

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2026.03.006

低空产业生态与低空新质生产力 ——基于长三角和珠三角城市的 TOE-QCA 组态分析

李瑞雪,朱富显,徐晓莉

(新疆大学 经济与管理学院,新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要:根据 TOE 框架,低空产业生态的技术、组织、环境 3 个维度中,知识创新成果、低空市场主体、高素质人才、政策牵引、基础设施建设是驱动低空新质生产力发展的关键要素。以上述 5 个关键要素为条件变量,以城市低空产业全要素生产率(表征低空新质生产力)为结果变量,采用长三角和珠三角 50 个城市 2018—2024 年的数据进行动态 QCA 分析,研究发现:5 个关键要素均无法单独成为高低空新质生产力水平的必要条件,长三角城市形成“主体-知识内生型”“环境-知识驱动型”“主体-基建-知识嫁接型”3 种高低空新质生产力水平的要素组态,珠三角城市形成“环境-人才依赖型”“知识-基建自驱型”“主体-知识-政策耦合型”3 种高低空新质生产力水平的要素组态,且长三角与珠三角的要素组态呈现明显的时空异质性。因此,发展低空经济应注重要素间的联动与匹配,构建要素协同的低空产业生态;各城市应基于自身产业生态精准匹配适宜组态,因地制宜加快低空新质生产力发展。

关键词:低空经济;低空产业;低空技术;产业生态;新质生产力;组态效应;动态 QCA

中图分类号:F124.1;F224 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-8131(2026)03-0064-13

引用格式:李瑞雪,朱富显,徐晓莉.低空产业生态与低空新质生产力——基于长三角和珠三角城市的 TOE-QCA 组态分析[J].西部论坛,2026,36(3):64-76.

Li Ruixue, Zhu Fuxian, Xu Xiaoli. Low-altitude industrial ecosystem and low-altitude new quality productive forces: a TOE-QCA configurational analysis of cities in the Yangtze River Delta and Pearl River Delta[J]. West Forum, 2026, 36(3): 64-76.

* 收稿日期:2025-11-21;修回日期:2026-03-15

基金项目:新疆维吾尔自治区高校基本科研业务费科研项目(XJEDU2025J022);新疆维吾尔自治区社会科学基金项目(2025BYJ053)

作者简介:李瑞雪(2000),女,河南鹤壁人;博士研究生,主要从事技术转移研究。朱富显(1998),男,河南许昌人;博士研究生,主要从事新质生产力研究。徐晓莉(1972),女(锡伯族),乌鲁木齐人;教授,博士,主要从事区域技术转移研究。

一、引言

《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》在第五章“培育壮大新兴产业和未来产业”第一节“发展壮大新兴产业”提出,要“拓展海洋经济发展空间,推进低空经济健康有序发展”;第三节“完善产业创新发展生态”进一步强调,要“提升低空空域管理精细化水平,加强适航审定能力建设,强化低空飞行安全保障。推进生物医药、智能驾驶、低空经济等新兴领域立法”。作为一种新兴经济形态,低空经济主要指各类航空器在低空空域开展各类经济活动所形成的产业集合,其核心在于直接的经济产出与产业规模(周钰哲,2024)^[1]。低空产业是为低空飞行活动提供产品、基础设施、服务保障以及依托低空飞行提供服务的各类经济活动,其在特定区域内的发展将形成低空产业生态,即由低空经济各要素通过复杂互动与协同共生所构成的产业系统(张晓兰等,2024)^[2]。新质生产力是指通过推动科技创新,促进劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升,从而实现生产力系统性跃升的新型生产力形态(胡海晨等,2024)^[3]。低空新质生产力的“新”体现为以低空飞行器制造、低空服务、低空数据应用等为代表的新产业形态与新生产方式,“质”则强调通过突破导航定位、智能感知、空域管控等关键技术约束,提升技术、数据、标准等无形要素在低空经济活动中的贡献度,从而实现全要素生产率的大幅提升(高帆,2023)^[4]。因此,低空产业是低空经济的底座支撑和供给本体,而低空新质生产力是推动低空产业高质量发展的根本动能。

根据产业生态理论,各类经济主体功能互补、资源循环利用、要素自由流动,形成协同共生的发展机制是产业生态成熟的主要标志(宋洋洋等,2024)^[5]。低空产业生态优化的根本在于,以低空空域资源的高效开发与综合利用为核心,通过政策支持、产业融合、人才集聚与技术创新的多元驱动,实现多领域协同发展与系统效能提升。这种产业生态改进与新质生产力发展逻辑高度契合。新质生产力是推动经济高质量发展的核心动能,其本质是以科技创新为主导,实现关键性颠覆性技术突破,并深度融合生产要素创新性配置和产业转型升级的生产力新形态(周文等,2023)^[6]。与传统生产力相比,新质生产力不仅在发展动力上更加依赖高科技,还在要素结构、产业形态和发展目标方面表现出显著差异,具有高效能和高质量的特征(张林等,2023)^[7]。因此,以低空产业生态优化驱动低空新质生产力跃升是实现低空经济高质量发展的关键所在。然而,现有对低空经济的研究鲜有涉及低空产业生态和低空新质生产力,仅有个别文献在理论上探讨了低空新质生产力的内涵与培育等(胥郁等,2024;曹阳,2026;钟成林等,2026)^[8-10]。

鉴于此,本文基于低空产业生态与低空新质生产力的关系构建一个 TOE-QCA 分析框架,以 2018—2024 年长三角和珠三角 50 个城市为研究样本,探究驱动低空新质生产力发展的低空产业生态的关键要素组态。本文的边际贡献主要包括:第一,从产业生态改善的新质生产力促进效应角度,基于知识创新成果、低空市场主体、高素质人才、政策牵引、基础设施建设 5 个条件变量构建一个 TOE-QCA 分析框架,探究低空产业生态演化驱动低空新质生产力发展的理论机制,为相关研究提供了新的思路和方法借鉴。第二,采用动态 QCA 方法提炼出长三角和珠三角城市高低空新质生产力水平的 6 条要素组态路径,并进行时空差异性分析,有助于深入认识低空新质生产力发展路径的复杂性以及低空产业生态的动态功效,并为各地政府制定差异化的治理策略,因地制宜加快低空新质生产力发展提供了理论依据与和实践启示。

