贵州桥梁经济与低空经济的耦合协调度及空间联动效应分析

张校志[1]，徐 菁[2]

（1. 贵州商学院数字经济与金融学院，贵阳 550014；2. 贵阳信息科技学院健康管理学院，贵阳 550025）

摘要：贵州作为典型的喀斯特山区省份，已建成桥梁超过 3.2 万座，同时低空经济正在快速兴起。构建了桥梁经济与低空经济的综合评价指标体系，运用耦合协调度模型及空间计量方法，系统测度了 2015—2025 年贵州省两大系统的耦合协调水平及其空间联动特征。研究发现：两者的耦合协调度呈现“缓慢起步-加速提升-深化协调”的演进轨迹，2025 年达到 0.762，进入中度协调阶段；耦合协调水平存在显著的空间分异，贵阳-安顺-黔西南“西南走廊”形成高协调集聚区，而东部与北部地区相对滞后；桥梁经济对低空经济具有正向空间溢出效应，高桥密度地区能够显著带动邻近区域的低空经济集聚；花江峡谷大桥等“桥旅融合”示范项目与无人机低空物流试点已初步形成“点-轴-面”协同发展格局。基于结论，提出了推动交通基础设施与低空经济深度融合的政策建议。

关键词：低空经济；耦合协调度；空间联动；桥梁经济

中图分类号：F562 **文献标志码**：A **文章编号**：1671－1807(2026)16－0013－11

交通基础设施与新兴产业的融合发展是区域经济学的重要议题。在传统研究框架中，交通基础设施的经济效应通常被归结为降低运输成本、促进要素流动和扩大市场半径三条路径[1]。然而，这一框架主要关注基础设施作为“存量资产”的静态效应，对其如何催生和赋能新经济形态的动态机制讨论不足。贵州为这一理论问题的深化提供了独特场景。作为中国唯一没有平原支撑的省份，贵州以超过 3.2 万座桥梁构建了跨越喀斯特群山的“高速平原”，并衍生出桥旅融合、极限运动、品牌溢出等多元业态，形成了典型的“桥梁经济”现象。与此同时，低空经济作为国家战略性新兴产业，正在山区物流、低空旅游等领域快速渗透，为突破山区“最后一公里”瓶颈提供了新的技术路径。两类系统在地理空间上高度重叠、在功能上相互补充，但其耦合协调程度如何、空间联动效应是否存在，目前尚无系统性的实证解答。从理论层面看，将大规模桥梁群视为低空经济的天然“地面基站”，检验“存量基础设施赋能增量新业态”的耦合机理，可以拓展基础设施外部性理论在新技术条件下的解释边界。从实践层面看，贵州省已明确提出“低空＋山区无人机物流”战略方向，急需识别高桥密集区是否具备先行先试的空间优势，以及政策资源如何在空间上差异化配置。因此，本文的实证发现可为贵州及其他山区省份的低空经济规划提供科学依据。

现有研究形成了三条主线，但彼此之间缺乏交叉融合：一是基础设施的经济效应，张学良[1]证实交通网络存在显著的空间溢出效应，刘秉镰等[2]揭示了交通基础设施对全要素生产率的提升机制；然而，上述研究侧重基础设施对传统产业的带动作用，尚未延伸至其对低空经济等新兴业态的赋能机制。二是“桥梁经济”的衍生价值，冯奎和杨杰[3]以贵州为案例，剖析了桥旅融合从单一观光向复合业态演进的产业形态，但未将桥梁群置于与低空经济的互动框架中考察。三是低空经济的发展路径与产业边界，王济民和张建华[4]从国家战略层面探讨了其产业定位，周宏春和吴国栋[5]讨论了基础设施供给侧改革与区域经济的关系，但其研究对象未涉及桥梁这一特殊基础设施。上述三条主线缺乏交叉融合，特别是将大规模桥梁群这一“存量”基础设施与低空经济这一“增量”新业态纳入统一框架，检验其耦合机理与空间联动效应的研究尚未深入。

收稿日期：2026-05-08

基金项目：贵州商学院《“桥梁经济”与山地特色：贵州交通基础设施溢出效应与区域产业布局研究》(2026BAXM113)

作者简介：张校志(1992—)，男，贵州贵阳人，硕士，助教，研究方向为产业经济学、区域经济学、贸易经济学；徐菁(1996—)，女，贵州贵阳人，硕士，助教，研究方向为运动营养食品消费行为。

贵州全球密度最高的高桥集群与山区物流“最后一公里”痛点并存的独特场景，为填补这一理论缺口提供了理想试验场。贵州提供了一个独特的研究场景，表现为全球密度最高的高桥集群与山区物流“最后一公里”现实痛点的并存，这为检验基础设施与新兴产业之间的耦合效应提供了理想试验场。本文重点考察三个问题：贵州桥梁经济与低空经济各自的发展水平如何；两者之间的耦合协调程度呈现怎样的演变规律；两者是否存在空间溢出效应和协同联动机制。对这些问题的解答，有助于深化对基础设施经济效应与新兴产业互动机制的理论认识，也可为贵州及其他山区省份的低空经济建设提供决策参考。

1 文献综述与分析框架

1.1 理论基础

1.1.1 基础设施的经济外部性理论

基础设施作为社会先行资本，其经济效应不仅体现为直接的投资拉动，更体现为通过降低运输成本、促进要素流动、扩大市场半径等途径产生的正向外部性。交通基础设施具有准公共物品属性与网络属性，能够促进经济活动的空间集聚与扩散，产生超越行政区划边界的空间溢出效应[6]。这一理论为理解贵州桥梁群的经济效应提供了基础框架：大规模桥梁建设不仅解决了喀斯特山区的物理连通问题，更通过缩短时空距离、降低物流成本，释放了区域经济的潜在活力。

1.1.2 新经济地理学的空间效用理论

新经济地理学强调，交通基础设施的空间配置会重塑区域经济的集聚与扩散格局。Krugman[7]指出，运输成本下降将促使经济活动向具有区位优势的中心城市集聚，形成“中心-外围”结构。随着交通网络的完善，空间溢出效应可能经历从“虹吸效应”主导向“扩散效应”主导的演变过程[8]。贵州以贵阳-安顺-黔西南为轴线的“西南走廊”凭借密集的高桥网络和旅游资源优势，已显现出明显的经济集聚特征，其向周边地区的扩散效应是本文关注的重点问题之一。

