装配式建筑产业生态位适宜性评价研究

——以长沙市为例

沈良峰，彭菊辉，邓方好

（中南林业科技大学土木工程学院，长沙 410004）

摘要：装配式建筑产业生态位适宜性是衡量产业发展水平的核心指标，对推动建筑产业绿色转型与高质量发展具有重要现实意义。基于生态位理论，构建涵盖产业主体、资源、社会、经济、环境的五维生态位适宜性评价指标体系，结合 Vague 集理论处理数据不确定性，以长沙市 2014—2023 年相关数据为样本开展实证评估。研究结果表明：长沙市装配式建筑产业生态位呈现结构紊乱-机制修复-协同优化的阶段性演进特征，2023 年生态位适宜性达到评价周期内最优水平；各生态要素发展分化显著，社会生态位表现最佳，资源与经济生态位成为产业发展的主要短板；生态位权重结构从早期“产业主体-资源”二元主导模式，逐步向多要素协同驱动模式转变。据此，提出推进资源要素整合、深化协同创新机制、完善市场调节体系等对策建议，为装配式建筑产业高质量发展提供理论支撑与实践参考。

关键词：装配式建筑；产业生态位；生态位适宜性；Vague 集

中图分类号：F426.92 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)08－0083－09

装配式建筑作为建筑业绿色转型与高质量发展的关键领域，承载着推进建筑产业现代化、实现“双碳”目标的使命。近年来《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》《“十四五”建筑业发展规划》等政策文相继出台，为装配式建筑产业发展提供了明确的政策导向与制度支撑。然而，受各地区资源禀赋、技术基础、政策支持等多重因素制约[1]，装配式建筑在不同地区的发展水平、适应能力差异显著，形成“政策同向但发展不同步”的现实格局。现有评估手段多局限于静态分析或单一维度考量[2]，难以捕捉产业生态系统中各要素的互动关联与动态演化规律，无法为区域差异化发展路径制定提供精准支撑。基于此，亟须构建一套多维、动态的评价框架，以系统刻画装配式建筑产业的空间定位、功能特征及演化趋势。

生态位理论为解析系统主体与所处环境之间的适配关系提供了有力的分析视角[3]。该理论源自生态学，经 Hulchinson 的“N 维超体积”理论奠定基础[4]，后广泛应用于社会经济领域，形成了涵盖产业主体、资源、社会、环境与经济等多维度的分析体系：产业主体生态位强调主体专属位置与功能及与其他主体和环境的互动模式[5]；资源生态位注重主体与资源环境的耦合及要素利用，本质是资源在环境中的位置与对要素的利用总和[6]；社会生态位关注主体在社会网络中的位置、角色，反映其社会系统生存发展状况[7]；环境生态位侧重外部生态因子支撑、生态环境影响及资源循环，为种群生长提供外部条件[8]；经济生态位聚焦产业在经济系统中的地位[9]、竞争力及发展潜力[10]。将这一多维框架应用于装配式建筑产业，能够超越传统单一维度评估的局限，系统揭示产业内外各要素的耦合关系与协同状态。然而，现有研究对装配式建筑产业生态位的系统性探索方面仍存在明显不足，研究视角多局限于单一维度，缺乏跨维度的整合分析。具体来看，产业发展层面多以经济维度作为核心衡量指标[1]；部分研究关注产业与外部环境的耦合协调关系[2]；技术创新与应用层面围绕标准化设计提升产业效率、BIM 技术全生命周期应用价值[11]；产业链协同侧重问题剖析及发展策略研究[12]。这些研究虽提供多元视角，但呈维度碎片化特征，缺乏产业

收稿日期：2025-12-03

基金项目：长沙市自然科学基金(kq2402267)

作者简介：沈良峰(1968—)，男，江苏南通人，教授，博士(后)，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；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。

生态系统整体性解构，未能将要素纳入统一框架，难以反映多维耦合关系。这种碎片化的分析难以全面刻画装配式建筑产业所固有的、由“政策依赖性”与“产业链耦合性”共同塑造的复杂生态特征。具体而言，该产业的发展高度依赖于从国家到地方的政策设计、激励与规制[1]，同时其价值实现又深深植根于设计、生产、施工、运维等全链条环节的紧密协同[12]。这两大特征相互交织，共同构成了装配式建筑产业生态位形成与演化的核心机制，也决定了对其生态位适宜性的评价必须建立在一个能同时响应政策逻辑与产业链逻辑的多维分析框架之上。

鉴于此，本文融合生态位理论的多维分析视角与装配式建筑产业的独特性，旨在构建一个包含产业主体、资源、社会、经济与环境五个维度的生态位综合评价体系，将上述“政策依赖性”与“产业链耦合性”两大核心机制，融入各维度指标设计中，以期更真实地反映产业生态位的构成与状态。研究进一步引入 Vague 集理论处理数据不确定性，以长沙市为案例展开实证分析，系统评估其装配式建筑产业生态位适宜性，从而为识别关键驱动与制约因素、优化区域产业政策与资源配置提供科学依据。