二、理论框架与研究方法

1. TOE-QCA 组态分析框架

产业生态学将产业视为一个类似于自然生态系统的复杂自适应系统,其健康状态与发展水平不依赖于单一要素,而是由系统内关键要素的完备性、结构功能的多样性以及要素间协同共生、物质循环与能量流动的效率共同决定。根据产业生态与系统理论,低空产业生态是由核心技术、市场主体、人力资本、政策环境与设施基础等多元要素通过复杂交互、协同演进构成的系统性产业发展场域(宋洋洋等,2024)^[5]。考虑到 TOE 框架(Technology-Organization-Environment,技术-组织-环境框架)具有广泛的理论适配性与较强的现实解释力(焦康乐等,2026)^[11],本文基于 TOE 框架刻画低空产业生态,即从技术、组织、环境三个维度选取关键要素,进而采用 QCA(Qualitative Comparative Analysis)方法考察驱动低空新质生产力发展的有效组态。

低空产业生态通过多层次耦合与动态反馈,使各种要素形成“政策引导与设施筑基-主体汇聚与人才吸引-人才驱动技术创新-创新赋能主体成长与设施升级”的闭环联动机制,共同驱动低空新质生产力的系统性提升。这一过程并非各要素的孤立发展,而是在多维互动中形成正向反馈与协同演化,其中的关键要素发挥着主导作用。从技术维度看,流动性知识要素是技术和知识的物化载体与核心赋能单元,其持续创新与迭代是提升全要素生产率的技术内核,构成了低空新质生产力跃升的根本动力;从组织维度看,能动性主体要素充分体现了市场主体与劳动者在面对技术不确定性及场景复杂性时的应变、整合与创造能力,是创新得以发起、实现并转化为经济价值的关键行动者;从环境维度看,结构性环境要素塑造了低空产业发展的外部框架性条件,不仅通过政策与制度引导和规范低空产业发展,更通过基础设施建设拓展低空技术与商业模式创新边界。基于此,本文从这 3 个方面探讨促进低空新质生产力发展的关键要素。

(1)流动性知识要素与低空新质生产力。流动性知识要素是驱动低空新质生产力跃升的核心赋能要素。以航空制造技术、通信技术、地理定位系统为代表的通用航空关键技术的持续突破与协同演进,不仅为低空产业提供了新的生产工具,更重构了生产要素的组合方式与价值创造逻辑(宋丹等,2024)^[12]。通过航空制造技术在新能源与智能飞行器方面的突破,平台企业得以开发出适用于城市物流、载人交通等全新场景的航空器,为探索新的商业模式与市场空间提供了物理基础。与此同时,通信技术与高精度地理定位系统的深度融合与广泛应用,使低空飞行能够跨越地理阻隔与组织边界,实现飞行状态的实时感知、海量运行数据的同步汇聚与全局资源的智能调度。此外,将上述技术系统性地集成并嵌入产业发展中,不仅可以大幅提升自动化水平,显著降低对人力的依赖与运营成本,还能通过引入空域这一新型生产要素,实现对传统行业资源配置方式的根本性优化与重构,为传统产业转型升级提供坚实的技术杠杆,持续推动低空新质生产力的内涵式增长。

(2)能动性主体要素与低空新质生产力。能动性主体要素不仅是承载低空新质生产力的主要组织,还是驱动低空新质生产力发展的核心主体,主要包括低空市场主体与高素质人才两大关键要素,二者分别从组织活力与智力资本两方面为低空新质生产力发展提供支撑(欧阳日辉,2025)^[13]。低空市场主体是低空经济活动的执行组织,区域内从事研发制造、运营服务与平台支撑的市场主体越多元、互动越频繁,越能形成强大的要素集聚与整合能力。市场主体能够敏锐捕捉市场需求,加速低空新业态新模式的形成、迭代与规模化推广,直接促进低空新质生产力的培育和发展。高素质人才是创新活动的开展者和

新质生产力的使用者,低空新质生产力的跃升高度依赖于低空人才所提供的高端智力支持(王宝义,2024;张青兰等,2025)^[14-15]。作为技术密集型产业,低空产业的发展需要既精通航空技术,又熟悉人工智能、大数据与特定行业知识的复合型人才,这类人才不仅是关键技术突破的研发主体,更是连接知识创造与产业需求的桥梁。低空产业的人才链与产业链深度对接和动态匹配,将确保知识要素的持续供给与高效转化,从而为低空新质生产力的孕育与提升注入持续动能(林晨等,2024)^[16]。

(3)结构性环境要素与低空新质生产力。结构性环境要素是塑造和支撑低空新质生产力发展的基础性条件,包括政策牵引与基础设施建设两个关键要素,二者从战略导向和硬件支撑两个层面为低空新质生产力发展提供有力的环境保障。政策牵引扮演着发展引导者的关键角色,其核心作用在于通过顶层设计与制度创新构建清晰且富有激励性的游戏规则,尤其体现在以空域分类管理、运行安全标准统一等为核心的改革中。完善的政策体系能够有效破除因管理标准不一等产生的体制性壁垒,显著降低市场主体的合规成本与市场不确定性(王宝义,2024)^[14],从而疏通低空产业发展的关键堵点,提升社会资本与创新主体对低空产业的长期关注与投入意愿(张林等,2023)^[7]。低空基础设施为低空产业发展和低空新质生产力提升提供物质基础和效率工具(陆林等,2026)^[17],可分为物理硬件与数字系统,如起降场、航路网络、能源补给设施等构成低空产业运行的实体骨架,而通信、导航、监视及智能融合管理平台则构成保障安全、提升效率的数字中枢。低空基础设施通过可靠、高效的物理连接与智能调度,提高空域资源的可利用规模、低空活动的安全水平与低空技术应用的转化效率,是低空产业从蓝图走向规模化商业实践的重要前提,也是低空新质生产力孕育生长的土壤。