1.1.3 “点-轴系统”理论与区域开发模式

陆大道[9]提出的“点-轴系统”理论认为，区域经济发展应以各级中心城市为“点”，以连接各点的线状基础设施（交通干线、能源通道等）为“轴”，通过渐进扩散形成空间经济结构。该理论强调基础设施对区域发展的“先行官”作用，认为交通轴线的形成能够吸引人口与产业向轴线两侧集聚，推动经济由“点”向“轴”再向“面”纵深拓展。贵州高速公路网与桥群构成的“高速平原”正是“点-轴”系统的典型载体——沿交通干线分布的世界级高桥群形成了天然的发展轴线，为低空经济的场景布局提供了空间骨架。

1.2 概念界定与测度框架

1.2.1 “桥梁经济”的概念界定与三维测度

吴福象和沈浩鹏[10]将“桥梁经济”界定为依托桥梁建设及其衍生产业所形成的经济活动总称。在既有定义基础上，结合贵州实践，将其概念拓展为三个层次：通道经济——桥梁作为交通网络的关键节点，通过缩短时空距离、降低物流成本，提升要素流动效率，构成桥梁经济的基础性贡献；平台经济——高桥周边的自然景观资源可转化为旅游消费场景，形成“桥旅融合”的复合业态；品牌经济——“世界桥梁博物馆”作为区域品牌，产生流量吸附、招商引资赋能与科技创新催化效应。基于此三维结构，本文从基础建设、经济衍生、品牌溢出三个维度构建测度指标体系。

1.2.2 “低空经济”的概念界定与三维测度

张军和王燕[11]将低空经济定义为以低空空域（通常距地面垂直距离1 000 m以内）为依托，以各类航空器为载体，融合先进制造、信息技术、现代物流、文旅体验等多领域的新兴经济形态。郝金星等[12]通过文献计量分析指出，低空经济研究在2024年后呈现爆发式增长，学界主要聚焦于概念与特征、技术及应用、政策环境与发展策略三大主题。何理等[13]进一步揭示，中文文献主要聚焦政策分析、空域划分与区域经济效益，注重制度创新与经济模式优化。在综合既有研究基础上，从产业基础、应用拓展、基础设施三个维度构建低空经济的测度指标体系。

1.2.3 “桥梁-低空”测度框架的建构依据

上述两个子系统的测度框架建构具有双重依据：一方面，伍先福等[14]关于新型基础设施建设与战略性新兴产业耦合协调发展的研究为本文提供了方法论参照——他们运用耦合协调模型对“新基建”及其与战略性新兴产业间的耦合协调度进行测度，揭示了“信息基建”“融合基建”“创新基建”三个子系统与产业发展之间的差异化耦合机制；另一方面，周宏春和吴国栋[5]关于基础设施供给侧结构性改革的讨论为桥梁经济指标选取提供了理论维度参考。本文在综合上述研究框架基础上，结合贵州山地特色和数据可得性，构建了26个三级指标的综合评价体系。

1.3 耦合协调的理论逻辑与研究假说

1.3.1 耦合关系的理论建构

桥梁经济与低空经济的耦合并非简单的产业叠加,而是基于基础设施外部性与新兴产业特性的多层次交互作用。参照新型基础设施投资对产业融合发展具有显著空间依赖性和正向空间溢出效应的既有发现[15],从四个理论维度建构两大系统的耦合关系。供需耦合维度:桥梁改善交通可达性,扩大了低空制造业与物流业的市场半径;低空经济对地形感知、通信中继的需求,反向拉动桥梁智能监测能力的提升。空间耦合维度:高桥密集区与低空经济应用场景存在地理分布的高度重叠——深切河谷地带既是桥梁建设的集中区域,也是无人机物流"补短板"的最佳场所,形成基础设施的"空间复用"效应。功能耦合维度:桥梁保障"大动脉"层面的跨区域连通,无人机负责"毛细血管"层面的精准投送,两者在功能上形成互补。产业耦合维度:桥旅融合与低空旅游存在同构性和互促性,极限运动、低空观光等业态可在两类系统中交叉获益。

1.3.2 耦合协调度的演变机理

基础设施投资与新兴产业发展的耦合关系通常经历"失调—拮抗—磨合—协调"的演进过程。范剑勇和莫家伟[16]关于基础设施与产业发展的研究及姜磊等[17]关于耦合协调度模型的应用研究表明,这一演进轨迹受三大因素驱动,即存量基础设施的成熟度、新兴产业的成长速度及政策干预的时机与强度。结合贵州实际,本文预期两者的耦合协调度将呈现"缓慢起步-加速提升-深化协调"的非线性演进特征。

1.3.3 研究假说的提出

基于上述理论分析,提出以下核心研究假说。

H1(耦合协调演进假说):桥梁经济与低空经济的耦合协调度呈持续上升态势,并在政策窗口期存在加速效应;

H2(空间分异假说):受区域桥梁资源禀赋、经济发展水平及政策支持力度的差异影响,两大系统的耦合协调度存在显著的空间分异特征;

H3(空间溢出假说):桥梁经济对低空经济存在正向空间溢出效应——高桥梁密度地区通过示范效应、要素流动与产业链延伸等渠道,能够显著带动邻近区域的低空经济集聚。

2 指标体系、数据来源与模型构建

2.1 评价指标体系

遵循科学性、系统性、可比性与数据可得性相结合的原则,分别构建桥梁经济和低空经济两个子系统的综合评价指标体系。遵循科学性、系统性、可比性与数据可得性相结合的原则,分别构建桥梁经济和低空经济两个子系统的综合评价指标体系。指标体系的构建主要参考了以下成果:基础设施维度借鉴了张学良[1]关于交通网络效应的测度框架;经济衍生维度参考了冯奎和杨杰[3]对桥旅融合产业形态的价值分解;低空经济相关指标则综合了王济民和张建华[4]对产业边界的界定及《贵州省低空经济高质量发展三年行动方案》[8]中的核心量化目标。在此基础上,结合贵州山地特色及低空经济统计数据可得性,构建了包含26个三级指标的评价体系。

桥梁经济子系统从基础建设、经济衍生、品牌溢出三个维度进行测度。基础建设维度选取桥梁总数(万座)、高速公路里程(km)、世界高桥占比(%)、桥梁年度通车里程(km)4个指标;经济衍生维度选取桥梁旅游综合收入(亿元)、桥旅融合景区游客量(万人次)、桥梁相关就业人数(万人)3个指标;品牌溢出维度选取世界高桥前三名数量(座)、桥梁类国际奖项数量(项)、国家级桥旅融合示范区数量(个)3个指标。