1 指标体系构建与研究方法

1.1 装配式建筑产业生态位形成机制

目前学界对产业生态位尚无统一定义，不同学者从动态能力[5]、制度嵌入[6]、空间布局[10]、资源占有[13]及系统共生[14]等角度对其内涵进行多维度阐释。借鉴既有研究，将装配式建筑产业生态位界定为：在复杂经济生态系统中，该产业通过内部各类主体协同、资源要素的整合配置，以及与外部政策环境、市场结构和社会系统的持续交流，最终形成的资源利用格局、功能定位及其状态的总和。这一定义超越了将产业视为孤立实体的传统视角，转而强调从系统关联与相互作用的层面理解其生存与发展的内在逻辑[15]。在此基础上，结合装配式建筑所特有的政策驱动与产业链耦合属性，其生态位形成机制可解构为以下五个维度。

(1)产业主体生态位是系统协同的组织核心，主要由产业链协同机制驱动。该维度聚焦设计、生产、施工等各类市场主体间形成的网络化协作关系，其生态位质量取决于基于标准化与模块化接口的深度协同水平，具体表现为知识共享、资源互通与功能互补的效率，直接决定产业整体的创新敏捷性与市场响应能力。理想的产业主体生态位呈现“高协同、低重叠、功能互补”的特征，反之则易引发资源内耗与发展阻滞。同时，产业主体的协同效能为资源生态位的优化配置提供组织保障，也是经济生态位价值创造的核心基础。

(2)资源生态位是系统运行的物质基础，同时受到政策引导与产业链协同的双重塑造。政策通过顶层规划、标准设定与激励措施，引导技术、人才、资本等关键资源的宏观流向与结构优化；产业链各环节的协同效率，则决定了资源在微观层面的精准匹配程度与综合利用效能，最终实现人力资源结构、技术能力储备与能源物料消耗之间的动态平衡。资源生态位不仅承接产业主体协同的产出需求，其配置效率与技术水平也直接制约着经济生态位的效益上限与环境生态位的负荷水平。

(3)社会生态位是系统发展的外部依托，显著体现为政策引导机制的主导作用。该维度反映产业与社会系统的价值交换与合法性互构关系，政府通过法规强制、财政补贴、公众宣传等政策工具，主动培育市场需求、构建行业声誉并获取广泛社会认同。社会生态位所塑造的市场环境与公众认知，直接影响经济生态位的市场规模与定价空间，同时也为环境生态位中的绿色实践提供社会接受度与政策推力。

(4)经济生态位是系统效能的综合表征，作为政策引导与产业链协同共同作用的最终产出维度。政策工具通过补贴、税收、市场准入等方式，直接影响产业的成本结构与收益预期；产业链从设计到运维的全过程协同效率，则从根本上决定产业的成本控制、质量保障与附加值创造能力。经济生态位的发展绩效，是对产业主体、资源、社会三维度协同结果的货币化衡量，其产生的经济效益又为持续的技术创新、资源投入和环境改善提供再投资能力与市场激励。

(5)环境生态位是系统可持续的边界约束，由政策规制与产业链绿色实践协同构建。环保法规与碳减排目标等政策为产业发展设定明确的生态边界，产业链则通过绿色设计、清洁生产、废弃物资源化等协同管理实践，将外部约束转化为内在的技术与工艺创新动力。环境生态位既对其他四个维度的发展模式形成刚性约束，也通过引领绿色创新，为产业主体带来新的发展机遇，提升产业整体的社会形象与长期经济竞争力。

综上，产业主体、资源、社会、经济与环境五个维度相互关联、相互制约，构成一个动态演进的复杂系统。产业主体的协同发展是资源优化配置与

技术创新得以实现的组织基础;资源的有效利用为经济价值创造提供物质支撑;经济发展成果又反过来驱动技术迭代、促进资源积累并提升社会认同;社会维度提供的政策支持与市场合法性,是系统运行与持续发展的关键外部条件;环境维度则作为根本性的约束与导向,持续塑造着整个系统的发展路径与未来潜力。因此,产业生态位整体适宜性的提升,本质上有赖于这五个维度在“政策引导”与“产业链协同”双重机制下实现系统协同与动态平衡。这一强调整体关联的分析框架,为后续构建综合评价指标体系奠定了坚实的理论基础。

1.2 评价指标体系构建

基于上述产业生态位形成机制分析,装配式建筑产业生态位的状态与适宜性,本质是政策引导与产业链协同两大核心机制在五个关键维度上综合作用的结果。为科学测度这一多维、动态的适配关系,遵循系统性、代表性、可操作性原则,将抽象的双重机制转化为可观测、可比较的具体维度和测度方向,构建结构化的综合评价指标体系。

该体系通过五个维度系统反映双重机制的具体作用:产业主体维度重在刻画主体间的协同网络与产业整体发展动能;资源维度聚焦关键要素的配置结构、技术储备水平与利用强度;社会维度主要考察外部环境对产业的支撑强度、市场需求状况及产业产生的社会效益;经济维度着重衡量产业的直接产出效率、经济效益及其对区域经济的贡献;环境维度则核心评估产业活动的生态环境影响、减排控污表现及绿色转型进程。

通过文献梳理、指标筛选与专家论证,最终确定 5 个层级,13 个衡量指标、31 个生态因子构成的评价指标体系(表 1),以测度装配式建筑产业生态位的适宜性水平,并为产业评估与优化提供依据。

