


图 7　成渝两地低空经济产业竞争力三级指标贴近度对比

综上所述,成渝两地虽在低空经济发展中处于不同梯队,但具备一定的要素互补潜力。成都可依托其政策创新、场景开放与科研储备的优势,重点强化研发测试与特色场景应用;重庆则可发挥其高端制造与产业链基础优势,聚焦飞行器生产制造环节。两地在推进协同过程中,应尤其重视数据要素共建共享,通过"研发—制造—场景"联动,逐步弥补单点发展的局限,共同推动成渝地区低空经济产业竞争力的系统提升。

3.4　成渝低空经济产业关联度分析

为进一步揭示成渝两地低空经济协同情况及具体关联度,基于引力模型并结合社会网络分析法构建城市间五维要素关联网络。引力模型能够有效测度城市间的空间相互作用,已被广泛应用于区域经济联系研究[26]。具体而言,分别以政策环境、传统生产要素、数据要素、产业基础、应用场景 5 个维度的贴近度作为节点质量指标,以城市间直线地理距离为距离参数,计算各维度下城市间的引力值。由于引力值为连续变量,需要设定阈值以识别是否存在实质性关联。以所有城市间引力值的均值作为阈值,将高于阈值的引力值记为 1(存在关联),否则记为 0,得到二值化矩阵。二值化处理使网络结构更为清晰,便于计算中心度等经典指标。通过计算各维度下成渝之间的原始引力值,并结合二值化网络中的直接连接关系,以及两地在网络中的点度中心度,综合判断成渝要素协同的强弱程度。结果见表 5。

表 5 显示,成渝两地在低空经济 5 个要素维度上的协同呈现非均衡特征。成渝政策环境维度引力值(4.18×10^{-6})高于全国均值,二值网络中形成直接关联,两地标准化点度中心度均为 0.222,表明在该维度网络中处于中等活跃水平。这说明两地在空域管理改革、专项政策制定等方面有较强的协同基础。成渝应用场景维度存在直接边,但低于全国均值(2.38×10^{-6}),反映出两地在物流配送、低空旅游等应用领域已建立初步联动,但协同强度相对偏弱,尚未形成规模化的市场牵引效应。传统生产要素、数据要素、产业基础 3 个维度的成渝引力值均低于相应均值,且无直接边,点度中心度为 0。这表明成渝在物理基础设施、科创人才投入、数据要素流通及产业链配套等关键环节的协作关系弱,成为当前区域协同发展的短板。

表 5　成渝低空经济关联度分析结果

维度	成渝引力值/10^{-6}	是否有直接边	点度中心度	
			成都	重庆
政策环境	4.18	是	0.222	0.222
传统生产要素	0.25	否	0	0
数据要素	0.11	否	0	0
产业基础	0.79	否	0	0
应用场景	1.37	是	0.222	0.222

4　结论与建议

4.1　研究结论

以波特"钻石模型"为视角,对该模型进行继承和重构,形成了低空经济产业竞争力模型,基于此构建了与产业竞争力发展核心要素对应的"政策环境-传统生产要素-数据要素-产业基础-应用场景"五维三级低空经济产业竞争力评价指标体系。以成渝经济圈为样本,利用熵权-TOPSIS 模型对 10 个代表性城市进行测度,并结合 K-means 聚类方法对城市竞争力梯队结构进行分析,从而系统考察成渝地区低空经济产业竞争力的发展现状、优势与短板。具体结论如下。

(1)中国低空经济产业发展呈现梯队格局,成渝两地处于追赶态势。K-means 聚类结果显示,10 个城市低空经济形成 4 个发展梯队。深圳凭借多要素协同优势,在低空经济竞争力上显著领先;成都、重庆则分属第 3、第 4 梯队。

(2)成渝两地低空经济发展五维要素呈现出单点突破、协同不足的特征。贴近度分析结果显示,成都低空经济政策牵引力较强,应用场景丰富,市场需求旺盛;重庆则具有明显制造基础优势。社会网络分析进一步表明,两地在政策环境与应用场景

