装配式建筑产业生态位测度研究

——以湖南省为例

邓方好，沈良峰，彭菊辉

（中南林业科技大学土木工程学院，长沙 410004）

摘要： 基于生态位理论，构建“态势”双维测度指标体系，以 BWM-CRITIC（最优最劣-客观赋权法）结合博弈论组合赋权确定指标权重，测度湖南省14个市州装配式建筑产业生态位宽度、重叠度及“态势”值。结果表明，生态位宽度呈“核心引领、区域分化”特征，生态位重叠度揭示同质化竞争风险大且部分地区存在产业脱节隐患，生态位聚类客观表征不同区域在产业发展现状层面的异质性。研究成果可为湖南省装配式建筑产业当前发展定位与差异化政策制定提供实证依据。

关键词： 装配式建筑产业；生态位理论；生态位宽度；生态位重叠度

中图分类号： F426.9 **文献标志码：** A **文章编号：** 1671－1807(2026)01－0137－08

建筑业占全球能源消耗总量39 %，节能减排已成为该行业的核心挑战[1]。与传统现浇建筑相比，装配式建筑作为工业化建造模式之一，具有节约成本、缩短工期、减少噪声污染、能源消耗与环境污染等显著优势[2]。自2016年国务院办公厅发布《大力发展装配式建筑的指导意见》以来，装配式建筑相关的政策文件相继出台，全国各地呈现齐头并进的高速发展趋势，重点区域已率先迈向高品质与绿色低碳发展阶段。其中湖南省装配式建筑产业起步较早，产业的发展速度、产能规模与综合实力目前均位居全国前列。但在产业高速发展的同时，也暴露出产业结构不尽合理、区域发展不平衡等长期性挑战，导致产业生态系统内资源配置低效、经济增长失衡甚至削弱全省产业的整体竞争力。关于产业问题，国内外学者从不同视角出发，运用科学方法，提出许多创新性解决方案，其中以生态学视角对产业组织和产业生态系统的研究越来越受到人们的重视，并逐渐成为产业经济研究的主流思想。

装配式建筑产业已形成较为完善的发展体系，其中可持续性是产业研究的核心议题。Navaratnam等[3]从跨维度视角切入，系统探讨了装配式技术在可持续性、适用性等方面对建筑业的影响，明确了技术层面的可持续价值。Daly等[4]基于实践视角，整合澳大利亚装配式建筑行业若干个利益相关方的意见，梳理出该产业环境和社会可持续性的评价方法。赵娟和焦丽明[5]指出发展装配式建筑是贯彻绿色节能环保，顺应可持续发展和“双碳”目标的重要举措，明确其在国家绿色发展战略中的定位。王腊银[6]进一步结合政策规划，提出发展装配式建筑是各省推进新型城镇化和提升建设效率的核心抓手。沈良峰等[7]提出优化网络结构可以促进装配式建筑产业可持续发展。然而上述研究多聚焦“技术-政策-可持续性”的单向关联，尚未将装配式建筑产业置于“产业-社会-自然”复合生态系统中分析，这为引入生态位理论提供了研究空间，为揭示生物单元在竞争环境中的“最适生存位置”提供了理论基础和测度手段。Cao等[8]探讨了2007—2019年“一带一路”沿线11个国家的“经济-社会-自然”生态位及其耦合协调性，以及区域差异和时空特征，为“中国-东盟”自由贸易区的可持续发展提供了政策建议。蒋惠凤等[9]运用生态位态势理论，探讨了专精特新产业学院生态位及高校培育专精特

收稿日期： 2025-07-03

基金项目： 长沙市自然科学基金(kq2402267)

作者简介： 邓方好（2001—），女，湖南长沙人，硕士研究生，研究方向为可持续建设与发展管理；通信作者沈良峰（1968—），男，江苏南通人，博士（后），教授，研究方向为可持续建设与发展管理；彭菊辉（1997—），女，广西贺州人，硕士研究生，研究方向为可持续建设与发展管理。

新产业学院的生态位战略。何伟等[10]基于中国省域的面板数据，实证分析了数字化转型对区域创新生态系统生态位适宜度的影响机制。王艳等[11]基于生态位理论评价了南疆 3 地农村产业融合发展水平并分析其空间关联性，以促进乡村振兴、实现农业现代化。

综上所述，当前国内外关于装配式建筑产业与产业生态位测度的研究仍存在明显不足。目前对装配式建筑产业的研究极少深入分析其研发成本高且民众认可度低的根源，并过多依赖定性描述或单一经济指标来评价产业水平，存在范围片面性。在产业生态位测度方面，从宏观视角将生态位理论用于装配式建筑产业欠缺，且相关研究多停留在概念框架，未构建产业专属评价体系，定量测度常套用其他产业指标且维度单一，权重设定依赖专家主观打分，存在视角片面性、方法局限性与结论主观性等问题。借鉴生态位理论，以湖南省装配式建筑产业为研究对象，构建产业生态位评价指标体系，定量测度省内各市州产业生态位水平，旨在厘清湖南省各市州装配式建筑产业的发展现状与潜力，为制定差异化发展策略提供实证依据，也为其他产业的生态位研究提供新的思路和方法参考。