表 1 装配式建筑产业生态位评价指标体系

生态要素	衡量指标	生态因子	单位	属性
产业主体生态位(A)	主体协同度(A_1)	产学研一体化程度(A_{11})	%	正向
		信息化水平(A_{12})	%	正向
	主体发展力(A_2)	产业集聚程度(A_{13})	%	正向
		产业规模增长(A_{21})	%	正向
		示范项目数量(A_{22})	个	正向
		总承包特级资质企业数量(A_{23})	个	正向
资源生态位(B)	人力资源(B_1)	工人产业化水平(B_{11})	%	正向
		技术人才素质(B_{12})	%	正向
		从业人数(B_{13})	万人	正向
	技术资源(B_2)	绿色建造技术应用占比(B_{21})	%	正向
		装配式建筑相关专利(B_{22})	项	正向
		预制装配化率(B_{23})	%	正向
	资源消耗度(B_3)	能源消耗(单位产值能耗)(B_{31})	t/万元 GDP	负向
社会生态位(C)	社会需求力(C_1)	装配式建筑新开工面积占比(C_{11})	%	正向
		消费者对装配式建筑的认知度(C_{12})	%	正向
	社会效益度(C_2)	建筑施工安全效益(C_{21})	%	正向
		建筑品质提升(C_{22})	%	正向
		就业机会(C_{23})	%	正向
	社会支撑度(C_3)	政策法规与标准规范数量(C_{31})	项	正向
经济生态位(D)	经济效益(D_1)	产业产值利润率(D_{11})	%	正向
		劳动生产率(D_{12})	元/人	正向
	经济发展水平(D_2)	人均生产总值 GDP(D_{21})	元/人	正向
		建筑业产值占 GDP 比例(D_{22})	%	正向
		建筑业劳动者薪酬(D_{23})	元/人	正向
环境生态位(E)	环境影响度(E_1)	建筑垃圾排放量(E_{11})	t/万元 GDP	负向
		碳排放量(E_{12})	t/万元 GDP	负向
		建成区绿化覆盖率(E_{13})	%	正向
	节能减排力(E_2)	单位面积节能比例(E_{21})	%	正向
		噪声污染降低率(E_{22})	%	正向
	绿色发展力(E_3)	建筑垃圾资源化(E_{31})	%	正向
		绿色能源使用率(E_{32})	%	正向

1.3 评价方法选择

鉴于装配式建筑产业生态位适宜性受多种因素影响且数据存在模糊性与不确定性，参考袁汝华[16]的做法，引入 Vague 集理论构建适宜性评价模型。该模型通过 Vague 集距离衡量生态位的适宜性水平，其数值越小，现实生态位越贴近于最适生态位，适宜性越高[16]。具体构建步骤如下。

1.3.1 Vague 集定义与指标值转化

Vague 集 A 的核心是用真隶属度函数 $t_A(u_i)$ 和假隶属度函数 $f_A(u_i)$，明确数据中支持和反对的证据程度。设论域 U，$u_i(i=1,2,\cdots,n)\in U$。$t_A(u_i):U\to[0,1]$；$f_A(u_i):U\to[0,1]$，满足 $t_A(u_i)+f_A(u_i)\leqslant 1$。隶属度 $\mu_A(u_i)$ 表示为 $[t_A(u_i),1-f_A(u_i)]$。

指标观测值 u_i 转化如下。

效益型指标：

$$t_A(u_{ij})=\frac{(u_{ij}-u_i^{\min})^2}{(u_i^P-u_i^R)^2},f_A(u_{ij})=1-\frac{(u_{ij}-u_i^{\max})^2}{(u_i^P-u_i^R)^2} \tag{1}$$

成本型指标：

$$t_A(u_{ij})=\frac{(u_{ij}-u_i^{\max})^2}{(u_i^P-u_i^R)^2},f_A(u_{ij})=1-\frac{(u_{ij}-u_i^{\min})^2}{(u_i^P-u_i^R)^2} \tag{2}$$

式中：u_i^P、u_i^R 分别为指标 u_i 的最优值与最劣值。效益型指标的最优值越大越理想，最劣值越小越合适；成本型指标的特性则与之相反。

1.3.2 定义生态因子空间

设 $A=\{A_1,A_2,\cdots,A_m\}$ 为装配式建筑产业生态系统集，$U=\{u_1,u_2,\cdots,u_n\}$ 为生态因子指标集，第 j 个系统中第 i 个因子指标 Vague 值为：$\mu_A(u_{ij})=[t_A(u_{ij}),1-f_A(u_{ij})]$，$i=1,2,\cdots,n$；$j=1,2,\cdots,m$。

定义 E^n 为所有 $\mu_A(u_{ij})$ 的集合。

$$\boldsymbol{E}^n=[\mu_A(u_{ij})]_{n\times m}=\begin{bmatrix}[t_{11},1-f_{11}] & [t_{12},1-f_{12}] & \cdots & [t_{1m},1-f_{1m}]\\ [t_{21},1-f_{21}] & [t_{22},1-f_{22}] & \cdots & [t_{2m},1-f_{2m}]\\ \vdots & \vdots & & \vdots\\ [t_{n1},1-f_{n1}] & [t_{n2},1-f_{n2}] & \cdots & [t_{nm},1-f_{nm}]\end{bmatrix} \tag{3}$$

装配式建筑产业生态系统的 Vague 集生态位为 $f(\boldsymbol{E})=f[\mu_A(u_j)]$。

1.3.3 确定生态因子权重

(1)生态因子赋权信息集结。集结值 $V_A(u_i')$ 采用 Vague 集加运算完成。

$$V_A(u_i')=\left\{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}t_A(u_{ij}),\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}[1-f_A(u_{ij})]\right\},\quad i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,m \tag{4}$$