上述3类5个关键要素在低空产业生态中相互依赖、协同演进,共同作用于低空新质生产力的发展。在不同的地区,要素的禀赋、潜力及发展状态各不相同,在低空产业生态演化过程中会形成不同的要素组态。本文旨在针对特定区域进行QCA分析,以揭示怎样的低空要素组态能够有效促进低空新质生产力发展,进而为如何通过优化要素组合有效提升区域低空新质生产力水平提供理论指导和经验借鉴。基于此,构建TOE-QCA分析框架如图1所示。

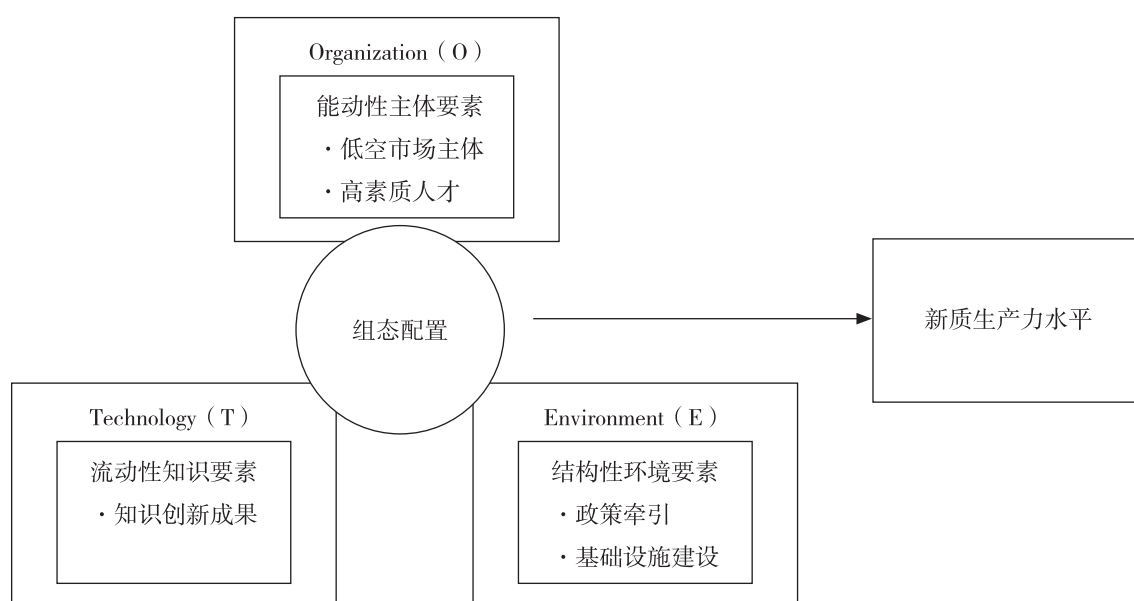


图1 低空产业生态与低空新质生产力的TOE-QCA分析框架

2. 变量设定

基于集合论与布尔代数的定性比较分析方法(QCA)以组态研究为核心,基于前因条件的复杂组合形成结果出现的多重并发因果路径。有别于处理截面数据的传统QCA,动态QCA纳入时间维度,能够捕捉多期数据中因果关系与时空维度的动态演变,避免因忽略时序变化产生因果推断偏误,从而深刻揭示组态路径的动态变化,为正确理解复杂机制提供动态且可靠的证据。因此,本文利用R语言“QCA”包和“SetMethods”包进行动态QCA分析(胡海晨等,2024)^[3],该方法支持从汇总、组间与组内三个维度进行系统性分析,不仅能清晰呈现组态路径,还能揭示这些组态在时间维度上的演变规律及其在案例维度上的异质性分布。

新质生产力的“质”强调发展效益的结构性提升,表现为技术进步带来的边际产出效率递增、组织优化带来的要素配置效率提升以及制度创新带来的资源利用效率改善。全要素生产率能够综合反映经济增长的效率与质量,其提升正是新质生产力发展的核心体现(龚家等,2025)^[18]。因此,本文以低空产业的全要素生产率作为结果变量低空新质生产力的衡量指标。由于地级市层面的低空经济发展数据难以获取,本文参考李牧南和谢天琪(2024)^[19]、孙嘉俊等(2025)^[20]的做法,采用低空概念上市公司的数据(加总到地级市层面),通过DEA-Malmquist指数法计算低空产业的全要素生产率。其中,投入指标包括资本投入(固定资产)、劳动投入(应付职工薪酬)、技术投入(研发支出),产出指标为营业收入。

基于前述理论框架,选取5个前因变量如表1所示。其中,“关键词池”为低空经济关键词词典,选取方法如下:根据ChatGPT-4和文心一言给出的关于低空经济的关键词定义,并参考相关文献对低空经济的定义(欧阳桃花,2024;沈映春,2025)^[21-22],进行人工筛选优化得到,具体包括“低空”“通用航空”“无人机”“空中”“无人驾驶”“W类空域”“G类空域”“通航”“eVTOL”“飞行汽车”“直航”“直升机”“通用机场”“人机产业”“UAM”“空域安全”“航空数据链”“新能源技术”“飞行控制技术”“垂直起降”“悬浮技术”“通信”“无线电”“飞行”。

表1 变量定义与测度方法

	变量	计算方法与数据来源
结果变量	低空新质生产力	城市低空产业全要素生产率:采用DEA-Malmquist指数法计算
	知识创新成果	城市低空专利授权量:采用国家知识产权局的专利数据,基于关键词池筛选低空专利
条件变量	低空市场主体	城市低空企业数量:采用爱企查确定城市企业,根据经营范围和关键词池筛选低空企业
	高素质人才	城市低空人才数量:低空概念上市公司高学历(本科以上)员工数量加总
	政策牵引	城市政府的低空关注度:政府工作报告中低空关键词词频(为保证结果可靠,手动验证并剔除与低空经济关系不大的词频)
	基础设施建设	城市飞机起降次数:根据中国民用航空局官网公布的信息手工整理