1 数据与方法

1.1 数据来源

以湖南省装配式建筑产业为研究对象，研究范围涵盖湖南省 14 个市州（含 13 个地级市、1 个自治州），基于国内外研究，遵循科学性、时效性、代表性等原则，收集整理 2024 年《湖南省统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》以及湖南省人民政府、湖南省及各地级市（州）住房和城乡建设局等相关官方网站发布的数据，根据湖南省装配式建筑产业生态位测度指标体系，系统收集并整理相关数据，最终获取 2023 年指标初始数值，其中增长率指标基于 2021—2023 年动态数据计算得到。

1.2 指标体系

1.2.1 测度指标体系构建

装配式建筑产业生态位是指产业在所处的“自然-经济-社会”复合系统中，通过经济循环与环境及其他相关产业形成的互动关系，具体表现为该产业在系统中的功能定位、价值创造能力及竞争地位[12]。产业的演化过程具有动态性，不仅受制于自身内部发展情况，更受到自然、社会、经济等因素的综合影响[13]。借鉴生态位“态势”理论，将产业生态位划分为表征产业现有综合实力与内部稳定性的“态”和体现产业发展增长潜力与演进方向的“势”，并依据“N 维超体积”生态位模型[14]，对湖南省装配式建筑产业关键因素进行识别，在此基础上将一级指标细分为政策生态位、市场生态位、环境生态位和技术生态位 4 个层面。为确保指标体系的科学性和适用性，在指标筛选过程中，综合运用文献分析法并进行系统归纳与严格甄别，充分考虑指标的学术依据、实际表征意义及其在产业背景下的准确性与可获取性，兼顾湖南省的地域特征，最终筛选并确定 30 个三级指标，构建湖南省装配式建筑产业生态位测度指标体系（表 1）。但由于现阶段装配式建筑产业发展有限，部分数据难以获取，在保证指标内涵与目标指向一致性的前提下，部分指标暂用建筑业整体数据代替。

1.2.2 BWM-CRITIC 法

最优最劣法（best-worst method，BWM）是一种用于确定指标主观权重的多维决策方法[15]，该方法通过识别最优和最劣指标，并分别与其他指标进行成对比较，有效降低了传统 层次分析法（analytic hierarchy process，AHP）所需的大量比较次数，简化了决策过程并减少了数据的不一致性，从而提高权重的准确性和可靠性，具体步骤如下。

步骤 1：专家从指标集合 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$ 中选取最优指标 x_{B} 和最劣指标 x_{w}。如果有多个最优或者最劣指标，则由专家最终选定其一。

步骤 2：专家使用 1-9 标度法，确定最优指标相对于其他所有指标的重要性，构建比较向量。

$$\boldsymbol{A}_{\mathrm{B}}=(a_{\mathrm{B}1},a_{\mathrm{B}2},\cdots,a_{\mathrm{B}n}) \tag{1}$$

式中：$a_{\mathrm{B}j}$ 为最优指标与指标 j 相比的重要性，当 a_{B} 与 a_j 同样重要时用 1 表示，当 a_{B} 与 a_j 相比极端重要时用 9 表示。

步骤 3：确定最劣指标相对于其他所有指标的不重要性，构建比较向量。

$$\boldsymbol{A}_{\mathrm{w}}=(a_{1\mathrm{w}},a_{2\mathrm{w}},\cdots,a_{n\mathrm{w}})^{\mathrm{T}} \tag{2}$$

式中：$a_{j\mathrm{w}}$ 为最劣指标与指标 j 相比的不重要性，当 a_{w} 与 a_j 同样不重要时用 1 表示，当 a_{w} 与 a_j 相比极端不重要时用 9 表示。

步骤 4：通过线性优化模型来获得最佳权重 $\boldsymbol{w}_j=(w_1^*,w_2^*,\cdots,w_n^*)^{\mathrm{T}}$，其中目标函数意义为：对于