维度协同较强，而传统生产要素、数据要素与产业基础维度则协同不足，未能实现五维之间的耦合共振，尚未形成自我强化的产业生态系统。

(3)数据要素已成为驱动低空经济高质量发展的关键支柱，成渝此要素发展较为薄弱。熵权法结果显示，数据要素维度权重已超越传统生产要素，其发展水平与城市整体竞争力呈现正相关。深圳、上海、北京等数据要素贴近度高的城市，其综合竞争力均位居前列；成渝两地则表现欠佳，数据要素贴近度均处于下游水平。这说明成渝两地虽然在物理基础设施和传统制造上有所积累，但在低空数据开放、交易规模及算力支撑等数据要素建设上相对滞后，制约低空经济产业发展。

4.2 建议

基于上述研究结论，为破解成渝地区低空经济“协同不足、数据薄弱”的发展困境，推动其从“追赶梯队”向前序梯队迈进，提出如下建议。

(1)深化两地核心优势，实行差异化提升战略。成渝两地应立足自身既有禀赋，差异化提升各自的比较优势。成都应进一步发挥其在政策创新与多元应用场景方面的优势，可采取健全与完善域内低空空域管理规则、扩大示范场景范围并深化其商业化价值等措施，将制度红利和市场潜力转化为产业发展的持续牵引力。重庆则继续巩固与拓展其航空制造业基础，着力强化产业链关键环节的自主研发能力与规模优势，打造具有全国影响力的低空装备制造与系统集成基地。

(2)构建区域协同、优势互补的产业发展共同体。成渝两地应超越简单的产业地理分工，协同推进传统要素与产业基础维度发展。例如，两地可以协同发布并持续更新关键技术攻关清单，并利用“揭榜挂帅”等制度形式，组织科研力量集中突破；协同设立产业引导基金，联合引进与培育具备全球竞争力的链主企业，从而系统性补强创新与企业主体规模短板。此外，区域优势互补能够造就产业合作空间[27]。成渝两地也应将成都的场景需求优势与重庆制造能力承接优势相结合，形成循环赋能的产业生态链，将两地的比较优势转化为稳定、可持续发展的区域整体竞争力。

(3)夯实数字底座，共建区域性数据要素市场。面对数据要素这一共同短板与未来竞争制高点，成渝两地应将其置于区域合作的关键位置。两地可携手建立算力平台，为低空经济数据应用提供坚实基座。此外，两地也应建立低空数据协同发展联席会议机制，通过常态化沟通协调平台，统筹构建区域性低空数据要素市场，推进数据开放与流通交易。两地通过协调机制和统一市场的建立推动区域性数据流通服务平台构建，并促进空域、运维等核心低空数据资源的资产化与市场化流通，为区域低空产业发展注入新动力。

参考文献

[1] 刘亚亚，杨德林，戴永. 低空经济的概念内涵、发展特征与推进策略[J]. 技术经济，2025，44(3)：29-37.

[2] 杨继瑞，王平. 成渝地区双城经济圈低空经济发展现状、挑战及路径抉择[J]. 西部论坛，2025，35(4)：98-109.

[3] 欧阳桃花. 低空经济的技术创新与场景创新[J]. 人民论坛·学术前沿，2024(15)：57-68.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 许东松，于一，李方正，等. 中国低空经济发展水平测度与区域比较[J]. 财经理论研究，2025(1)：47-58.

[8] 王倩倩，白鸿宇，顾思诗. 浙江省低空经济发展水平评价指标体系构建与测度[J]. 统计科学与实践，2025(6)：27-30.

[9] 李晓津，刘斯迪，刁斯桐，等. 低空经济对区域经济贡献的测度研究：以江苏省为例[J]. 价格理论与实践，2024(10)：184-190.

[10] 劳钺强，宋晓东. 粤港澳大湾区低空经济产业生态的构建路径研究[J]. 特区实践与理论，2024(2)：20-25.

[11] 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.

[12] 于欢，金建朋，赵红军. 数据要素何以赋能中国企业绿色创新“增量提质”[J/OL]. 产业经济评论，1-20[2025-12-04]. https：//doi. org/10. 19313/j. cnki. cn10-1223/f. 20251121. 003.

[13] 沈映春，张豪兴. 数字基础设施建设对低空经济高质量发展的影响研究[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版)，2024，37(5)：96-108.

[14] 杨青松，李明生. 论波特五力模型及其补充[J]. 长沙铁道学院学报(社会科学版)，2005(4)：95-96，108.