(2)基于 π-OWA 算子界定权重。OWA 算子定义如下。

$$F(\langle\pi_A(u_1'),V_A(u_1')\rangle,\cdots,\langle\pi_A(u_n'),V_A(u_n')\rangle)=\varphi(\omega_k,b_k),k=1,2,\cdots,n \tag{5}$$

式中：$\pi_A(u_i')=1-t_A(u_i')-f_A(u_i')$ 为踌躇度诱导分量；φ 为生态位适宜性函数；ω_k 为生态因子对应的加权分量，$\omega\in[0,1]$，且 $\sum_{k=1}^{n}\omega_k=1$；b_k 为 $\pi_A(u_i')$ 按照从小到大排列后第 k 位所对应的 $V_A(u_i')$ 值。结合踌躇度偏好信息 $-\sum_{k=1}^{n}\omega_k\ln\omega_k$（表 2）和信息熵 $\lambda=\sum_{k=1}^{n}\frac{n-k}{n-1}\omega_k$，运用数学规划法求解权重向量。

$$\begin{cases}\max\left(-\sum_{k=1}^{n}\omega_k\ln\omega_k\right)\\ \text{s.t.}\,\lambda=\sum_{k=1}^{n}\frac{n-k}{n-1}\omega_k\\ \sum_{k=1}^{n}\omega_k=1,\ \omega_k\in[0,1]\\ k=1,2,\cdots,n\end{cases} \tag{6}$$

1.3.4 获取生态位最适值

生态位最适值借助 Vague 集的交、并运算确定，计算如下。

效益型因子[$t_A(u_{ij})$ 越大越优，$f_A(u_{ij})$ 越小越优]，采用并集运算，即

$$V_0=\bigcup_{j=1}^{m}V_A(u_{ij})=\{\max t_A(u_{ij}),\max[1-f_A(u_{ij})]\} \tag{7}$$

成本型因子[$t_A(u_{ij})$ 越小越优，$f_A(u_{ij})$ 越大越优]，采用交集运算，即

$$V_0=\bigcap_{j=1}^{m}V_A(u_{ij})=\{\min t_A(u_{ij}),\min[1-f_A(u_{ij})]\} \tag{8}$$

装配式建筑产业生态系统 $A_j(u_{ij})$ 与生态位最适值 $A_0(u_0)$ 的 Vague 集距离为

$$T(A_j,A_0)=\sum_{i=1}^{n}\omega_iL(u_{ij},u_0),j=1,2,\cdots,m \tag{9}$$

$$L(u_{ij},u_0)=\frac{|S_A(u_{ij})-S_A(u_0)|}{4}+\frac{|t_A(u_{ij})-t_A(u_0)|+|f_A(u_{ij})-f_A(u_0)|}{4} \tag{10}$$

$$S_A(u_{ij})=t_A(u_{ij})-f_A(u_{ij}) \tag{11}$$

式中:$L(u_{ij},u_0)$ 为被评价装配式建筑产业生态系统的现实生态位与最适生态位之间 Vague 值的距离;$S_A(u_{ij})$ 为 Vague 值的核。显然,当 A_j 越贴近 A_0 时,装配式建筑产业生态位越趋近于最佳状态,此时,$T(A_j,A_0)$ 也越小。

1.3.5 计算进化动量

引入权重修正的进化动量模型,反映系统向最优生态位发展的动力。

$$Q_j=\sqrt{\omega_i\sum_{i=1}^{n}\left|u'_{ij}-u_{aj}\right|},$$

$$u'_{ij}=\frac{u_{ij}}{u_i^{\max}},u_{aj}=\max(u'_{ij}) \tag{12}$$

式中:u'_{ij} 为各生态因子指标观测值归一化处理后的结果;u_{aj} 为各生态因子归一化结果的最适值,$i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,m$。显然,$Q_j$ 越大,意味装配式建筑产业生态系统的生态位改善空间越大。

表 2 跨躇度偏好标度

赋值 (λ)	说明
0.1	非常重视不确定性数据
0.3	比较重视不确定性数据
0.5	同等重视所有数据
0.7	比较重视确定性数据
0.9	非常重视确定性数据
0.2,0.4,0.6,0.8	介于相邻判断的中间情况

2 实证分析

湖南省作为中国装配式建筑领域的领军省份,在推动建筑业工业化、绿色化转型方面取得了显著成效。作为省会城市,长沙凭借核心区位优势与产业集聚效应,成为全省装配式建筑产业发展的强劲引擎。截至 2023 年底,全市共建成国家级装配式建筑产业基地 13 家、省级基地 30 家,形成涵盖 400 余家上下游骨干企业、170 余个制造基地的产业集群,呈现集聚度高、链条完整、发展动能强的特征。同时,装配式建筑产业技术创新中心、智能建造示范基地等平台载体加速建设,构件设计、预制生产与装配施工协同推进,产业预制率与装配率稳步提升,产业技术体系日益完善,为推动建筑业向高端化、智能化、绿色化方向发展奠定了坚实基础。在此背景下,选取长沙市作为典型研究案例,基于前文构建的理论模型与评价体系,开展装配式建筑产业生态位适宜性的实证分析。通过系统剖析其发展现状、优势特征与潜在瓶颈,旨在为湖南省乃至全国装配式建筑产业的高质量发展,提供切实可行的理论依据与实践指导。