表 1　湖南省装配式建筑产业生态位测度指标体系及指标权重

一级指标	二级指标	三级指标	单位	性质	权重
态	政策支持态	相关政策及规范数量 A_1	项	正向	0.063 4
		装配式建筑产业示范项目数量 A_2	个	正向	0.021 2
		产业新增政府补贴金额 A_3	万元	正向	0.035 2
	市场表现态	装配式建筑产业总产值 B_1	亿元	正向	0.057 2
		装配式建筑新开工面积 B_2	万 m^2	正向	0.012 5
		建筑企业平均从业人数 B_3	人	正向	0.018 4
		建筑业在岗职工工资年薪总额 B_4	亿元	正向	0.033 7
	环境承载态	建筑业垃圾产量 C_1	万 t	负向	0.031 2
		建筑业碳排放量 C_2	万 t	负向	0.049 4
		建筑业污水处理率 C_3	%	正向	0.029 2
		建成区绿化覆盖率 C_4	%	正向	0.021 0
	技术应用态	相关论文发表数量 D_1	篇	正向	0.021 2
		相关专利申请数量 D_2	个	正向	0.028 1
		建筑业 R&D 经费支出 D_3	百万元	正向	0.028 1
		建筑业事故发生次数 D_4	次	负向	0.047 9
势	政策驱动势	相关政策及规范数量增长率 E_1	%	正向	0.031 6
		装配式建筑产业示范项目数量增长率 E_2	%	正向	0.030 9
	市场成长势	产业新增政府补贴金额增长率 E_3	%	正向	0.058 9
		装配式建筑产业总产值增长率 F_1	%	正向	0.057 4
		装配式建筑新开工面积增长率 F_2	%	正向	0.014 7
		建筑企业平均从业人数增长率 F_3	%	正向	0.022 9
	环境培育势	建筑业在岗职工工资年薪总额增长率 F_4	%	正向	0.031 8
		建筑业垃圾产量增长率 G_1	%	负向	0.019 9
		建筑业碳排放量增长率 G_2	%	负向	0.034 4
		建筑业污水处理率增长率 G_3	%	正向	0.015 3
	技术升级势	建成区绿化覆盖率增长率 G_4	%	正向	0.057 8
		相关论文发表数量增长率 H_1	%	正向	0.021 1
		相关专利申请数量增长率 H_2	%	正向	0.028 0
		建筑业 R&D 经费支出增长率 H_3	%	正向	0.018 1
		建筑业事故发生次数增长率 H_4	%	负向	0.059 4

所有的 j，取全部 $\left|\frac{w_B}{w_j}-a_{Bj}\right|$、$\left|\frac{w_j}{w_w}-a_{jw}\right|$ 中最大的一个，使其最小化，即

$$\min\left\{\max\left(\left|\frac{w_B}{w_j}-a_{Bj}\right|,\left|\frac{w_j}{w_w}-a_{jw}\right|\right)\right\},$$

$$\text{s.t}\quad\begin{cases}\sum_{j=1}^{n}w_j=1\\ w_j\geqslant 0,\quad j=1,2,\cdots,n\end{cases}。$$

$$\text{转化为}\begin{cases}\min k\\ \left|\frac{w_B}{w_j}-a_{Bj}\right|\leqslant k\\ \left|\frac{w_j}{w_w}-a_{jw}\right|\leqslant k,\quad j=1,2,\cdots,n。\\ \sum_{j=1}^{n}w_j=1\\ w_j\geqslant 0\end{cases}$$

式中：k 为绝对误差，优化目标是使 k 最小；w_B 为最优指标的权重；w_w 为最劣指标的权重；w_j 为第 j 个指标的最佳权重；a_{Bj} 为最优指标 x_B 和指标 x_j 的重要性之比；a_{jw} 为指标 x_j 与最劣指标 x_w 的重要性之比。

CRITIC(criteria importance through intercriteria correlation)法是一种客观权重赋值法，它基于评价指标的对比强度和指标之间的冲突性来综合衡量指标的客观权重[16]，具体步骤如下：

步骤 1：为消除因量纲不同对评价结果的影响，需要对各指标进行无量纲化处理。

对效益型指标进行预处理：

$$y=\frac{x_{ij}-x_{j\min}}{x_{j\max}-x_{j\min}}\tag{3}$$

对成本型指标进行预处理：

$$y=\frac{x_{j\max}-x_{ij}}{x_{j\max}-x_{j\min}}\tag{4}$$

式中：$x_{j\max}$、$x_{j\min}$ 分别为指标的最大值、最小值；y 为 x_{ij} 标准化处理后的结果。

步骤 2：计算指标间的标准差 σ_j。指标的变异性由标准差表示，标准差越大表示该指标的数值差异越大，越能反映出更多的信息，该指标本身的评

价强度也就越强，应该给该指标分配更多的权重。

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(x_{ij}-\overline{x}_j)^2}{m-1}} \tag{5}$$

步骤 3：计算指标间的相关系数。

$$r_{ik} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij}-\overline{x}_j)(x_{ik}-\overline{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(x_{ij}-\overline{x}_j)^2\sum_{k=1}^{n}(x_{ik}-\overline{x}_k)}} \tag{6}$$

式中：r_{ik} 为评价指标 i 和 k 之间的皮尔逊线性相关系数。

步骤 4：计算客观权重 w_j。

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{j=1}^{n}c_j},\ c_j = \sigma_j\sum_{i=1}^{n}(1-r_{ij}) \tag{7}$$

式中：c_j 为第 j 个评价指标所包含的信息量，c_j 越大，第 j 个评价指标在整个评价指标体系中的作用越大，就应该给其分配更多的权重。

1.2.3 博弈论组合赋权

采用 BWM-CRITIC 方法确定指标的主客观权重，均无法全面考虑指标的全部信息。本文引入博弈论组合赋权模型，致力于在各权重之间寻求某个平衡点，使所求综合权重与各基础权重间的偏差达到最小，从而获得最优综合权重[17]，具体步骤如下。

步骤 1：建立主客观权重的线性组合。

$$\boldsymbol{w} = \beta_1\boldsymbol{w}_1^{\mathrm{T}} + \beta_2\boldsymbol{w}_2^{\mathrm{T}} \tag{8}$$