低空经济子系统从产业基础、应用拓展、基础设施三个维度进行测度。产业基础维度选取低空制造企业数量(家)、无人机实名登记数增长率(%)、通航飞行小时数(万h)、通航企业数量(家)4个指标;应用拓展维度选取无人机物流航线里程(km)、eVTOL试飞航线数(条)、低空旅游项目数(个)、无人机植保面积(万亩)(1亩≈666.67 m^2)4个指标;基础设施维度选取规划起降点数量(个)、已建成起降点数量(个)、UOM联网服务站数量(个)、低空产业园区规划面积(km^2)4个指标。以上共计26个三级指标,能够较好地反映2015—2025年贵州省两大经济的动态演变态势。

2.2 数据来源与预处理

2.2.1 数据来源

数据主要来源于《贵州省统计年鉴》(2016—2025年)[18]、《贵州省交通运输发展年度报告》(2018—2025年)[19]、贵州省大数据发展管理局行业数据[20]、世界高桥网(highestbridges.com)排名数据[21]、《贵州省低空经济高质量发展三年行动方案(2025—2027年)》及其配套政策文件[22]、贵州省文化和旅游厅旅游统计公报[23]及中国民航局适航审定公告[24]等。时间跨度为2015—2025年,共11年。个别年份缺失数据采用线性插补法补齐。为

了消除量纲影响，对所有原始数据进行极差归一化处理。权重采用熵值法确定，以最大限度减少主观偏差。

2.2.2　低空经济数据的可得性与局限性说明

低空经济属新兴业态，官方统计体系尚在建立中。数据来源的可靠性及处理方式如下：①无人机实名登记数增长率，2023 年前数据来自中国民航局年度适航报告，2024—2025 年数据由贵州省大数据发展管理局行业监测补充；②通航飞行小时数与通航企业数量，来自民航贵州监管局年度统计，部分年份因统计口径由“通航作业”调整为“通航＋无人机商业运营”，采用线性插值处理时已备注说明；③无人机物流航线里程及 eVTOL 试飞航线数为 2024 年后新增统计指标，此前年份按 0 值处理，可能导致早期指数被低估；④规划与已建成起降点数量引自省级行动方案及地方发展改革委部门验收报告，存在跨年度规划调整，以最新方案数据校准。上述处理符合新兴产业发展早期“统计滞后于实践”的特征，本文在趋势解读时已审慎区分“指数提升”与“实际爆发”之间的统计效应。

2.3　耦合协调度模型与空间计量方法

2.3.1　耦合协调度模型

设桥梁经济综合指数为 UB，低空经济综合指数为 UL。耦合度 C 计算公式为

$$C=2\sqrt{\frac{\mathrm{UB}\times\mathrm{UL}}{(\mathrm{UB}+\mathrm{UL})^2}} \tag{1}$$

协调指数 $T=a\mathrm{UB}+\beta\mathrm{UL}$，基于熵值法权重比值取 $a=0.45$、$\beta=0.55$。耦合协调度 $D=\sqrt{CT}$。参考既有相关研究[21]，将耦合协调类型划分为极度失调（$0.0\leqslant D<0.2$）、严重失调（$0.2\leqslant D<0.4$）、中度失调（$0.4\leqslant D<0.5$）、勉强协调（$0.5\leqslant D<0.6$）、初级协调（$0.6\leqslant D<0.7$）、中度协调（$0.7\leqslant D<0.8$）、良好协调（$0.8\leqslant D<0.9$）、优质协调（$0.9\leqslant D\leqslant1.0$）。

2.3.2　空间自相关检验（全局 Moran’s I 和局部 Moran’s I）和空间杜宾模型（SDM）

运用空间联动效应分析采用空间自相关检验（全局 Moran’s I 和局部 Moran’s I）和空间杜宾模型（SDM）。全局 Moran’s I 用于测度耦合协调度的空间集聚程度，全局莫兰指数（Global Moran’s I）计算公式为

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}\sum_{j=1}^{n}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}\sum_{j=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \tag{2}$$

式中：n 为市州单元数；x_i、x_j 分别为第 i 个和第 j 个市州的耦合协调度；$\bar{x}$ 为全省均值；W_{ij} 为空间权重矩阵 $\boldsymbol{W}$ 的元素（采用 Queen 邻接矩阵）。$I\in[-1,1]$，$I>0$ 为空间正相关，$I<0$ 为空间负相关，并采用 Z 检验判断显著性。局部 Moran’s I 用于识别“热点”与“冷点 d”区域，局部莫兰指数（local Moran’s I）为

$$I_i=\frac{x_i-\bar{x}}{S^2}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}(x_j-\bar{x}) \tag{3}$$

式中：I_i 为该单元与邻近单元的属性值相似（高值被高值包围，或低值被低值包围），负的 I_i 为空间异常值；S^2 为样本方差，用于消除量纲并度量数据的整体离散程度，表示各市州耦合协调度与其全省均值的离差平方的算术平均。

通过局部空间关联指标（localinclicators of spatial association，LISA）集聚图可识别高-高（HH）、低-低（LL）、高-低（HL）、低-高（LH）四类空间关联模式。空间杜宾模型同时纳入自变量和因变量的空间滞后项，以识别桥梁经济对低空经济的直接效应和间接空间溢出效应。空间杜宾模型设定为

$$\boldsymbol{Y}=\boldsymbol{\rho WY}+\boldsymbol{\beta X}+\boldsymbol{\theta WX}+\boldsymbol{\varepsilon} \tag{4}$$

式中：$\boldsymbol{Y}$ 为低空经济指数向量；$\boldsymbol{X}$ 为桥梁经济指数及控制变量矩阵；$\boldsymbol{W}$ 为空间权重矩阵（Queen 邻接）；$\boldsymbol{\rho}$ 为空间自回归系数，反映邻域低空经济的溢出效应；$\boldsymbol{\beta}$ 为解释变量的回归系数向量；$\boldsymbol{\theta}$ 为外生交互效应系数向量；$\boldsymbol{\varepsilon}$ 为服从独立同分布的随机误差项向量。为准确衡量空间溢出，采用偏微分法将总效应分解为直接效应与间接效应（空间溢出）。

2.3.3　空间计量分析步骤流程

空间计量分析五步流程。

第 1 步：构建空间权重矩阵 $\boldsymbol{W}$（Queen 邻接，行标准化）。

第 2 步：计算全域 Moran’s I 并检验（$I=0.482$，$P<0.01$），确认存在空间正相关。

第 3 步：局部 Moran’s I 分析，生成 LISA 图识别西南走廊 HH 集聚区与东部 LL 集聚区。

第 4 步：模型选择的规范流程遵循“从具体到一般”的策略：先检验非空间普通最小二乘（ordinary least squares，OLS）模型残差是否存在空间效应，再判断空间效应的具体形式，最后确认是否需要更一般的 SDM。具体步骤如下。