2.1 数据来源

考虑到国家及各地区统计数据的发布滞后性(通常次年发布上一年度数据,2024 年数据预计 2026 年公布),将统计数据的时间范围统一限定为 2014—2023 年。以长沙市 2014—2023 年的 10 年数据作为分析样本,基础数据主要来源于《湖南省统计年鉴》《长沙市统计年鉴》《湖南省绿色建筑发展条例》及国家知识产权局公开数据库。针对部分缺失数据,采用 ARIMA 线性插值法补充,确保数据的完整性与连贯性。此外,在跨躇度偏好标度设定中选择 $\lambda=0.4$,主要基于两点考量:一是适宜性评价属于不确定性问题,需重视数据的模糊性特征;二是通过多组试算发现,该标度能够更精准地贴合长沙市装配式建筑产业的实际发展状况,有效提升评价结果的准确性与可靠性。

2.2 生态位适宜性评价结果

为深入探究长沙市装配式建筑产业生态位的发展态势与内在规律,从整体生态位与进化动量、各生态要素生态位与权重两大维度展开分析。

2.2.1 整体生态位与进化动量分析

基于 2014—2023 年 31 项评价指标构建原始数据矩阵,通过模型运算获得各年度产业生态位 Vague 集距离值(以下简称距离值)及进化动量,如表 3 所示。

结果显示,2023 年距离值降至 0.454 8,达到 10 年最低,意味着该年产业系统与最适生态位的贴合度最高,适宜性最优。2014 年及 2017—2022 年距离值均低于 0.5 阈值,表明系统总体处于适应区间,结构尚稳但仍有优化空间。2015—2016 年的距离值高于临界值,说明该阶段系统偏离最适生态位较大,适宜性较差,需通过政策调节与结构调整改善生态状态。

从演化趋势来看(图 1),2014—2016 年距离值呈上升趋势,反映产业初期发展不稳定;2016 年后

表 3 长沙市装配式建筑产业生态系统 Vague 集距离及进化动量排名

年份	Vague 集距离	排名	进化动量	排名
2014	0.498 0	8	0.694 2	3
2015	0.503 2	9	0.738 5	1
2016	0.504 1	10	0.719 5	2
2017	0.489 5	7	0.660 0	4
2018	0.478 0	5	0.593 0	5
2019	0.478 4	6	0.531 8	7
2020	0.473 2	4	0.537 6	6
2021	0.469 8	3	0.521 0	8
2022	0.464 5	2	0.501 3	9
2023	0.454 8	1	0.474 4	10

整体下降，适宜性水平稳步提升。尽管 2019 年出现短暂回升，但整体演化轨迹仍体现“稳中有扰、持续向优”的特征，显示系统在外部干扰下具备一定的适应调节与自我修复能力。根据生态位进化理论，偏离程度越高的年份应表现更强的进化动量[3]，2016 年与 2019 年进化动量未达到预期，说明这两年产业资源未能有效转化为系统优化的驱动力，导致生态位优化动力不足，限制了适宜性提升空间。

2.2.2　生态要素的生态位与权重分析

1)生态要素生态位适宜性分析

首先针对产业主体生态位、资源生态位、社会生态位、经济生态位及环境生态位分别构建了 6×10、7×10、6×10、5×10、7×10 的评价指标数据矩阵。通过模型计算，得到 2014—2023 年各生态要素的生态位 Vague 集距离（表 4），并绘制趋势图（图 2）进行辅助分析。

结果表明，长沙市装配式建筑产业各生态要素的适宜性水平差异显著，整体处于动态调整阶段。

（1）社会生态位：适宜性表现最佳，距离均值最低，核心得益于政策引导、公众接受度与社会参与度的稳定提升；2014—2016 年因政策初期执行力度不足，距离值略有上升，2017 年起改善效果明显，2020 年后虽受政策实施节奏与市场反馈变化影响出现阶段性波动，但整体趋于稳定，进入良性发展轨道。