式中：$\boldsymbol{w}$ 为组合赋权向量；$\boldsymbol{w}_1$、$\boldsymbol{w}_2$ 分别为 BWM 法、CRITIC 法确定的权重结果；β_1、β_2 为线性组合系数。

步骤 2：优化组合。

利用博弈论理论模型对线性组合系数进行优化，使 $\boldsymbol{w}$ 和 $\boldsymbol{w}_1$、$\boldsymbol{w}_2$ 偏差极小化，进而从综合权重集中找寻到最合理的权重。

$$\min(\|\boldsymbol{w}-\boldsymbol{w}_1\|_2 - \|\boldsymbol{w}-\boldsymbol{w}_1\|_2) \tag{9}$$

步骤 3：解优化组合系数。

根据矩阵论的相关原理，对式(9)进行一阶求导，满足导数条件如下：

$$\begin{cases}\beta_1\boldsymbol{w}_1\boldsymbol{w}_1^{\mathrm{T}} + \beta_2\boldsymbol{w}_1\boldsymbol{w}_2^{\mathrm{T}} = \boldsymbol{w}_1\boldsymbol{w}_1^{\mathrm{T}} \\ \beta_1\boldsymbol{w}_2\boldsymbol{w}_1^{\mathrm{T}} + \beta_2\boldsymbol{w}_2\boldsymbol{w}_2^{\mathrm{T}} = \boldsymbol{w}_2\mathrm{w}_2^{\mathrm{T}}\end{cases} \tag{10}$$

步骤 4：计算最优组合权重。

通过式(10)求出 β_1、β_2，进行归一化处理，得出最优组合系数 β'_1、β'_2 和最优综合权重 $\boldsymbol{w}'$。

$$\boldsymbol{w}' = \beta'_1\boldsymbol{w}_1^{\mathrm{T}} + \beta'_2\boldsymbol{w}_2^{\mathrm{T}} \tag{11}$$

1.3 测度方法

1.3.1 生态位宽度

生态位宽度反映系统中某一单元(如城市产业)所利用资源种类的广度或其生态适应能力的强弱[18]。在装配式建筑产业生态位测度中，生态位宽度用于反映城市在产业发展过程中所占据的资源种类、技术领域及市场需求的多样性，生态位宽度值越大，表明该城市装配式建筑产业的资源利用范围越广，环境适应能力越强。采用 Levins 公式计算产业生态位宽度，公式为

$$B_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n}p_{ij}^2} \tag{12}$$

式中：B_i 为第 i 个评价对象的生态位宽度；p_{ij} 为第 i 个评价对象在第 j 个指标上的资源利用比例。

1.3.2 生态位重叠度

生态位重叠度用于衡量不同单元(如城市产业)在资源利用或功能定位上的相似程度[19]。在装配式建筑产业研究中，生态位重叠度可以用于揭示不同城市在资源利用方面的竞争关系和同质性程度。生态位重叠度越大，表明两城市在资源利用上的相似性越大，潜在竞争越激烈；反之，重叠度越低，表明资源利用的分化程度越高。采用 Pianka 重叠指数来测度城市间生态位重叠度，公式为

$$O(x,y) = \frac{\sum_{a=1}^{r}P_{xa}P_{ya}}{\sqrt{\sum_{a=1}^{r}P_{xa}^2\sum_{a=1}^{r}P_{ya}^2}} \tag{13}$$

式中：$O(x,y)$ 为城市 x 与城市 y 的重叠度；P_{xa} 为城市 x 对某一资源 a 的利用程度比例；P_{ya} 为城市 y 对某一资源 a 的利用程度比例；r 为装配式建筑产业生态位的资源类别。$O(x,y)$ 的取值范围为[0，1]，0 代表不同城市之间装配式建筑产业生态位完全分离，1 表示不同城市之间装配式建筑产业生态位完全重叠。

1.3.3 生态位态势

基于朱春全[20]的生态位态势理论，生态位包含“态”和“势”两个属性。“态”表征生物单元的当前状态，如规模、资源占有量等；“势”表征生物单元的增长潜力及未来发展趋势。“态”和“势”共同决定该单元在生态系统中的相对地位和功能。

根据指标的综合权重，计算产业生态位的态势值，具体计算步骤如下。

步骤 1：计算第 i 个城市的产业生态位“态”S_i。

$$S_i = \sum_{j=1}^{q}(w_j Q_j) \tag{14}$$

式中:w_j 为第 j 项指标标准化后的值(2023 年数据);Q_j 为第 j 项指标的权重;q 为指标个数。

步骤 2:计算第 i 个城市的产业生态位"势"P_i。

$$P_i = \sum_{j=1}^{q}(m_j Q_j) \tag{15}$$

式中:m_j 为第 j 项指标标准化后的增长率(2021—2023 年)。

步骤 3:计算第 i 个城市的产业相对生态位 N_i。

$$N_i = \frac{S_i + A_i P_i}{\sum_{i=1}^{p}(S_i + A_i P_i)} \tag{16}$$

式中:A_i 为量纲转换系数,因为所有数据经过标准化处理后都是无量纲数据,所以量纲转换系数均为 1。

2 实证分析

2.1 产业生态位宽度测度

装配式建筑产业发展受政策支持、市场表现、环境承载和技术应用等多重因素的共同影响,因此,生态位宽度是这些要素的集合,基于式(12)计算得到湖南省 14 个市州在政策、市场、环境和技术四维度的生态位宽度(表 2)。