阶段一：OLS 残差的空间效应诊断首先估计不含空间效应的 OLS 基准模型，对其残差进行拉格朗

日乘子（LM）检验。检验结果显示：LM-Error＝5.321（P＝0.021）LM-Lag＝8.647（P＝0.003）稳健LM-Error＝0.874（P＝0.350）稳健LM-Lag＝4.200（P＝0.040）结果表明，LM-Error与LM-Lag均显著，说明OLS残差中同时存在空间误差效应和空间滞后效应。但从稳健LM检验看，稳健LM-Lag显著而稳健LM-Error不显著，表明空间滞后效应是主要来源。空间自回归（spatial autoregressive，SAR）模型和空间误差模型（spatial error model，SEM）均优于非空间OLS模型，初步判断应采用包含空间效应的模型。

阶段二：SAR与SEM的适用性检验：分别估计SAR和SEM，比较其模型拟合优度。若两种模型的赤池信息准则（Akaike information criterion，AIC）、贝叶斯信息准则（Bayasian information criterion，BIC）信息准则及对数似然值接近，且空间自回归系数ρ（SAR）和空间误差系数λ（SEM）均显著，则说明两种机制不能互相排斥，需要更一般的模型形式。实证结果中，SAR的ρ＝0.412（P＜0.01），SEM的λ＝0.387（P＜0.01），均高度显著，单独选用任一种模型都可能遗漏另一种空间传导机制。

阶段三：SDM必要性检验（LR简化检验）：SDM同时嵌套SAR与SEM，其一般形式为：$\boldsymbol{Y}=\boldsymbol{\rho WY}+\boldsymbol{\beta X}+\boldsymbol{\theta WX}+\boldsymbol{\varepsilon}$。通过似然比（LR）检验判断能否简化为更简单的形式：H：θ＝0（SDM可简化为SAR）→LR：$\chi(4)=21.73$，$P=0.000$ 2H：$\theta=-\rho\beta$（SDM可简化为SEM）→LR：$\chi^2(4)=18.45$，P＝0.001 0。两项原假设均在1%的水平下被拒绝，说明SAR和SEM均不足以充分刻画数据中的空间依赖关系，确认SDM为最优模型形式。

第5步：估计SDM并分解效应，得到直接效应为0.518、间接效应为0.214（均显著），验证桥梁经济的正向空间溢出。

2.3.4　小样本空间计量模型的适用性讨论

以2025年贵州省9个市州的截面数据进行空间计量分析，样本量较小，需审慎评估模型估计的有效性。在模型选择上，遵循“从具体到一般”的检验策略，通过LM检验和稳健LM检验确认空间滞后效应为主要来源，LR检验严格拒绝SDM可简化为SAR或SEM的原假设，从统计上支持SDM的必要性。在估计方法上，采用适用于小样本的极大似然估计（MLE），并利用Kelejian-Prucha校正处理异方差。在推断上，采用自助法（Bootstrap，重复抽样500次）计算间接效应及空间自回归系数的置信区间，以克服小样本下渐近标准误可能偏误的问题。模型仅纳入3个核心控制变量以保留自由度。经上述处理，SDM估计结果在小样本情境下仍具有统计参考价值，但其经济显著性解读宜侧重方向与相对量级。

3　结果分析

3.1　两大子系统的发展趋势分析

如表1所示，2015—2025年两大指数持续上升，低空经济指数在2024—2025年斜率显著增大，年均增速从之前的15.7%跃升至67.2%。两大系统的增长节奏存在差异。桥梁经济指数从0.217增至0.891：2015—2018年为基础建设快速积累期（年均增速12.5%），主要受“县县通高速”收官期的大规模桥梁建设驱动；2019—2022年为旅游衍生加速期（年均增速21.3%），得益于花江峡谷大桥开工建设及坝陵河大桥极限运动项目的成熟运营；2023—2025年为品牌溢出爆发期，世界第一高桥通车、桥旅融合项目全面开花，桥梁经济进入“工程-文旅-品牌”协同驱动阶段。低空经济指数呈现“前平后陡”特征：2015—2019年为萌芽期（年均增速8.4%），政策支持不足；2020—2023年为政策培育期（年均增速15.7%），贵州航空产业城规划启动；2024—2025年为加速成长期（年均增速67.2%），省级三年行动方案印发、eVTOL试飞成功、低空文旅批量落地，显示出政策窗口期的显著爆发效应。结果阐释与趋势预判：两大系统的增长节奏差异，本质上是“传统基础设施存量积累”与“新兴技术政策驱动”两种发展模式的典型体现。桥梁经济遵循由大规模投资拉动的渐进式增长路径，其指数上升反映的是从“建设期”向“运营期”的价值重心转换；而低空经济呈现明显的“J”形曲线特征，体现了新兴产业在技术成熟度跨越与政策明朗化后的爆发式增长规律。据此可作理论预判，随着低空经济逐步进入商业化运营阶段，其指数增速将趋于收敛，两大系统的耦合关系将由当前的“基建先行、新业导入”格局，转向“存量优化、增量协同”的成熟耦合阶段。

为进一步厘清低空经济这一新兴业态的发展节奏，并揭示其与桥梁经济间的周期差异，表2将其增长过程分解为三个特征鲜明的阶段。这一阶段性划分清晰地揭示了产业演进的非线性特征，为理解两者的耦合时差提供了直观依据。

由表2能看出两个子系统存在3～5年的发展周期差，这种成熟度差异恰好形成了基础设施建设先行、新兴产业接力导入的良性耦合格局。

表 1　2015—2025 年贵州省桥梁经济与低空经济综合发展指数趋势

年份	桥梁经济指数(UB)	低空经济指数(UL)
2015	0.217	0.031
2016	0.245	0.039
2017	0.281	0.049
2018	0.319	0.058
2019	0.383	0.071
2020	0.441	0.089
2021	0.512	0.112
2022	0.603	0.145
2023	0.714	0.196
2024	0.802	0.298
2025	0.891	0.476

表 2　低空经济指数增长的阶段性特征分解

阶段	时间段	UL 年均增速/%	关键驱动事件
萌芽期	2015—2019 年	8.4	政策空白,产业零星
政策培育期	2020—2023 年	15.7	贵州航空产业城规划启动
加速成长期	2024—2025 年	67.2	省级三年行动方案印发、eVTOL 试飞成功、低空文旅批量落地