三、样本选择、变量校准与单个条件必要性分析

本文以低空经济发展水平较高的长三角和珠三角两大都市经济圈共50个城市为研究样本,样本期间为2018—2024年。其中,结果变量数据主要来自CSMAR数据库,条件变量数据主要来自国家知识产权局、CSMAR、各城市政府工作报告、爱企查及中国民用航空局官网等数据平台。集合分析需要将样本初始数据转换为能够反映集合间隶属关系的集合隶属分数数据,即进行变量校准。变量校准一般依据

锚点位置确定各案例在相应变量上的隶属程度,本文采用直接校准法,以 5%、50%、95% 为分位数校准锚点值,分别定义为完全不隶属、交叉点、完全隶属。同时,为避免样本量缺失,将校准后为 0.5 的值调整为 0.501。变量校准结果见表 2。

表 2 变量校准结果

变量	长三角数据校准			珠三角数据校准		
	完全隶属	交叉点	完全不隶属	完全隶属	交叉点	完全不隶属
结果变量						
低空新质生产力	0.832	0.026	0.015	0.772	0.062	0.053
知识创新成果	0.368	0.006	0.000	6.865	0.064	0.000
低空市场主体	0.426	0.052	0.016	3.165	0.211	0.055
条件变量						
高素质人才	0.244	0.094	0.021	0.441	0.064	0.032
政策牵引	0.728	0.317	0.000	1.183	0.346	0.000
基础设施建设	0.222	0.005	0.000	0.415	0.005	0.000

当条件变量的一致性水平高于 0.9 时,则将该条件变量视为必要条件;调整距离小于 0.2 表明汇总一致性精确度较高,调整距离大于 0.2 则需进一步分析。表 3 的分析结果显示,长三角和珠三角城市高低空新质生产力水平的条件变量调整距离均小于 0.2,且汇总一致性均小于 0.9,即单一条件均不构成高低空新质生产力水平的必要条件^①。

表 3 高低空新质生产力水平的必要条件一致性分析结果

条件变量	长三角				珠三角			
	汇总 一致性	汇总 覆盖度	组间一致性 调整距离	组内一致性 调整距离	汇总 一致性	汇总 覆盖度	组间一致性 调整距离	组内一致性 调整距离
强知识创新成果	0.794	0.924	0.036	0.040	0.825	0.946	0.019	0.038
弱知识创新成果	0.671	0.530	0.062	0.047	0.597	0.458	0.031	0.147
强低空市场主体	0.782	0.877	0.041	0.027	0.782	0.870	0.049	0.099
弱低空市场主体	0.651	0.544	0.023	0.087	0.600	0.429	0.012	0.135
强高素质人才	0.694	0.681	0.019	0.017	0.749	0.627	0.076	0.084
弱高素质人才	0.627	0.578	0.044	0.025	0.576	0.506	0.193	0.182
强政策牵引	0.663	0.755	0.025	0.033	0.732	0.669	0.086	0.076
弱政策牵引	0.640	0.543	0.061	0.029	0.416	0.513	0.042	0.153
强基础设施建设	0.626	0.847	0.050	0.064	0.788	0.886	0.014	0.165
弱基础设施建设	0.704	0.527	0.045	0.046	0.503	0.388	0.023	0.188

四、组态分析

判断条件组合的标准是一致性水平,相关研究认为一致性水平不应低于 0.75 (杜运周 等,

^① 本文也对低低空新质生产力水平情形进行了分析,但鉴于其非本文研究的主要内容,分析结果未予展示,可查阅知网附件材料。

2020)^[23]。结合本文研究的具体内容,在真值表构建过程中,以一致性阈值为 0.75、PRI 阈值为 0.75、频数阈值为 1 作为构建条件,以中间解为基础,并利用简单解判别核心条件,最终得到高低空新质生产力水平的条件组态如表 4 所示。总体一致性和各组态的一致性均大于 0.9,总体 PRI 和各组态 PRI 均大于 0.75,表明所列示的 6 种组态在时间与空间上均具备较好的解释力度,可以认为这 6 种组态是样本城市达到高低空新质生产力水平的充分条件。

表 4 高低空新质生产力水平组态

维度	条件变量	长三角			珠三角		
		H1	H2	H3	H4	H5	H6
流动性知识要素	知识创新成果	●	●	●		●	●
能动性主体要素	低空市场主体	●		●	○	○	●
	高素质人才	●	▲		●	○	●
结构性环境要素	政策牵引		●		●		●
	基础设施建设		●	●	●	●	
	一致性	0.987	0.963	0.986	0.962	0.994	0.948
	PRI	0.971	0.941	0.949	0.932	0.971	0.929
	覆盖度	0.540	0.495	0.323	0.512	0.541	0.427
	总体 PRI		0.954			0.944	
	总体一致性		0.979			0.968	
	总体覆盖度		0.453			0.493	

注:●代表核心条件存在,○代表边缘条件存在,▲代表核心条件缺失,△代表边缘条件缺失,空值代表该条件既可以出现也可以缺失。

1. 长三角高低空新质生产力水平组态

(1)“主体-知识内生型”组态(H1)。该组态以能动性主体要素(低空市场主体和高素质人才)和流动性知识要素(知识创新成果)为核心条件,而结构性环境要素(政策牵引和基础设施建设)是无关紧要的条件,即低空新质生产力的发展主要依靠产业系统强大的内生动力,无需以特殊的外部政策或超前基建作为必要前提,本文将其凝练为“主体-知识内生型”。“主体”凸显了低空市场主体与高素质人才对低空新质生产力的核心驱动作用,是价值创造与知识生产的中心;“知识”强调知识创新成果是主体能力的物化体现与价值增值的关键载体;“内生”则刻画出“主体创造知识,知识赋能主体”这一自我强化的发展逻辑,强调动力来源的内生性与循环的闭环性。在该组态中,低空市场主体与高素质人才协同构成了需求感知与价值实现的枢纽。市场主体作为创新组织者,主动依托真实的商业场景,以市场需求直接牵引创新方向;高素质人才则将前沿知识与敏捷思维转化为产业实践,持续驱动知识创造与技术突破,产出关键性创新成果;这些成果随即被市场主体快速吸收、迭代,并转化为市场竞争优势与新兴业态,进而反哺企业成长、提升人才价值,吸引更高阶要素持续汇聚。在样本案例中,浙江省杭州市的实践为此提供了生动印证:杭州低空经济的发展根植于其深厚的数字经济生态,而非得益于特殊的政策红利。以迅蚁、菜鸟等为代表的市场主体和庞大的数字经济工程师队伍,在电商、物流等丰富场景中持续创造并吸