由表 2 可知,湖南省装配式建筑产业生态位宽度总体呈现"核心引领、区域分化"的特征,产业生态位宽度高值区主要集中在长沙、湘潭和株洲,可见装配式建筑产业的发展水平与当地经济和工业化水平呈现高度正相关。不同维度的生态位宽度区域分异特征明显。从政策支持维度来看,长株潭地区为核心增长极,作为省会城市和工业强市具有显著的辐射带动效应,地区政策倾斜明显,具备完善的产业发展政策体系,而张家界等地的政策支持宽度值不足长沙的 1/10,在产业政策推动方面呈现出明显劣势;从市场表现维度来看,生态位宽度呈现由东南向西北不断递减的梯度特征,长株潭及衡阳凭借其优越的地理位置,市场需求旺盛,产业配套成熟,装配式技术在住宅、市政等场景应用广泛。岳阳、郴州、娄底等市的市场潜力较大,但实际需求释放不充分,而张家界、湘西州等地市场认知偏低,市场培育与示范项目的推广相对滞后;从环境承载维度来看,产业的环境承载能力空间差异显著,呈现出一定的随机性,常德、娄底等城市环境承载空间相对有限,需坚持生态保护优先原则,积极探索绿色低碳的产业发展模式;从技术应用维度来看,长沙和株洲具备较强的研发投入和活跃的技术交流,成为装配式建筑产业发展的技术高地,而张家界、湘西州受限于经济发展水平,支撑技术创新的资源要素相对匮乏。

表 2 湖南省各市州装配式建筑产业生态位宽度

市州	政策支持宽度	市场表现宽度	环境承载宽度	技术应用宽度	综合宽度
长沙	0.871	1.318	0.650	0.864	3.703
株洲	0.666	0.854	0.552	0.862	2.934
湘潭	0.638	0.803	0.594	0.795	2.831
衡阳	0.268	0.700	0.850	0.662	2.481
邵阳	0.057	0.553	0.774	0.431	1.814
岳阳	0.491	0.600	0.701	0.788	2.581
常德	0.511	0.474	0.559	0.755	2.298
张家界	0.082	0.035	0.582	0.400	1.100
益阳	0.187	0.492	0.896	0.430	2.004
郴州	0.222	0.524	0.848	0.566	2.159
永州	0.313	0.465	0.726	0.430	1.934
怀化	0.257	0.374	0.722	0.461	1.813
娄底	0.037	0.608	0.529	0.723	1.896
湘西州	0.151	0.002	0.573	0.321	1.047

2.2 产业生态位重叠度测度

为揭示湖南省各市州装配式建筑产业间资源利用的相似性与竞争关系,根据式(13)计算 14 个市州两两之间的生态位重叠指数,共形成 91 组竞争关系(表 3)。

结果显示,2023 年湖南省城市间装配式建筑产业生态位重叠度分布于 0.089～0.951,其中,重叠度超过 0.8 的城市对有 37 对,表明这些城市间的产业在资源利用模式上具有高度相似性,同质化竞争突出。根据生态位理论,过高的重叠度意味着重叠区域的资源可能无法同时满足所有城市的需求,易引发竞争排斥效应,即高效率发展地区可能对低效率地区形成压制。高重叠度城市主要呈现两类特征:一是空间毗邻效应显著。地理位置邻近省会长沙的城市间(如长沙-湘潭、湘潭-株洲)重叠度普遍较高。依据空间经济学的毗邻竞争效应[21],地理临近的经济单元更易对区域内相似资源展开竞争。相邻城市间资源禀赋和发展环境相近,其装配式建筑产业集群对相同政策、市场、环境、技术资源的竞合程度更高,需警惕可能出现的同质化过度竞争[22];二是产业结构趋同驱动。主导产业类型或发展路径相似的城市间(以长沙-株洲为代表)重叠度也较高。长沙作为省会城市和国家装配式建筑示范地,拥有涵盖混凝土、钢结构、木结构等多元技术体系,并通过财政奖补和"六个一"模式推动全产业链协同。株洲则依托轨道交通装备优势,聚焦钢结构装配式住宅建筑信息模型(building information