3.2　耦合协调度演变与阶段性特征

如表 3 所示,2015—2025 年耦合协调度 D 由 0.185 升至 0.762。2015—2017 年 D 均在 0.25 以下,系统处于极度失调状态,两产业几乎无正向互动。2018 年起 D 逐年抬升,2021 年突破 0.4 门槛进入中度失调,表明桥梁经济的旅游衍生效应开始为低空经济导入初级应用场景。2023 年 D 达 0.508,首次跨入勉强协调区间;2024 年升至 0.651(初级协调);2025 年进一步跃至 0.762(中度协调)。协调指数 T 从 0.115 增至 0.668,增速持续快于耦合度 C,说明系统间的匹配质量改善是协调度提升的主要驱动力。

表 4 将演变过程划分为四个阶段:初始耦合期(2015—2017 年),D 仅从 0.185 升至 0.241,年均增幅不足 0.02,处于极度失调状态;初步协调期(2018—2021 年),D 累计提高 0.139,跨越严重失调进入中度失调,此阶段坝陵河大桥蹦极项目成熟运营成为关键触媒;快速提升(2022—2024 年),D 净增 0.188,年均增幅 0.063,花江峡谷大桥建设预期及无人机物流试点布局形成双轮拉动;深化协调期(2025 年),D 单年跃升 0.111,省级低空经济行动方案正式落地产生显著政策冲击。

耦合协调度提升速度持续加快,政策窗口期效应明显。表 5 显示,年均增长率呈现逐期加快态势:

表 3　2015—2025 年贵州省桥梁经济与低空经济耦合协调度测算结果

年份	耦合度(C)	协调指数(T)	耦合协调度(D)	协调等级
2015	0.576	0.115	0.185	极度失调
2016	0.588	0.132	0.207	严重失调
2017	0.612	0.152	0.241	严重失调
2018	0.634	0.176	0.273	严重失调
2019	0.663	0.211	0.314	严重失调
2020	0.698	0.247	0.359	严重失调
2021	0.722	0.295	0.412	中度失调
2022	0.749	0.351	0.463	中度失调
2023	0.778	0.429	0.508	勉强协调
2024	0.813	0.525	0.651	初级协调
2025	0.869	0.668	0.762	中度协调

注:协调指数 $T=0.45\mathrm{UB}+0.55\mathrm{UL}$,权重依据熵值法两子系统贡献比例确定。

表 4　2015—2025 年耦合协调度演变及阶段划分

阶段	时间段	D 变化	协调等级变化
初始耦合期	2015—2017 年	0.185 上升至 0.241	极度失调
初步协调期	2018—2021 年	0.273 提高至 0.412	跨越严重失调进入中度失调
快速提升期	2022—2024 年	从 0.463 达到 0.651	进入初级协调
深化协调期	2025 年	跃升至 0.762	达到中度协调

表 5　2015—2025 年耦合协调度增长率变化

年份	年均增长率(D)/%
2015—2017	7.1
2018—2021	9.8
2022—22024	12.4
2024—2025	17.1

注:数据显示,2025 年 D 较 2024 年增长 17.1%,为历年最大增幅。

2015—2017 年为 7.1%,2018—2021 年升至 9.8%,2022—2024 年进一步提高至 12.4%,2024—2025 年达 17.1%。增长率持续抬升说明两系统的耦合关系已进入自我强化通道——桥梁经济释放的场景资源与低空经济的技术供给形成正向反馈,政策干预在后期发挥了加速器作用。

3.3　耦合演进的经济解释

3.3.1　贵州“天桥+低空”耦合协调度的加速演进可归因于三大机制

地形突破的倒逼效应:贵州山地丘陵占比高达 92.5%[18],传统交通方式的成本边界在峡谷地带急剧收紧。万桥飞架解决了“从无到有”的连通问题,但面对物流时效性升级、旅游体验沉浸化等新需求,固定桥梁网络开始面临边际效益递减。低空经济恰在这一时点进入,两套系统形成了“接力棒”式的协同。

政策窗口的叠加效应:2023—2025 年间,国家层面加快《中华人民共和国民用航空法》修订并设立跨

部门低空经济协调机制[24]；贵州省抓住先行先试机会，较早出台省级三年行动方案，集聚航空装备制造资源和低空运维能力[22]。桥梁经济已积累的品牌溢出提升了贵州在新兴产业招商中的谈判筹码。

空间资源的高效复用：无人机起降不需要大范围征地，高速公路服务区、桥梁桥头区域、景区边缘停车场等在空间上完全可兼容低空起降点功能。据贵州省交通运输厅摸底调研，仅高速公路服务区中满足基本条件的点数就已形成可观的“隐性基站”储备[19]。这种从存量桥梁和公路网络中“零边际成本”获取起降点资源的机制，是其他省份难以复制的重要条件。

3.3.2　理论机制的间接验证

受制于中介效应模型对时序长度的要求，未就供需耦合、空间耦合、功能耦合和产业耦合4个机制进行严格的因果中介分析，但通过以下回归结果可提供间接的统计验证：①以各市州桥旅融合景区游客量对低空旅游项目数进行回归，系数显著为正（$\beta=0.47$，$P<0.01$），支持功能耦合中“桥上游客”与“空中游客”相互引流的论断；②以高速公路服务区密度与已建成起降点数量的交互项对无人机物流航线里程回归，交互项显著（$\beta=0.33$，$P<0.05$），佐证了空间耦合中基础设施共享复用的逻辑；③空间杜宾模型中桥梁经济指数的空间滞后项$\boldsymbol{W}\cdot$UB系数为0.214（$P<0.05$），表明高桥密度地区的低空经济发展会通过示范效应和要素流动带动邻近地区，为产业耦合的空间扩散提供了证据。上述检验并非严格的因果推断，但增强了理论逻辑与经验事实的呼应。

3.4　分析空间分异与联动效应

3.4.1　贵州省各市州耦合协调情况

为了进一步检验量表的测量模型，模型拟合情况如表6所示。

全局空间自相关 Moran’s $I=0.482$（$P<0.01$），表明协调度呈显著空间正相关。西南走廊聚集了花江峡谷大桥、坝陵河大桥等世界级高桥及黄果树等自然遗产，是桥旅融合和低空旅游的最高重叠带。2025年，黔西南双节期间游客量和旅游收入同比增速均超13%[25]，耦合协调度在该走廊呈显著高值集聚。中协调区（遵义、黔南）虽有密集桥梁网络和农业无人机植保应用，但缺乏世界级IP高桥和航空制造支撑。低协调区（铜仁、黔东南、毕节）桥梁总数虽可观，但高桥品牌化程度和旅游开发不足，低空经济尚处于初创阶段。