收智能调度算法、城市场景安全标准等大量知识成果,形成了“人才创造知识、知识赋能企业、企业汇聚人才”的强劲内生循环,充分证明了当主体与知识的内生协同足够强大时,能够有效驱动低空新质生产力的系统性跃升,展现了该组态旺盛的生命力。

(2)“环境-知识驱动型”组态(H2)。该组态以结构性环境要素(政策牵引和基础设施建设)与流动性知识要素(知识创新成果)为核心条件,而高素质人才条件缺失,低空市场主体是无关紧要的条件,即低空新质生产力的发展以外源驱动为主,即便市场主体活力与人才储备不占优势,也可以通过塑造环境优势导入知识资源,进而培育低空新质生产力,本文将其凝练为“环境-知识驱动型”。“环境”凸显了政策牵引与基础设施建设的先导性与基础性,强调通过主动的顶层设计与硬件投入创造初始条件;“知识”强调知识创新成果是驱动低空产业发展的关键技术内核与价值来源;“驱动”则刻画了“以环境集聚知识,以知识撬动发展”的外源启动与政府主导逻辑。在此组态中,政府通过前瞻性规划与基础设施投入,塑造制度与物理的双优环境,促使外部或合作产生的知识创新成果深度嵌入环境中;环境与知识之间形成正向强化循环,知识成果的转化应用促进低空产业发展、提升基础设施效能,并进一步驱动政策优化,从而持续加速低空新质生产力提升。在样本案例中,安徽省芜湖市的实践为此提供了印证:芜湖将低空产业列为战略性新兴产业,集中建设“天空之城”产业平台、低空飞行网络等基础设施,构建了优越的低空产业硬环境与软环境;在此基础上,积极引进高校、科研院所的飞行器设计、智能导航等关键技术成果,并加速其在本地制造与运营场景中转化,在较短时间内形成了显著的产业集聚效应。芜湖的探索验证了“环境-知识驱动型”组态在培育低空新质生产力方面的战略价值,为同类地区的低空经济发展提供了借鉴和启示。

(3)“主体-基建-知识嫁接型”组态(H3)。该组态以能动性主体要素中的低空市场主体、结构性环境要素中的基础设施建设、流动性知识要素(知识创新成果)为核心条件,而高素质人才与政策牵引是无关紧要的条件,即通过市场主体充分利用知识创新成果和基础设施提升低空新质生产力,而高素质人才与相关政策的缺席并未对低空新质生产力发展产生实质性障碍,本文将其凝练为“主体-基建-知识嫁接型”。“主体”强调低空市场主体的主导性,是主动的“嫁接”操作者;“基建”强调低空基础设施建设为低空新质生产力发展提供了稳定、可靠的支撑;“知识”强调低空市场主体需要积极引入并充分利用知识创新成果;“嫁接”则刻画了低空市场主体依托先进的低空基础设施,通过消化、吸收知识创新成果提升新质生产力水平的整合机制。在此组态中,敏锐且成熟的低空市场主体充分利用相对完善的低空基础设施,积极获取关键知识创新成果,并将其创造性地“嫁接”到自身的生产方式和商业模式中,催生出新的市场能力与产业形态,从而加速低空新质生产力发展。在样本案例中,江苏省苏州市的实践为此提供了有力印证:苏州依托其雄厚的智能制造业基础与高标准的城市数字基础设施,吸引了众多无人机整机与核心部件制造企业聚集。这些市场主体并未完全依赖本地高校体系培养人才或等待特殊政策,而是充分利用苏州发达的供应链与信息网络平台,积极与深圳、北京等地的顶尖研发机构开展产学研合作,引入前沿的飞控、感知与任务载荷技术,快速形成了覆盖研发设计、精密制造、测试验证与行业应用的低空产业集群。苏州的案例生动诠释了“主体-基建-知识嫁接型”组态在有效链接市场主体、基础设施、知识资源方面的强大效能与广泛适用性。

2. 珠三角高低空新质生产力水平组态

(1)“环境-人才依赖型”组态(H4)。该组态以结构性环境要素(政策牵引与基础设施建设)、能动性主体要素中的高素质人才为核心条件,低空市场主体为边缘条件,流动性知识要素(知识创新成果)为

无关紧要条件,即低空新质生产力的发展主要依赖环境与人才要素,而非市场主体和知识资源,本文将其凝练为“环境-人才依赖型”。“环境”指政策牵引与基础设施建设构成的复合型支撑系统,强调环境改善的先导性;“人才”强调人才要素的关键作用;“依赖”则刻画了低空新质生产力的发展依赖于环境对人才的吸引、配置与赋能以及二者的协同。在这一组态中,强有力的政策牵引发挥着核心枢纽作用,其通过顶层设计与专项人才计划驱动基础设施建设的超前布局与高素质人才集聚;超前建设的基础设施作为一种物理承载,降低了低空产业主体的进入与运营成本,同时,集聚的高素质人才将政策机遇与硬件优势转化为产业效能,进而推动低空新质生产力发展。在样本案例中,广东省佛山市是该组态的例证:佛山将低空经济纳入战略性新兴产业发展规划,积极规划建设通用机场、起降场网络及智慧空管平台,并依托本地职业教育体系针对性地培养和引进航空运维、飞行服务等专业人才。在其发展初期,无人机整机制造或运营服务的龙头市场主体并非最突出特征,技术创新也多表现为对引进技术的应用与适配,而非源头创新。佛山的实践表明,通过环境与人才的协同先行,能够为低空新质生产力的发展奠定良好基础。