表 3　湖南省各市州装配式建筑产业生态位重叠度矩阵

市州	长沙	株洲	湘潭	衡阳	邵阳	岳阳	常德	张家界	益阳	郴州	永州	怀化	娄底	湘西州
长沙	1													
株洲	0.699	1												
湘潭	0.652	0.927	1											
衡阳	0.582	0.870	0.807	1										
邵阳	0.497	0.749	0.692	0.915	1									
岳阳	0.557	0.928	0.920	0.796	0.768	1								
常德	0.508	0.870	0.906	0.808	0.717	0.892	1							
张家界	0.089	0.426	0.337	0.662	0.710	0.412	0.555	1						
益阳	0.388	0.716	0.723	0.813	0.922	0.798	0.714	0.614	1					
郴州	0.512	0.827	0.806	0.876	0.912	0.889	0.763	0.500	0.922	1				
永州	0.404	0.760	0.787	0.864	0.894	0.810	0.878	0.772	0.909	0.825	1			
怀化	0.354	0.759	0.718	0.878	0.865	0.766	0.823	0.874	0.833	0.775	0.951	1		
娄底	0.442	0.808	0.812	0.897	0.805	0.769	0.810	0.541	0.705	0.780	0.806	0.773	1	
湘西	0.093	0.423	0.338	0.554	0.678	0.460	0.498	0.930	0.658	0.515	0.739	0.838	0.388	1

modeling，BIM）技术，推动与智能制造融合，形成了设计-生产-施工一体化链条。产业结构和发展模式的趋同导致资源需求结构相似，加剧了产业同质化风险。

另一方面，在全部 91 组关系中，重叠度低于 0.4 的城市对有 7 对（如湘西-长沙），过低的生态位重叠度，可能意味着这些地区的产业与省内主流发展体系存在脱节风险，游离于整体产业生态系统之外。

2.3　产业生态位态势测度

生态位态势值综合反映产业当前的累计状态与未来增长潜力。将标准化数据代入式（14）和式（15）计算得到各市州在不同维度的生态位态势值，通过式（16）计算相对生态位并将产业生态位政策、市场、环境、技术四维度的态势值汇总到一起（表 4），对其进行差异对比分析。

（1）第 1 类城市——长沙，生态位的态、势值均较高。长沙拥有较好的产业基础，几大代表性企业均集中在长沙，产业综合竞争力较强。其中产业的政策、市场生态位态值较高。长沙作为省会城市，较早地将装配式技术纳入工业化协同发展体系，科技创新与政策持续赋能为长沙的产业发展提供了庞大的市场和强劲动能。同时长沙的产业环境生态位势值较高，由于长沙早期工业化的迅速推进给城市留下诸多环境问题，所以长沙政府近几年着力于生态恢复与排污控制，逐步将装配式建筑全流程绿色化落到实处，使得产业可持续发展能力持续增强。

（2）第 2 类城市——株洲、湘潭、岳阳，3 市同属湖南省经济发展水平较高、工业基础较雄厚的地区。株洲依托工业优势积极推进钢结构装配式技术，湘潭通过明确绿色建筑规划实现规模扩张，岳阳将装配式建筑产业列入新型优势产业链进行重点培育，所以 3 市态值均处于中等偏上水平，且势值表现突出。除此之外，3 市在地理位置上邻近，产业协作与技术交流便捷，可形成产业集群效应，共同提升区域装配式建筑产业竞争力，相对生态位位居前列，是湖南省装配式建筑产业的重要支撑。

表 4　湖南省市州装配式建筑产业生态位“态势”值和相对生态位

市州	态				势				相对生态位	5 集群
	政策	市场	环境	技术	政策	市场	环境	技术		
长沙	0.121 1	0.123 1	0.062 0	0.062 0	0.090 5	0.041 6	0.107 3	0.093 5	0.108 2	1
株洲	0.055 7	0.027 1	0.079 5	0.056 5	0.073 5	0.064 9	0.094 2	0.092 3	0.083 9	2
湘潭	0.055 6	0.029 1	0.066 8	0.055 0	0.091 2	0.090 0	0.061 0	0.093 3	0.083 6	2
衡阳	0.004 7	0.020 6	0.097 4	0.063 3	0.088 4	0.058 1	0.064 1	0.080 7	0.073 7	4
邵阳	0.001 8	0.014 0	0.082 2	0.050 1	0.069 6	0.090 9	0.049 2	0.058 8	0.064 3	5
岳阳	0.051 4	0.015 8	0.073 7	0.065 3	0.072 7	0.077 0	0.078 0	0.087 4	0.080 4	2
常德	0.038 5	0.011 6	0.067 4	0.067 6	0.051 0	0.045 5	0.101 2	0.092 4	0.073 3	4
张家界	0.001 2	0.000 7	0.084 8	0.050 2	0.015 6	0.015 3	0.060 8	0.043 4	0.041 9	3
益阳	0.017 6	0.014 5	0.102 9	0.048 9	0.060 2	0.083 2	0.074 7	0.064 1	0.071 9	4
郴州	0.019 2	0.013 6	0.091 1	0.059 3	0.092 3	0.092 0	0.068 2	0.059 5	0.076 4	4
永州	0.018 7	0.012 6	0.087 0	0.058 0	0.053 1	0.083 1	0.053 5	0.061 4	0.066 0	5
怀化	0.017 5	0.009 1	0.089 9	0.056 2	0.052 5	0.109 5	0.052 8	0.060 6	0.069 1	4
娄底	0.002 7	0.018 9	0.055 3	0.065 6	0.078 2	0.071 4	0.060 3	0.057 0	0.063 2	5
湘西	0.016 1	0.000 1	0.080 5	0.036 1	0.027 3	0.063 4	0.053 3	0.008 3	0.044 0	3