[15] MICHAEL P. The competitive advantage of nations[J]. Harvard Business Review，1990，68(2)：73-93.

[16] 石宇飞. 以制造业发展促进中国国家竞争力提升：基于波特钻石模型的分析[J]. 税务与经济，2020(4)：20-26.

[17] 郭旭红，李玄煜. 新常态下我国战略性新兴产业竞争力的经济学分析：以波特“钻石模型”为视角[J]. 湖北社会科学，2016(12)：84-89.

[18] 新华网. 2023年中国低空经济规模超过5000亿元[EB/OL]. (2024-04-02)[2025-12-05]. https：//www.

news.cn/2024-04/02/c_1212348383.htm.
[19] 余利. 以新质生产力推动成都低空经济高质量发展[J/OL]. 商业经济, 1-4[2025-11-16]. https://doi.org/10.19905/j.cnki.syjj1982.20251028.013.
[20] 杨玲, 谭志雄. 基于"五大协同"的成渝地区双城经济圈科技创新走廊构建路径研究[J]. 中国西部, 2025(4): 30-40.
[21] 范双双, 任清怡, 朱鑫黎, 等. 加快推动科技创新与产业创新融合发展助力具有全国影响力的科技创新中心建设取得新突破: 成渝科技创新中心指数报告(2025)[J]. 决策咨询, 2025(4): 18-23.
[22] 成都市人民政府网站. 成都市低空经济创新场景需求清单[EB/OL]. (2025-04-09)[2025-12-05]. https://www.chengdu.gov.cn/cdsrmzf/c179021/2025-04/09/content_25b50bdbeee4452a973a2b04f6fd05d9.shtml.
[23] 重庆市发展改革委. 重庆市发展和改革委员会关于发布重庆市2025年第一批低空经济应用场景机会清单和能力清单[EB/OL]. (2025-06-06)[2025-12-05]. https://fzggw.cq.gov.cn/zwxx/tzgg/202506/t20250606_14690954_wap.html.
[24] 杜挺, 谢贤健, 梁海艳, 等. 基于熵权TOPSIS和GIS的重庆市县域经济综合评价及空间分析[J]. 经济地理, 2014, 34(6): 40-47.
[25] 王克克, 艾伟, 殷艳艳, 等. 基于动态三角模糊数与改进TOPSIS法的冲突型群决策方法研究[J]. 计算机科学, 2025, 52(S2): 802-809.
[26] 白俊红, 王钺, 蒋伏心, 等. 研发要素流动、空间知识溢出与经济增长[J]. 经济研究, 2017, 52(7): 109-123.
[27] 盛新宇. 优势互补与区域协调发展: 产业分工合作视角[J]. 经济体制改革, 2024(4): 23-31.

Evaluation and Measurement of Chengdu-Chongqing Region Low-altitude Economy Industrial Competitiveness: A Comparative Analysis of Multiple Cities

WEI Chunxiao[1], FU Yang[2], HE Xianding[1]
(1. School of Unmanned Aerial Vehicle Industry, Chengdu Aeronautic Polytechnic University, Chengdu 610100, China;
2. School of Political Science & International Relations, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on Porter's Diamond Model, an evaluation model and indicator system for low-altitude economy industrial competitiveness were constructed, encompassing five dimensions: policy environment, traditional production factors, data factors, industrial base, and application scenarios. The entropy weight-TOPSIS(technique for order preference by similarity to ideal solution)method was integrated to measure the industrial competitiveness of the low-altitude economy in ten representative cities. Overall characteristics and regional disparities were analyzed, and strengths and weaknesses affecting the development of the low-altitude economy in the Chengdu-Chongqing region were subsequently identified. The findings are as follows. The development of China's low-altitude economy exhibits a flying-geese pattern with distinct tiers, and the Chengdu-Chongqing region is positioned in a catching-up tier. Chengdu has a relatively solid foundation in policy environment and application scenarios, while Chongqing possesses prominent manufacturing support capabilities. However, both regions face structural constraints, including insufficient synergy among the five-dimensional factors and lagging development of data factors. Therefore, the Chengdu-Chongqing region should further deepen its respective core advantages, build a regionally coordinated industrial development community, and jointly establish a regional data factor market to drive the systematic enhancement of low-altitude economy industrial competitiveness.

Keywords: low-altitude economy; diamond model; industrial competitiveness