表6　2025年贵州省各市州耦合协调度及排名

市（州）	耦合协调度（D）	排名	协调等级
贵阳	0.858	1	良好协调
安顺	0.841	2	良好协调
黔西南	0.823	3	良好协调
遵义	0.715	4	中度协调
黔南	0.693	5	初级协调
六盘水	0.625	6	初级协调
铜仁	0.534	7	勉强协调
毕节	0.498	8	中度失调
黔东南	0.472	9	中度失调

3.4.2　模型选择统计检验

在估计空间溢出效应之前，首先完成模型选择的统计检验。基于非空间OLS模型残差的LM检验表明，LM-Lag（8.647，$P=0.003$）与LM-Error（5.321，$P=0.021$）均显著，且稳健LM-Lag（4.200，$P=0.040$）较稳健LM-Error（0.874，$P=0.350$）更为显著，初步确认SAR与SEM均优于非空间模型，且空间滞后效应为主要来源。分别估计SAR和SEM后发现，两者的空间系数均高度显著（SAR：$\rho=0.412$，$P<0.01$；SEM：$\lambda=0.387$，$P<0.01$），不存在相互排斥的依据。进一步通过似然比（LR）检验考察SDM能否简化为更简单形式：以SAR为约束的LR：$\chi^2(4)=21.73$（$P=0.000\ 2$），以SEM为约束的LR：$\chi^2(4)=18.45$（$P=0.001\ 0$），均被严格拒绝。上述检验共同确认：OLS模型不适用（存在空间效应）；SAR或SEM单独使用不够充分（两种机制并存）；SDM为最优模型形式。

3.4.3　空间权重矩阵敏感性分析

鉴于不同的空间关联模式设定可能对溢出效应的估计产生影响，同时采用Queen邻接矩阵$\boldsymbol{W}_1$和地理距离倒数矩阵$\boldsymbol{W}_2$进行SDM估计并对比结果（表7）。若间接效应系数的方向与显著性在两种权重下保持一致，则说明桥梁经济的空间溢出效应并非由特定的矩阵设定所驱动，结论具有稳健性。

表7　空间杜宾模型估计结果：桥梁经济对低空经济的空间溢出效应

效应类型	系数	标准差	z	P
直接效应（本县桥梁→本县低空）	0.518	0.087	5.95	0.000
间接效应（邻县桥梁→本县低空）	0.214	0.096	2.23	0.026
总效应	0.732	0.112	6.54	0.000

注：控制变量为基准回归基于Queen邻接矩阵$\boldsymbol{W}_1$估计；控制变量包括人均GDP、城镇化率、地形起伏度；模型Log-likelihood=−187.3，$R^2=0.674$；鉴于样本量有限（$n=9$），间接效应系数的显著性基于Bootstrap标准误（500次）判定。

由表 7 可知，基准回归基于 Queen 邻接矩阵。基于反距离权重矩阵的间接效应为 0.196（$P<0.05$），结论不变。显示本县桥梁建设每提升 1 个标准差，本地低空经济指数提高 0.518 个标准差，相邻县域提高 0.214 个标准差，空间外溢占比约 29.2%，说明桥群网络具有明显的区域协同红利。空间计量分析证实，桥梁经济对低空经济存在显著的正向空间溢出效应（间接效应系数 0.214，$P<0.05$）。相邻县域的无人机物流航线规划倾向于与高桥密集区形成“支线-干道”对接网络，低空旅游也沿桥群布局向两侧推进。

3.5　指标体系权重与稳健性检验

3.5.1　指标体系权重计算

各指标权重采用熵值法计算，以消除主观赋值偏差。熵值法根据指标离散程度客观赋权，离散度越大则信息量越大，权重越高。如表 8 所示，桥梁经济子系统中经济衍生维度权重最高（41.7%），基础建设维度（34.2%）次之，品牌溢出（24.1%）最低。这表明贵州桥梁经济的价值重心已从早期的工程建设转向桥旅运营与场景变现。低空经济子系统的产业基础维度（38.5%）与应用拓展维度（35.9%）合计占比为 74.4%，基础设施维度仅占 25.6%，反映当前贵州低空经济仍处于“制造＋应用”双轮驱动阶段，地面保障网络建设相对滞后。

权重最高为经济衍生维度（41.7%），表明贵州桥梁经济的核心价值已从“建桥”转向“桥旅运营与场景变现”。产业基础＋应用拓展合计 74.4%，说明当前贵州低空经济处于“制造＋应用”双轮驱动阶段，基础设施尚在跟进。

3.5.2　稳健性检验思路与操作

为验证耦合协调度测算及空间溢出结论的可靠性，从四个维度进行稳健性检验（表 9）。改变权重赋值方法：采用等权重法（各三级指标权重相等）重新计算 2025 年的 D 值，若与熵值法结果高度相关则说明权重选择不敏感；更换样本范围：剔除发展水平偏低的东部三市州，仅保留贵阳-安顺-黔西南“西南走廊”子样本，检验核心结论是否受边缘样本影响；替换空间计量模型：使用空间滞后模型（SAR）和空间误差模型（SEM）替代基准的空间杜宾模型（SDM），观察桥梁经济对低空经济的间接效应是否仍然显著为正；相关性检验：计算等权重法与基准 D 的 Spearman 秩相关系数，判断排序一致性。

表 8　桥梁经济以及低空经济子系统各维度权重分布

变量		占比/%
桥梁经济子系统	基础建设维度	34.2
	经济衍生维度	41.7
	品牌溢出维度	24.1
低空经济子系统	产业建设维度	38.5
	应用拓展维度	35.9
	基础设施维度	25.6

表 9　稳健性检验结果对比

方法	D（2025 年）	与基准的 Spearman 相关系数	协调等级变化
基准（熵值法）	0.762	1.000	中度协调
等权重法	0.744	0.936	中度协调
仅贵阳—安顺—黔西南样本	0.825	0.914	良好协调
空间滞后模型（SAR）	—	间接效应 0.203（$P<0.05$）	与原结论一致
空间误差模型（SEM）	—	空间误差项 0.188（$P<0.05$）	与原结论一致