(3)第3类城市——张家界、湘西,两地经济发展水平在湖南省相对滞后,产业相关政策扶持与企业引入明显不足,缺乏标志性项目与龙头企业带动,导致产业基础与发展潜力均处低位,是全省装配式建筑产业发展的薄弱环节。

(4)第4类城市——衡阳、常德、益阳、郴州、怀化,5市整体处于产业发展水平中等、缺乏突出竞争优势的状态,虽有一定的产业基础且发展较均衡但缺乏亮点和标志性政策,难有技术突破或规模效应,导致相对生态位不突出。5市的生态位态值均不高,可见产业的政策导向不够鲜明,资源投入较为分散,未能形成集中的产业发展合力,整体处于稳步跟进但亟须特色化突破阶段。

(5)第5类城市——邵阳、永州、娄底,3市同属湖南省经济发展相对滞后地区,产业基础薄弱、规模较小,资源禀赋不足,生态位态值普遍偏低。由于自身经济与技术实力有限,3市在产业发展上对外部政策支持、技术引进与企业合作的依赖程度较高。3市产业的生态位势值亦无显著优势,产业发展动力不足,缺乏龙头企业引领与重大项目支撑,导致整体相对生态位靠后。

通过对湖南省各城市装配式建筑产业生态位的测度,得出以下总体判断:长沙市呈现"高态高势"的发展水平,相对生态位最高,驱动全省发展;株洲、湘潭和岳阳构成"中态中势"的协同发展区,增长潜力强劲;张家界、湘西州为"低态低势"的基础薄弱区,亟须突破发展瓶颈;衡阳、常德、益阳、郴州、怀化为稳步跟进区,需要寻求特色突破;邵阳、永州、娄底等是发展滞后区,基础薄弱且动力不足。基于湖南省各市州的产业相对生态位,运用SPSS22.0软件进行系统聚类分析,聚类方法为组间连接,以欧式距离平方为间隔尺度,将湖南省14个市州划分为5个集群。

3 结论与建议

3.1 结论

(1)湖南省装配式建筑产业生态位空间分化显著。生态位宽度呈现"核心引领、区域分化"格局。一方面,长株潭地区凭借政策倾斜、技术集聚与产业链协同形成高值集聚区,宽度优势明显,而张家界等受制于资源薄弱与市场认知度低,宽度不足核心区域的20%;另一方面,长株潭毗邻区域城市间重叠度较高,同质化竞争突出,而张家界等与省内其他城市重叠度极低,存在产业脱钩隐患。

(2)湖南省装配式建筑产业发展动能呈现梯度化特征。长沙作为引领极,全产业链协同与技术输出能力突出;株洲、湘潭等与省会城市协同发展,依托工业基础形成集群效应;张家界、湘西州是薄弱地带,产业基础与发展潜力均显不足;衡阳、常德等快速跟进,虽发展均衡但缺乏核心竞争力;邵阳等暂时滞后,依赖外部资源输血。

(3)湖南省装配式建筑产业的环境承载能力与技术创新成果呈现"马太效应"[23]。环境承载态值空间分布随机性较强,长沙、株洲等通过全流程绿色化改造,环境培育势值领先,而张家界、湘西州虽自然环境优越,但产业规模较小,环境优势未能有效转化为发展动能。在技术应用层面,长沙研发投入强度大,产学研联动效应显著,技术升级势值高,而欠发达地区受人才与资金制约,技术升级势值普遍较低,创新动力不足。

3.2 政策建议

(1)构建差异化-协同化政策体系。针对高重叠区,建立跨市产业协作委员会,统筹制定技术标准、优化资源分配,避免重复建设与恶性竞争。针对低重叠区,实施倾斜省级财政补贴,优化区域性示范项目,并强化与核心城市的产业链、供应链衔接。设立省级"装配式建筑资源与技术共享平台",推动长沙、株洲等高生态位宽度区的核心资源向薄弱地区定向流动,引导城市间的技术转移、模式输出和资源共享。

(2)强化绿色低碳与技术创新双轨驱动。将"碳排放强度""固体废物再生利用率"等核心环境绩效纳入产业考核体系,对生态位敏感或高环境承载区探索实施生态补偿机制,鼓励发展低环境影响的装配式模式。成立省级产业技术创新战略联盟,整合高校、科研院所与企业资源,设立R&D专项基金,重点支持钢结构、低碳预制技术、智能建造与BIM应用等优势与前沿领域,突破技术瓶颈,提升产业核心竞争力。

(3)构建梯度适配的人才体系。按区域需求制定人才机制,在核心地区引入高端人才,设立产业专业化学院培养跨学科人才,在相对滞后地区开展技能培训并委派核心区骨干驻点指导,此外进行全省人才资源共享,促进核心区域人才向薄弱地区正向流动。

(4)完善精准的资金保障。针对产业成本较高、资金不足等突出问题,建全资金保障体系:如设立省级专项基金,对核心区攻关与薄弱区起步项目拨款支持;进行差异化补给,在核心区补创新、薄弱区补市场培育;引入社会资本,推动PPP(政府和社

会资本合作)模式构建共享平台,设立专项贷款利率。

参考文献

[1] WU Y N, ZHU X Q, LIN S Y. Digital economy's role in shaping carbon emissions in the construction field: insights from Chinese citiess[J]. Journal of Environmental Management, 2024, 365: 121548.