(2)“知识-基建自驱型”组态(H5)。该组态以流动性知识要素(知识创新成果)与结构性环境要素中的基础设施建设为核心条件,低空市场主体、高素质人才为边缘条件,政策牵引为无关紧要条件,即以前沿技术驱动设施能效升级,升级后的设施又反哺并牵引下一代技术跃迁,形成以内生技术进步为主导的低空新质生产力发展范式,本文将其凝练为“知识-基建自驱型”。“知识”强调知识创新成果的驱动作用,“基建”强调基础设施作为技术承载、验证与赋能平台的关键角色,“自驱”则刻画了“知识”与“基建”二者之间自我强化的动态协作关系。在这一组态中,持续涌现的知识创新成果为低空基础设施建设的智能化与网络化升级提供技术支撑,高适配性的基础设施则为这些前沿技术提供重要的价值实现载体,知识资源与基础设施形成强化闭环,从而推动低空新质生产力发展。在样本案例中,广东省珠海市是该组态的典型例证:珠海依托其空域与区位优势,重资打造亚洲领先的无人机专业测试基地,这一超前的基础设施吸引了众多的研发机构与项目前来进行尖端验证,并持续产出关键检测数据与方法标准。其发展动力正源于“顶尖测试设施”与“权威标准知识”之间形成的自我驱动闭环,生动诠释了“知识-基建自驱型”组态如何在特定战略布局下形成低空新质生产力发展的策源地。

(3)“主体-知识-政策耦合型”组态(H6)。该组态以能动性主体要素(低空市场主体与高素质人才)、流动性知识要素(知识创新成果)、结构性环境要素中的政策牵引为核心条件,而基础设施建设是无关紧要的条件,即在政策支持下,低空市场主体充分发挥高素质人才的作用,积极利用知识创新成果持续提升新质生产力水平,本文将其凝练为“主体-知识-政策耦合型”。其中,“主体”包括低空市场主体和高素质人才,强调其是价值创造的核心要素;“知识”强调知识创新成果是生产力进步的根本动力;“政策”突出政策牵引的催化剂与赋能作用;“耦合”则刻画了三者之间协同演进的一体化关系。在这一组态中,低空市场主体与高素质人才构成价值创造的双核,协同驱动知识创新成果的持续产出;政策牵引通过制度优化降低主体创新风险,并促进知识创新成果提质增量。在样本案例中,广东省深圳市是该组态的典型例证:深圳市拥有大疆等全球领军企业及海量研发工程师,持续产出软硬件尖端技术创新成果;同时,市政府出台《深圳经济特区低空经济产业促进条例》等,不断改善制度供给,积极开放城市场景并构建适应性监管体系。值得注意的是,深圳并未大规模新建专用机场,而是通过智能调度算法等知识创新成果极致化利用楼顶、现有网络等既有设施,实现了对“基础设施建设”这一传统必要条件的超越。深圳的实践生动诠释了“主体-知识-政策耦合型”组态如何通过摆脱对传统路径的依赖开创产业发展的新模式,体现了该组态的巨大潜力与引领价值。

3. 长三角与珠三角的组态比较

对上述组态进行比较,长三角与珠三角两大区域在低空新质生产力发展方面既共享要素协同的底层逻辑,又因初始禀赋不同而走向差异化路径。长三角凭借深厚的市场与人才基础,形成了以市场主体与知识创新内生循环为核心、政策与基建灵活适配的低空新质生产力发展模式,呈现出杭州、苏州、芜湖等多点协同的网络化生态;珠三角则依托强大的战略执行力,积极推进以政策与基础设施先行投入塑造产业未来的低空经济发展战略,构建起深圳、珠海、佛山等功能定位明确的梯队化发展格局。因此,与长三角类似区域的政策重点在于优化环境、促进要素自由连接,以释放市场内生活力;与珠三角类似区域应在持续加大战略投入的同时,着力打通从创新平台到产业腹地的转化通道,避免重硬轻软。总之,各地区应根据自身的资源禀赋和低空产业生态,着眼未来,因地制宜发展低空新质生产力。

五、组间分析与组内分析

组间分析:由图2可知,2018—2024年长三角和珠三角城市6个高低空新质生产力水平组态的一致性变化呈现波动起伏状态。2018—2021年,珠三角城市的组态一致性整体高于长三角城市;2021—2024年,珠三角城市的组态一致性大幅度下滑,长三角城市的组态一致性整体高于珠三角城市。珠三角地区在商业航空和低空经济领域具备先发优势。根据《城市低空经济“链接力”指数报告(2024)》,珠三角依托粤港澳大湾区的市场机制和传统产业基础,整体协同性较强。而长三角城市的低空经济发展相对分散,导致2018—2021年的组态一致性低于珠三角城市。自2021年“低空经济”写入《国家综合立体交通网规划纲要》后,长三角城市凭借低空市场主体的优势及良好的产业配套能力迅速响应,低空产业生态持续优化;而珠三角城市因产业多集中于轻工和劳动密集型加工制造,转型缓慢、拖尾效应明显,导致组态一致性水平被长三角城市反超。此外,长三角城市依托长江航道和政策支持展现出较强的区域联动与一体化发展态势。尽管两地组间一致性存在波动,但整体水平平均高于0.84,组间调整距离小于0.1,表明本文的分析框架对城市低空新质生产力发展具有较强的解释力。