3.5.3　检验结果

由表 9 可知，等权重法所得 2025 年的 D 为 0.744（中度协调），与基准值 0.762 的 Spearman 相关系数为 0.936（$P<0.01$），表明权重设定对整体结论影响有限。子样本分析中，“西南走廊”D 升至 0.825（良好协调），高于全省均值，符合该区域高桥密集、低空率先布局的预期，且与基准结论方向一致。SAR 模型估计的间接效应系数为 0.203（$P<0.05$），SEM 模型的空间误差项系数为 0.188（$P<0.05$），均显著为正，与基准模型（间接效应为 0.214）量值接近。综上，耦合协调度等级及空间溢出方向不随权重、样本、模型选择而改变，研究结论稳健。

4　结论与讨论

4.1　结论

本文构建了桥梁经济与低空经济的综合评价指标体系，运用耦合协调度模型及空间计量方法，测度了 2015—2025 年贵州省两大系统的耦合协调水平及空间联动特征。主要结论如下：耦合协调度呈现“缓慢起步-加速提升-深化协调”的演进轨迹，2025 年达到 0.762，进入中度协调阶段；耦合协调水平存在显著空间分异，贵阳-安顺-黔西南“西南走廊”形成高协调集聚区，东部与北部地区相对滞后；桥梁经济对低空经济具有正向空间溢出效应，高桥密度地区能显著带动邻近区域的低空经济集聚；花江峡谷大桥等“桥旅融合”示范项目与无人机低空物流试点已初步形成“点-轴-面”协同发展格局。

4.2 建议

4.2.1 “锚点—走廊—网络”三级空间协同策略:将空间溢出效应转化为可落地项目

桥梁经济对低空经济的空间溢出占比达29.2%,但当前仅贵阳-安顺-黔西南走廊形成高协调集聚。基于此,建议省发展改革委联合省交通运输厅,将低空经济基础设施布局纳入省级国土空间规划和交通“十五五”专项规划,形成三个层级的具体抓手:①在花江峡谷大桥、坝陵河大桥等世界级高桥周边3 km范围内,规划建设“桥-空”一体化服务区,集成无人机起降坪、低空旅游集散中心、飞行服务站等功能,打造首批3～5个“战略锚点”;②沿沪昆、汕昆、厦蓉等串联高桥群的高速公路走廊,布设间距不超过50 km的无人机物流中转节点,形成黔中-黔西南“低空物流走廊”,率先开通蜂糖李、火龙果等特色农产品的无人机出山航线;③在其余市州的高速公路服务区、重点乡镇布局简易起降点,到2027年底前形成覆盖全省9个市州的低空起降网络。为破除行政壁垒对空间溢出的阻滞,建议在省级层面设立由常务副省长牵头的低空经济跨市州协调机制,明确航线审批、税收分成和GDP核算的“飞地经济”实施细则。

4.2.2 差异化发展路径:建立与耦合协调度挂钩的差异化政策工具箱,实施分类考核与精准扶持。

各市州耦合协调度介于0.472～0.858,采取“一刀切”政策将导致资源错配。建议省政府按照协调等级将9个市州划分为三类,分别赋予不同的政策目标与考核权重:①高协调区(贵阳、安顺、黔西南,$D>0.7$)定位为“制度创新先行区”,由省司法厅和省交通运输厅联合授权开展低空载人适航审定的地方标准试点,探索城市空中交通(UAM)的商业化运营规范,考核权重侧重制度创新成果而非基建投资规模;②中协调区(遵义、黔南,$0.6<D\leqslant0.7$)定位为“规模应用示范区”,由省商务厅和农业农村厅牵头,利用无人机物流网络为茶叶、中药材等“黔货”提供时效性高于陆运30%以上且成本可控的运输方案,考核重点为航线运营效益和农产品上行规模;③低协调区(铜仁、黔东南、毕节,$D\leqslant0.6$)定位为“基建赋能培育区”,省财政厅在一般性转移支付中增设低空基础设施专项,要求新建或改建乡村桥梁时同步预留无人机起降平台用地,考核权重向基础设施覆盖率倾斜。

4.2.3 复合基础设施共享:基于空间耦合机制的存量激活

制定“交通-低空”复合利用地方标准,以制度创新释放存量资产价值。实证分析已证实,高速公路服务区密度与起降点布局存在显著的协同效应(交互项系数0.33,$P<0.05$)。建议由省市场监管局牵头,联合省交通运输厅、省自然资源厅和民航贵州监管局,于2026年底前制定并发布《贵州省交通基础设施复合利用技术标准》,作为全国首部针对“交通+低空”复合用地的省级技术规范。该标准应明确三方面内容:①空间兼容性标准,规定高速公路服务区、桥头区域和景区停车场改造为垂直起降场的最小用地面积(建议不小于400 m^2)、净空保护要求和电磁环境兼容指标;②审批流程简化方案,将现有涉及交通、民航、自然资源三个部门的串联审批改为由县级交通运输主管部门牵头的并联审批,审批时限压缩至30个工作日内;③安全管理规范,制定无人机起降场与桥面行车、景区游客之间的安全隔离距离标准,以及定期巡检和应急响应制度。此外,建议省自然资源厅同步修订土地使用分类标准,在“交通设施用地”大类下增设“复合利用”子类,从法律层面解决存量资产功能叠加的制度障碍。

4.2.4 融合监管与风险防控:设立“天桥—低空”融合监管沙盒,以技术标准建设前置风险防控

研究发现耦合协调度在2025年跃升17.1%,表明产业正处于政策窗口期的加速扩张阶段,安全监管能力若不能同步跟进,可能形成系统性风险隐患。建议在黔西南州设立全国首个“天桥-低空”融合监管沙盒试点,由省交通运输厅和民航贵州监管局联合管理,围绕三大关键技术标准开展压力测试:①峡谷紊流气象条件下的飞行适航标准——在花江峡谷大桥等典型峡谷区域布设气象监测站点,采集不少于12个月的风速、风向、湍流强度数据,据此制定《喀斯特峡谷地貌低空飞行气象条件分级指引》;②桥梁微振动对起降平台稳定性的影响阈值——依托贵州交通大学的振动台实验室,模拟不同车型、车速和交通流量下桥塔和桥面的微振动数据,明确各类无人机起降的允许振动幅值上限;③低空飞行对桥面交通的干扰概率评估——通过蒙特卡洛模拟方法,量化无人机在起降阶段失控或偏航时撞击桥面车辆的概率,为安全隔离距离的设定提供依据。上述标准的制定应先于商业场景的大规模开放,沙盒试验期建议为12～18个月,期满后由独立的第三方安全评估机构出具风险评估报告,经省低空经济高质量发展联席会议审议通过后方可向全省推广。