[2] 张兵, 刘芳, 查晓庭. 装配式建筑质量风险评价: 基于SM-ANP灰色聚类模型[J]. 建筑经济, 2023, 44(S2): 101-107.

[3] NAVARATNAM S, SATHEESKUMAR A, ZHANG G, et al. The challenges confronting the growth of sustainable prefabricated building construction in Australia: construction industry views[J]. Journal of Building Engineering, 2022, 48: 103935.

[4] DALY M, KEMPTON L, MCCARTHY T. Sustainability of prefabricated construction in Australia: industry perspectives on challenges and opportunities[J]. Journal of Building Engineering, 2025, 102: 111805-111805.

[5] 赵娟, 焦丽明. 装配式建筑产业发展现状及对策[J]. 建筑科学, 2024, 40(6): 116-122.

[6] 王腊银, 冯英隽, 郝文静, 等. 陕西省装配式建筑政策工具战略价值分析及提升策略研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2025, 57(3): 466-474.

[7] 沈良峰, 刘婷, 薛光军, 等. 装配式建筑产业生态系统行业主体的关系网络研究[J]. 科技和产业, 2025, 25(5): 162-172.

[8] CAO Y, JIANG A Y, CAO Z J, et al. Impact of the Belt and Road Initiative on economic-socia-natural ecological niches and their coupling coordination: evidence from 11 countries along the route[J]. Frontiers in Environmental Science, 2022, 10: 913928.

[9] 蒋惠凤, 张兵, 刘益平, 等. 高校培育专精特新产业学院生态位战略[J]. 高等工程教育研究, 2024(4): 106-110.

[10] 何伟, 董影, 吕静文. 数字化转型对区域创新生态系统生态位适宜度的影响[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(17): 22-31.

[11] 王艳, 盛小丹, 龚新蜀. 生态位视角下农村产业融合发展评价与空间关联性分析: 以南疆3地州为例[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(10): 242-252.

[12] 何伟, 董影, 吕静文. 数字化转型对区域创新生态系统生态位适宜度的影响[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(17): 22-31.

[13] 丁雪, 杨忠. 基于生态位理论的我国创新链竞争力评价[J]. 统计与决策, 2023, 39(4): 173-177.

[14] HUTCHINSON G. Why are there so many kinds of animals[J]. Nature, 1957, 93: 145-159.

[15] 朱洁, 冯建刚, 高玉琴, 等. 基于BWM-CRITIC-TOPSIS的幸福河湖综合评价模型[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(6): 8-14, 20.

[16] 裴卉宁, 温志强, 黄雪芹, 等. 基于贝叶斯BWM与CRITIC权重组合的灰色H-凸关联模型[J]. 计算机集成制造系统, 2024, 30(10): 3479-3491.

[17] 廖迎娣, 顾忙, 崔泽凯, 等. 基于博弈论组合赋权法的生态护岸对河流生态系统影响评价[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2025, 53(4): 65-71.

[18] 刘丽, 叶士琳, 徐跃渊, 等. 基于生态位理论的长三角港口体系竞合关系识别与优化策略[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2024, 40(4): 57-66.

[19] 张贵, 钱钰, 赵勇冠. 生态位视角下城市数字化对创新空间演变的影响与异质性分析[J]. 研究与发展管理, 2024, 36(5): 77-90.

[20] 朱春全. 生态位态势理论与扩充假说[J]. 生态学报, 1997(3): 324-332.

[21] 王鹏, 岑聪. 自贸试验区、毗邻竞争与中国企业出口: 基于多期DID方法的政策效应评估[J]. 山西财经大学学报, 2022, 44(6): 56-69.

[22] 胡雅蓓, 夏勇. 生态位视角下创新型产业集群竞争力测度研究[J]. 统计与信息论坛, 2024, 39(1): 30-43.

[23] 徐蕾. 数字化转型如何赋能商业银行风险管理: 兼论数字赋能质效的"马太效应"[J]. 金融发展研究, 2024(10): 36-49.

Research on Measurement of Ecological Niche of Prefabricated Construction Industry: Hunan Province

DENG Fanghao, SHEN Liangfeng, PENG Juhui

(School of Civil Engineering, Central South University of Forestry Science and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: With the construction of a dual-dimensional measurement index system of "state and potential" based on the niche theory and the index weight determined using the BWM-CRITIC(best-worst method-criteria importance through intercriteria correlation) method combined with game theory, the niche breadth, overlap degree, as well as "state" and "potential" of the prefabricated construction industry in 14 cities and prefectures of Hunan Province were measured. The study shows that the niche breadth presents the characteristics of "core leadership and regional differentiation", the niche overlap reveals a high risk of homogeneous regional competition, and potential hidden dangers of industrial disconnection in some regions, ecological niche clustering objectively characterizes the heterogeneity of different regions in terms of their current industrial development status. The research results can provide an empirical basis for the current development positioning and formulation of differentiated policies for the prefabricated building industry in Hunan Province.

Keywords: prefabricated construction industry; niche theory; niche breadth; niche overlap