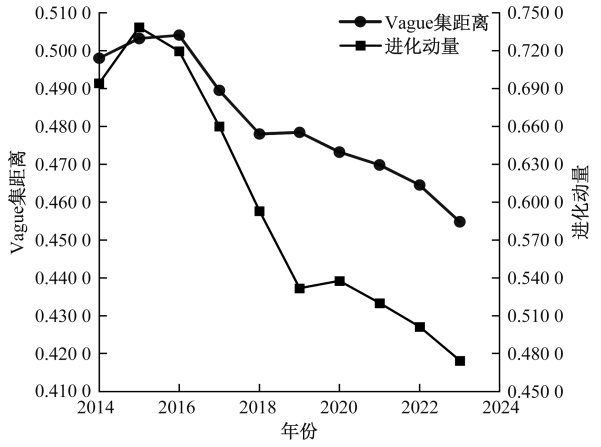


图 1　长沙市装配式建筑产业生态位 Vague 集距离与进化动量演化趋势

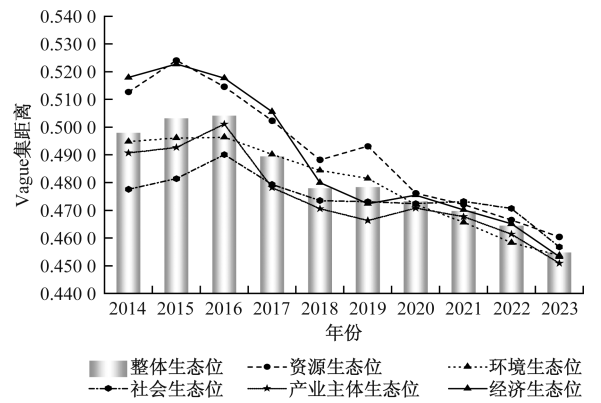


图 2　整体及各生态要素生态位演化趋势

（2）产业主体生态位：适宜性排名第二，距离值呈“前期缓升-中期波动-后期下降”的趋势；2016 年距离值突破临界值，暴露产业发展早期主体协同能力弱、技术支撑能力不足等短板；2020 年起随着产业协同机制不断完善，适宜性快速提升，产业主体的市场响应能力显著增强。

（3）环境生态位：适宜性居中偏低，阶段性演化特征明显；2014—2016 年因绿色技术推广滞后，距离值持续上升，2017 年后随着环保政策趋严与绿色发展理念深度渗透，该生态位持续向好，反映产业绿色转型成效初步显现。

（3）经济生态位：适宜性相对靠后，表现为“高位起步、持续下行”的特征；早期产业经济运行效率低下，2017 年后产业经济发展机制逐步修复，2023 年经济生态位适宜性初见改善成效，表明产业市场调节机制仍待进一步完善。

（4）资源生态位：适宜性水平最低且波动幅度最大；2014—2016 年资源错配问题突出，虽然后期资源配置状况有所缓解，但 2019 年的波动显示资源要素整合的稳定性不足，仍存在较大提升空间。

从产业整体演化来看，2014—2016 年长沙市装配式建筑产业整体生态位适宜性水平下滑，核心原因是资源与经济生态位的不适配，二者距离值均在此阶段达到峰值，拉动产业整体偏离最适生态位，反映该阶段产业系统结构尚未成型，处于发展初期的探索阶段；2017—2018 年产业适宜性水平回升，主要得益于产业主体与资源生态位的显著改善，产业生态系统进入“机制修复期”；2019 年受资源要素整合波动影响，产业适宜性出现短暂回调；2020 年起产业系统协同能力持续增强，适宜性水平稳步优化，2023 年达到十年最优。上述结果表明，长沙市装配式建筑产业生态系统正逐步从早期的结构构建，走向各要素协调发展与协同演化的成熟阶段。

2)生态要素生态位权重分析

为评估各生态要素的重要性与演化特征，基于 Vague 值的评价结果，运用 π-OWA 算子与数学规划法测算指标权重，并通过加总形成五类生态要素的综合权重（表 5）。图 3 进一步展示了 2014—2023 年各要素权重的时序变化，揭示了系统主导的阶段性转化趋势。

从权重均值来看,产业主体生态位权重占比最高,长期维持在产业生态系统的主导地位,凸显其在系统运行与结构适配中的核心作用;资源生态位权重次之,且呈稳定上升趋势,反映出技术、人才等资源要素在支撑产业系统演化中的关键地位;社会生态位权重长期维持中等水平,说明其在公众认知培育、政策反馈落地等方面,对产业生态系统具备持续的外部驱动效应,是推动产业生态优化的重要外部动力;经济与环境生态位权重相对较低,在研究期内尚未形成对产业系统演化的主导性引导,整体处于辅助与被动调节状态。

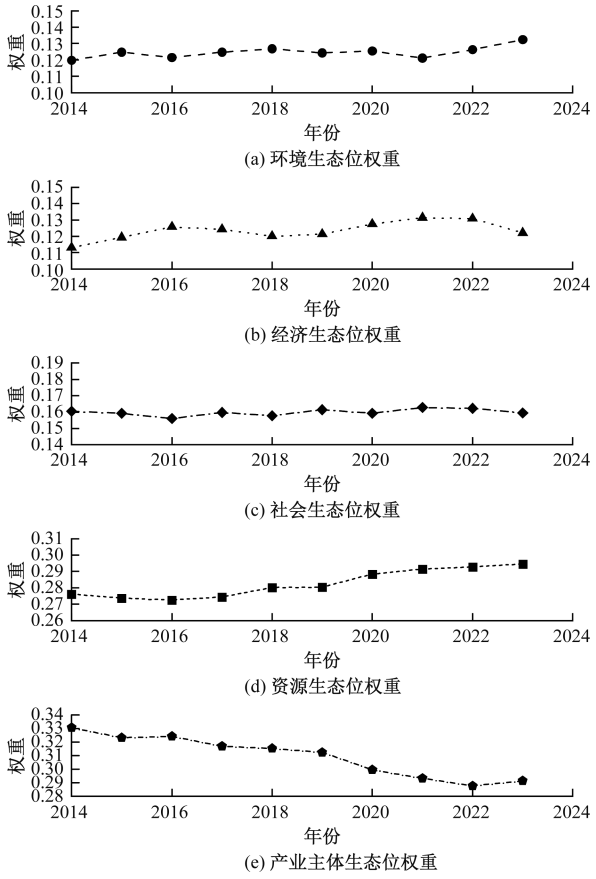


图 3　各生态要素生态位权重演化趋势

从阶段性演化来看,长沙市装配式建筑产业生态位权重结构可分为两个阶段。

(1)2014—2019 年:“主体-资源”双轮驱动阶段:产业主体权重虽略有下降但仍居首位,资源权重稳步上升,形成“主体牵引、资源赋能”的协同发展格局;社会、经济、环境三类生态位权重呈低位震荡特征,表明产业协同机制、市场调节机制与环境约束机制仍处于边缘嵌入阶段,对产业发展的支撑作用尚未充分发挥。