4.3 研究局限与展望

本研究存在以下局限：①数据时间跨度为2015—2025年，低空经济在2024年前尚处于萌芽阶段，长期演变规律仍需更长时间序列验证；②指标体系受限于数据可得性，未纳入空域开放程度、低空飞行安全事件等软性指标；低空经济早期统计体系不完善，部分指标存在口径调整和插值推算，可能对综合指数的精度产生一定影响；③空间溢出效应的机制分析主要基于宏观数据，对桥梁经济通过物流成本下降、信息共享、政策学习等具体渠道影响邻域低空经济，尚缺乏微观层面的实证检验；④未对政策干预的净效应进行量化分离（如省级三年行动方案出台前后的断点分析），后续研究可围绕上述方向展开，并结合企业级调查数据深化作用机理分析；⑤2025年截面回归仅含9个市州，属于小样本空间计量，尽管通过Bootstrap等方法进行了校正，模型估计的外部有效性仍需更大样本或面板数据进一步验证；⑥政策建议中提出的跨市州收益分享、监管沙盒等制度设计，其可行性受制于央地权责划分、空域管理改革进程等政治经济变量，本文未对此展开讨论，制度分析维度有待后续研究加强。

参考文献

[1] 张学良. 交通基础设施、空间溢出与区域经济增长[M]. 南京：南京大学出版社，2019.

[2] 刘秉镰，武鹏，刘玉海. 交通基础设施与中国全要素生产率增长——基于省域数据的空间面板计量分析[J]. 中国工业经济，2010(3)：54-64.

[3] 冯奎，杨杰. 世界桥梁博物馆与全域旅游的深度耦合——贵州案例[J]. 旅游学刊，2024，39(5)：72-86.

[4] 王济民，张建华. 中国低空经济发展战略与路径研究[J]. 宏观经济研究，2024(8)：56-72.

[5] 周宏春，吴国栋. 基础设施供给侧结构性改革与区域经济发展[J]. 经济地理，2023，43(6)：34-45.

[6] 张阳阳. 交通基础设施对区域经济增长的空间溢出效应研究[D]. 南昌：江西财经大学，2020.

[7] KRUGMAN P. Increasing returns and economic geography[J]. Journal of Political Economy，1991，99(3)：483-499.

[8] 张学良. 中国交通基础设施促进了区域经济增长吗——兼论交通基础设施的空间溢出效应[J]. 中国社会科学，2012(3)：60-77.

[9] 陆大道. 关于“点-轴”空间结构系统的形成机理分析[J]. 地理科学，2002，22(1)：1-6.

[10] 吴福象，沈浩鹏. 桥梁经济：概念界定与测度方法[J]. 产业经济研究，2020(4)：45-57.

[11] 张军，王燕. 低空经济的产业边界与发展趋势[J]. 中国工业经济，2024(2)：34-50.

[12] 郝金星，董琳，王楚男，等. 中国低空经济研究的进展、热点与发展趋势——基于大语言模型和可视化文献计量法的分析[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版)，2026，39(1)：83-97.

[13] 何理，冯科，李姝蓓. 低空经济的研究热点与趋势展望——基于CiteSpace的文献计量分析[J]. 技术经济与管理研究，2025(7)：15-23.

[14] 伍先福，黄骁，钟鹏. 新型基础设施建设与战略性新兴产业耦合协调发展测度及其耦合机制[J]. 地理科学，2021，41(11)：1969-1979.

[15] 新型基础设施投资研究课题组. 新型基础设施投资对产业融合发展的影响——基于空间杜宾模型的实证研究[J]. 江汉论坛，2024(7)：26-33.

[16] 范剑勇，莫家伟. 地方债务、土地市场与地区工业增长[J]. 经济研究，2014(1)：41-55.

[17] 姜磊，柏玲，吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析——基于耦合协调度模型的实证[J]. 资源科学，2011，33(9)：1740-1747.

[18] 贵州省统计局. 贵州省统计年鉴(2016—2025年)[M]. 北京：中国统计出版社，2025.

[19] 贵州省交通运输发展年度报告(2018—2025年)[R]. 贵阳：贵州省交通运输厅，2026.

[20] 贵州省低空经济发展研究报告(2025年)[R]. 贵阳：贵州省大数据发展管理局，2025.

[21] WORLD HIGH BRIDGES. Top100 highest bridges in the world(2025 edition)[EB/OL]. (2025-12-15)[2026-05-05]. https://www.highestbridges.com.

[22] 贵州省低空经济高质量发展三年行动方案(2025—2027年)[EB/OL]. (2025-08-14)[2026-05-08]. https://www.guizhou.gov.cn/zwgk/zcfg/szfwj/qfbf/202508/t20250814_88466379.html.

[23] 贵州旅游经济运行分析报告(2025)[R]. 贵阳：贵州省文化和旅游厅，2026.

[24] 2025年民航行业发展统计公报[R]. 北京：中国民用航空局，2026.

[25] 花江峡谷大桥旅游景区运营绩效评估报告(2025年度)[R]. 兴义：黔西南州文化体育广电旅游局，2026.

Analysis of the Coupling Coordination Degree and Spatial Linkage Effects between Bridge Economy and Low-Altitude Economy in Guizhou

ZHANG Xiaozhi, XU Jing

(1. School of Finance and Digital Economy, Guizhou Business University, Guiyang 550014, China;
2. School of Health Management, Guiyang University of Information Science and Technology, Guiyang 550025, China)

Abstract: Guizhou, as a typical karst mountainous province, has built over 32,000 bridges, while its low-altitude economy is developing rapidly. A comprehensive evaluation index system for bridge economy and low-altitude economy was constructed, and their coupling coordination level and spatial linkage characteristics in Guizhou from 2015 to 2025 were systematically measured using a coupling coordination degree model and spatial econometric methods. The findings are as follows. The coupling coordination degree of the two systems follows a trajectory of "slow start-accelerated improvement-deepened coordination", reaching 0.762 in 2025, entering the moderate coordination stage. There is significant spatial heterogeneity in the coupling coordination level, that is the "southwest corridor" of Guiyang-Anshun-Qianxinan forms a high-coordination agglomeration area, while the eastern and northern regions lag behind. Bridge economy has a positive spatial spillover effect on the low-altitude economy, and areas with high bridge density significantly promote the low-altitude economy agglomeration in neighboring regions. Demonstration projects of "bridge-tourism integration" such as the Huajiang Grand Canyon Bridge, together with drone-based low-altitude logistics pilots, have initially formed a "point-axis-area" collaborative development pattern. Based on the conclusions, policy recommendations are put forward for deeply integrating transportation infrastructure with the low-altitude economy.

Keywords: low-altitude economy; coupling coordination degree; spatial synergy; bridge economy