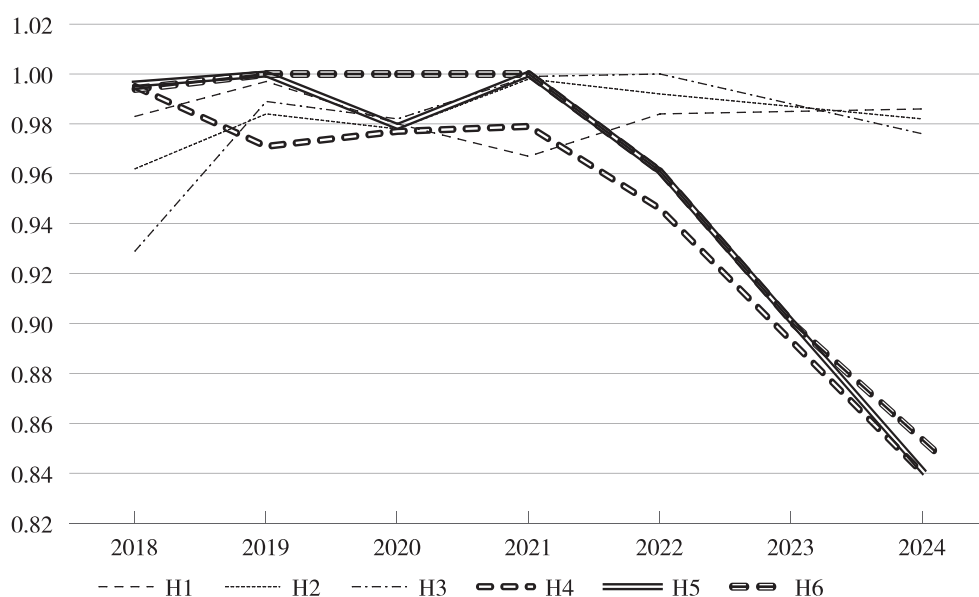


图2 6种高低空新质生产力水平组态一致性变化趋势

组内分析(限于篇幅,具体结果见网附材料):总体来看,多数城市具有较强的一致性(一致性>0.75),仅个别城市在不同年份存在略微差异。2018—2024年,长三角各城市未形成一致的条件组态,呈现出在差异化的低空产业生态中推进低空新质生产力发展的特征。如亳州市的H1组态一致性水平较低,但H2和H3组态的一致性水平较高,表明亳州市缺少人才储备,更适合“环境-知识驱动型”或“主体-基建-知识嫁接型”的组态路径,即依托知识创新成果、基础设施、低空市场主体和政策支持发展低空新质生产力。同样,珠三角各城市也表现出路径分化现象。以惠州市为例,H4组态的一致性较低,而H5和H6组态一致性较高,表明其更适合以“知识-环境自驱型”或“主体-知识-政策耦合型”组态加快低空新质生产力发展。惠州企业深度参与无人机产业链,仲恺高新区2014年孵化的泰一科技已成长为低空数字经济头部企业,自主建成覆盖18万平方公里的全国最大无人机感知网络,并参与制定3项国际标准、9项国家标准,获得180余项专利,有力推动了本地低空产业集群化和创新发展。

六、结论与启示

本文选取低空新质生产力较为活跃的长三角和珠三角城市为研究样本,采用DEA-Malmquist指数法测算低空产业全要素生产率,以此表征城市低空新质生产力发展水平,进而基于低空产业生态的TOE框架进行QCA组态分析,得出以下结论与启示:

第一,在低空产业生态的技术、组织、环境3个维度中,驱动低空新质生产力发展的关键要素包括知识创新成果、低空市场主体、高素质人才、政策牵引、基础设施建设,这5个关键要素均无法单独成为高低空新质生产力水平的必要条件,表明任何单一要素在驱动低空新质生产力发展方面都存在局限性。低空新质生产力的形成和发展是一个系统性过程,依赖于多要素间的协同与整合。因此,一方面,有必要进行有利于低空新质生产力发展的要素组态分析;另一方面,制定低空经济发展战略应立足于系统视角,综合考虑要素间的联动与匹配。

第二,在不同地区的低空产业生态演变中,低空新质生产力发展形成了差异化的要素组态路径。在长三角地区,高低空新质生产力水平城市主要表现为“主体-知识内生型”“环境-知识驱动型”“主体-基建-知识嫁接型”三种组态;在珠三角地区,高低空新质生产力水平城市则主要表现为“环境-人才依赖型”“知识-基建自驱型”“主体-知识-政策耦合型”三种组态。这些组态路径分别适用于不同区域,城市可基于自身发展实际与优势条件,与相应组态进行精准匹配,实施差异化与适配性低空经济发展战略。

第三,在推动低空新质生产力发展的6条组态路径中,有5条路径以知识创新成果为关键要素之一,凸显出流动性知识要素是低空新质生产力发展最为关键的要素。同时,从组间与组内一致性分析来看,长三角和珠三角地区城市高低空新质生产力水平的要素组态呈现明显的时空异质性。2018—2021年,珠三角城市凭借先天市场优势,组间一致性高于长三角城市;2021—2024年,长三角城市通过强化区域产业联动,组间一致性反超珠三角城市。各地需结合自身低空产业生态选择差异化路径推动新质生产力发展,如高素质人才相对匮乏的城市更适合“环境-知识驱动型”或“主体-基建-知识嫁接型”组态路径,而知识创新成果资源丰富的城市则应依托“知识-环境自驱型”或“主体-知识-政策耦合型”组态加快低空新质生产力发展。

本文通过分析关键要素在城市低空产业生态演进中的交互机制,揭示驱动低空新质生产力发展的多种有效要素组态路径,深化了对低空新质生产力生成机理的系统性认识。但本文还存在一些局限,有待今后进一步研究。首先,数据获取存在局限。作为新兴产业,低空产业的统计体系尚不完善,部分核心指标难以直接获取,影响了实证分析的精准度。未来随着统计制度的健全,可采用更精细化的指标进