(2)2020—2023 年:“要素重构”阶段:呈现“主体收缩、资源强化、环境提升”的特征。产业主体权重下降,反映出产业粗放式增长模式逐步退潮,高质量发展导向凸显;资源生态位权重持续上升,成为产业内涵式发展的关键支点;环境生态位权重显著提升,凸显绿色转型趋势逐步嵌入产业系统运行逻辑。相较之下,社会生态位权重保持稳定,反映其外部政策驱动机制的支撑作用已相对成熟;经济生态位权重先升后降,揭示出产业经济驱动路径亟待转型、创新发展动能不足的现实瓶颈。

结合 2014—2017 年产业主体与资源生态位权重较高但系统整体适宜性偏低的表现可知,产业发展早期政策聚焦于主体协同与资源供给,但各生态要素间的协同联动不足,导致产业系统整体发展效能受限。后期产业发展则需通过机制协同与结构优化,强化各生态要素的耦合能力,提升产业系统的整体演化效能。

3　结论与建议

3.1　结论

本文基于生态位理论,构建了涵盖“产业主体、资源、社会、经济与环境”五大维度的适宜性评价体

表 4　长沙市装配式建筑产业要素生态位 Vague 集距离

要素	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	均值	适宜性排名
产业主体	0.490 7	0.492 7	0.501 1	0.478 2	0.470 6	0.466 3	0.470 8	0.467 7	0.461 4	0.450 9	0.475 0	2
资源	0.512 7	0.524 1	0.514 6	0.502 3	0.488 2	0.493 1	0.476 2	0.472 1	0.466 5	0.460 4	0.491 0	5
社会	0.477 6	0.481 4	0.490 1	0.479 3	0.473 5	0.473 1	0.472 4	0.473 2	0.470 7	0.456 8	0.474 8	1
经济	0.517 9	0.522 8	0.517 7	0.505 6	0.480 0	0.472 4	0.475 5	0.470 2	0.465 1	0.453 2	0.488 0	4
环境	0.494 8	0.496 1	0.496 4	0.490 2	0.484 4	0.481 5	0.472 1	0.465 7	0.458 3	0.453 7	0.479 3	3

表 5　长沙市装配式建筑产业各要素生态位权重

要素	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	均值
产业主体	0.330 4	0.323 0	0.324 0	0.316 8	0.315 1	0.312 3	0.299 4	0.293 2	0.287 7	0.291 4	0.309 3
资源	0.276 2	0.273 7	0.272 6	0.274 4	0.280 2	0.280 5	0.288 4	0.291 5	0.292 8	0.294 6	0.282 5
社会	0.160 5	0.159 2	0.156 1	0.159 8	0.157 8	0.161 5	0.159 3	0.162 8	0.162 3	0.159 5	0.159 9
经济	0.113 1	0.119 4	0.125 8	0.124 3	0.120 1	0.121 4	0.127 5	0.131 4	0.130 9	0.122 1	0.123 6
环境	0.119 8	0.124 7	0.121 5	0.124 7	0.126 8	0.124 3	0.125 4	0.121 1	0.126 3	0.132 4	0.124 7

系，运用Vague集理论处理数据的不确定性，并通过π-OWA算子进行综合赋权。以长沙市2014—2023年面板数据为依据，对其装配式建筑产业生态位适宜性水平及演化趋势展开了系统评估，得出以下主要结论。

（1）产业适宜性稳步升级，演化贴合长沙“制造强市”路径。长沙市装配式建筑产业在2014—2023年间经历“结构紊乱-机制修复-协同优化”阶段性蜕变。2015—2016年因预制构件产能分散、资源配置效率低与协同机制滞后导致适宜性显著偏离最优状态。2017年后随着《湖南省人民政府办公厅关于加快推进装配式建筑发展的实施意见》《长沙市人民政府办公厅关于进一步推进装配式建筑发展的通知》等政策密集落地，叠加三一重工、远大住工等本地工程机械龙头的技术赋能，生态系统逐步修复并进入稳定提升通道，2023年适宜性达到阶段最优，充分印证“政策引导＋制造产业支撑”的长沙特色升级路径。

（2）生态要素分化显著，凸显长沙“强政策、弱效益”特征。社会生态位表现最为突出：长沙将装配式建筑产业链确定为重点推进的产业链之一，由市政府层面主导构建装配式建筑现代产业推进体系，叠加其作为中部装配式建筑试点核心城市的政策红利，本地政策的引导性与扶持力持续释放，成为社会生态位领先的核心支撑。产业主体生态位紧随其后：随着打造千亿级装配式建筑现代化产业集群的目标持续深化，产业集群效应逐步凸显，在远大住工等龙头企业带动下，主体间协同能力不断增强，技术共享率稳步提升，发展水平稳中向好，二者共同构成产业发展的核心双支撑。环境生态位处于中间水平：长沙着力打造智能建造与新型建筑工业化协同发展的“长沙模式”，2023年颁布《关于推动智能建造与新型建筑工业化协同绿色低碳高质量发展行动方案》持续加强产业绿色低碳发展，环境保护成效逐步显现。资源与经济生态位长期处于临界水平，前者受多重因素制约，既因湘江生态保护政策刚性约束导致建材整合稳定性不足，也面临专业技术人员储备短缺、素质参差不齐的问题，同时产业标准化与产业化水平偏低，核心技术专利数量偏少且转化效率不高，共同削弱了资源要素支撑能力，后者因装配式项目未能充分借力三一重工、中联重科等本地工程机械龙头的技术与供应链优势实现价值协同，导致产业规模扩张至“千亿级”的同时，效益增长滞后，呈现“规模与效益失衡”的典型特征，二者成为产业升级的主要瓶颈。