行分析,提升结论的可靠性。其次,研究样本的范围有待拓展。本文聚焦于长三角与珠三角两大发达经济圈,虽保证了样本同质性,但也削弱了结论向中西部地区推广的适用性。未来可拓展至成渝、长江中游等城市群,开展跨区域比较研究。最后,要素间互动关系的微观机制有待深入探究。本文从宏观组态层面揭示多要素协同驱动的等效路径,但未探究要素互动的微观机理。未来可结合企业层面数据,打通宏观组态与微观行为的逻辑链条,构建理论贯通解释体系。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张晓兰, 黄伟熔. 低空经济发展的全球态势、我国现状及促进策略[J]. 经济纵横, 2024 (8): 53-62.
- [3] 胡海晨, 赵瑞彤, 杨濛, 等. 数实融合演进中新质生产力发展路径——基于动态 QCA 的分析[J]. 科技进步与对策, 2024, 41 (22): 37-47.
- [4] 高帆. “新质生产力”的提出逻辑、多维内涵及时代意义[J]. 政治经济学评论, 2023, 14 (6): 127-145.
- [5] 宋洋洋, 刘一琳, 陈璐, 等. 国家文化数字化战略背景下数字文化产业的生态系统、技术路线与价值链条思考[J]. 西安交通大学学报 (社会科学版), 2024, 44 (5): 145-156.
- [6] 周文, 许凌云. 论新质生产力: 内涵特征与重要着力点[J]. 改革, 2023 (10): 1-13.
- [7] 张林, 蒲清平. 新质生产力的内涵特征、理论创新与价值意蕴[J]. 重庆大学学报 (社会科学版), 2023, 29 (6): 137-148.
- [8] 胥郁, 乐乐. 低空新质生产力: 融合逻辑、内涵本质与推进路径[J]. 辽宁经济, 2024 (11): 4-13.
- [9] 曹阳. 筑牢低空智联底座加快培育低空新质生产力[N]. 中国经济时报, 2026-04-29 (006).
- [10] 钟成林, 胡雪萍. 人工智能赋能低空新质生产力生成的理论逻辑、现实困境与政策调适[J]. 中州学刊, 2026 (2): 38-46.
- [11] 焦康乐, 李欢, 孙瑜阳, 等. 专精特新企业创新绩效的多元驱动路径研究——基于 TOE 框架的组态分析[J]. 中国科技论坛, 2026 (2): 18-25.
- [12] 宋丹, 徐政. 低空经济赋能高质量发展的内在逻辑与实践路径[J]. 湖南社会科学, 2024 (5): 65-75.
- [13] 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.
- [14] 王宝义. 我国低空经济的技术经济范式分析与发展对策[J]. 中国流通经济, 2024, 38 (9): 14-26.
- [15] 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.
- [16] 林晨, 赵晨, 周锦来, 等. 数字创业生态影响产业数字化的组态效应研究[J]. 科研管理, 2024, 45 (7): 40-48.
- [17] 陆林, 花玉莲, 陈劭绮, 等. 新质生产力赋能旅游业高质量发展的概念矩阵模型与研究展望[J]. 经济地理, 2026, 46 (1): 234-246.
- [18] 龚家, 吴振磊. 新型工业化基地建设对企业高质量发展的影响[J]. 经济经纬, 2025, 42 (2): 95-109.
- [19] 李牧南, 谢天琪. 中国低空经济发展的实践进阶: 依托科技自立自强助力新质生产力形成[J]. 科技管理研究, 2024, 44 (17): 1-9.
- [20] 孙嘉俊, 张晨皓, 叶涛锋. “赋能”抑或“负能”: 企业 ESG 表现与低空经济企业孵化[J]. 当代经济管理, 2025, 47 (11): 27-37.
- [21] 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.
- [22] 沈映春. 低空经济的内涵、特征和运行模式[J]. 新疆师范大学学报 (哲学社会科学版), 2025, 46 (1): 108-117.
- [23] 杜运周, 刘秋辰, 程建青. 什么样的营商环境生态产生城市高创业活跃度? ——基于制度组态的分析[J]. 管理世界, 2020, 36 (9): 141-155.

Low-Altitude Industrial Ecosystem and Low-Altitude New Quality Productive Forces: A TOE-QCA Configurational Analysis of Cities in the Yangtze River Delta and Pearl River Delta

LI Ruixue, ZHU Fuxian, XU Xiaoli

(School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China)

Summary: Developing low-altitude new quality productive forces serves as a crucial lever for promoting high-quality economic development and advancing strategic emerging industries. In this context, the low-altitude ecosystem, which is a systemic innovation field composed of core technologies, market entities, human capital, policy environments, and infrastructure, has emerged as a key carrier for accelerating the emergence of low-altitude new quality productive forces. However, existing research lacks systematic exploration of how the multiple elements within the low-altitude ecosystem synergistically drive the development of low-altitude new quality productive forces. In particular, few studies have adopted a configurational perspective to reveal the multiple equivalent pathways formed by different combinations of these elements.

Grounded in industrial ecosystem theory, this study deconstructs the low-altitude ecosystem into three core dimensions, namely fluid resource elements, agentic subject elements, and structural environmental elements, and constructs a Technology-Organization-Environment (TOE) analytical framework for understanding how the low-altitude ecosystem drives low-altitude new quality productive forces. Data are drawn from multiple sources, including the China National Intellectual Property Administration, the CSMAR database, regional government work reports, AiQicha, and the official website of the Civil Aviation Administration of China. Using panel data from 50 cities in the Yangtze River Delta and Pearl River Delta metropolitan economic circles from 2018 to 2024, this study employs dynamic Qualitative Comparative Analysis (QCA) to systematically investigate how heterogeneous configurations of low-altitude ecosystem elements influence the emergence of regional low-altitude new quality productive forces, and conducts between-group and within-group comparative analyses of the two regions.

Compared with existing studies, this paper makes three main contributions. First, at the theoretical level, this paper integrates industrial ecosystem theory with the TOE framework to construct a three-dimensional analytical framework of fluid resource elements, agentic subject elements, and structural environmental elements, thereby deepening the systematic understanding of the generative mechanisms of low-altitude new quality productive forces. Second, at the methodological level, this paper introduces dynamic QCA to analyze panel data, overcoming the limitation of traditional QCA which is only applicable to cross-sectional data, revealing the temporal evolution patterns of driving pathways for low-altitude new quality productive forces, and providing a beneficial supplement to configurational research methodology. Third, at the empirical level, through a comparative analysis of the Yangtze River Delta and Pearl River Delta, this paper identifies six equivalent pathways and reveals their applicable conditions, offering a new explanatory perspective for understanding regional development heterogeneity in China.

Keywords: low-altitude economy; low-altitude industry; low-altitude technology; industrial ecosystem; new quality productive forces; configurational effects; dynamic QCA

CLC number: F124.1; F224

Document code: A

Article ID: 1674-8131(2026)03-0064-13

(编辑:朱 艳;刘仁芳)