（3）生态权重动态调整，反映长沙产业调控重心变迁。2014—2019年以“产业主体-资源”双轮驱动为主，系统运行依赖于龙头企业主导与要素支撑。2020—2023年进入“要素重构期”，产业主体主导地位虽仍突出但边际推动力开始减弱；资源生态位重要性持续上升，成为内涵式发展关键支点-在此阶段，长沙市通过推动产能提升、加强产业化工人培训、提高装配式建筑应用比例，大力推进“设计-生产-施工-管理-服务”全产业链建设，逐年扩大装配式技术应用范围，有效强化了资源要素支撑能力；环境生态位权重上升，绿色转型趋势嵌入系统逻辑，这与长沙市城镇新建建筑100%执行绿色建筑标准，全市星级绿色建筑占当年新增绿色建筑面积的比例超过5%的实际成效直接相关。社会生态位权重保持稳定，密集政策的持续颁布印证其作为外部驱动机制的支撑作用已相对成熟；经济生态位权重偏小且先升后降，显示市场机制尚处于培育阶段。

3.2 建议

基于上述研究结论，结合长沙市装配式建筑产业发展实际，为进一步提升产业生态位适宜性、推动产业高质量发展，提出以下政策建议。

（1）推进资源要素整合，筑牢产业发展根基。针对资源生态位要素整合不稳、支撑能力不足的问题，依托长沙“两主五辅”产业布局，升级远大、东方红等装配式产业园区，推动预制构件生产、原材料供应集约化、规模化发展；联合株洲、湘潭搭建长株潭装配式建筑资源共享平台，建立长沙全产业链动态监测与智能调配机制，促进“设计-施工-运维”各环节要素精准对接，提升本地构件配套率。同时，深化政校企合作，联合高校、职业院校开设装配式建筑相关专业课程，开展产业化工人技能专项培训，健全人才培养体系；设立专利转化专项基金，完善专利转化激励机制，破解专业技术人员短缺、核心专利转化低效等发展难题。

（2）深化协同创新机制，强化核心驱动效能。聚焦社会与产业主体生态位的协同发展需求，对保障性住房、高校宿舍等装配式建筑重点项目给予专项财政补贴与审批绿色通道，降低项目建设成本，扩大产业应用场景；以国家级装配式建筑产业基地为核心，组建产业创新联盟，推动龙头企业与中小企业联合攻关旧改装配式模块、绿色建造技术等本地急需技术，提升产业整体创新能力；在梅溪湖片区、老旧小区改造等重点区域，打造装配式建筑示

范工程,通过社区科普、项目现场观摩、行业交流等形式,提升公众对装配式建筑的认知度与接受度,进一步强化“社会 + 产业主体”双核心支撑效能。

(3)完善市场调节体系,突破经济发展瓶颈。着眼于经济生态位“规模与效益失衡”的问题,建立“政府指导价+市场调节价”双轨价格体系,发布装配式建筑构件基准价,规范市场价格秩序,降低项目建设成本;实施专精特新企业培育计划,扶持本地装配式建筑中小企业向专业化、精细化、特色化、新颖化方向发展,支持龙头企业拓展海外市场,提升产业市场竞争力;联合金融机构设立装配式建筑产业发展基金,为产业项目提供低息贷款、融资担保、融资租赁等金融服务,破解产业融资难、融资贵问题,推动产业规模与经济效益同步提升。

参考文献

[1] 张亚钊,刘洋,陈自强,等. 我国装配式建筑区域发展水平评价——以西南地区为例[J]. 科技和产业,2024,24(8):211-219.

[2] LI C Z, TAM V W Y, ZHOU M, et al. Quantifying the coupling coordination effect between the prefabricated building industry and its external comprehensive environment in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 434: 140238.

[3] 丁玲,韩家平,苏玲,等. 外商投资区域生态位、进化动量与空间分布——2012—2021 年中国 31 个省份实证研究[J]. 国际贸易,2024(4):72-86.

[4] TAKOLA E, SCHIELZETH H. Hutchinson's ecological niche for individuals[J]. Biology & Philosophy, 2022, 37(4): 25.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 孙丽文,李少帅. 基于多层次分析框架的人工智能创新生态系统演化研究[J]. 中国科技论坛,2022(3):62-71.

[8] XUE X, LIU X, BLANCO C. Evaluating and forecasting the niche fitness of regional innovation ecosystems: a comparative evaluation of different optimized greymodels [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2023, 191: 122473.

[9] 胡海青,孔维维,王兆群,等. 破解“绿色困境”密码:可持续创业企业合法性动态变迁与生态位态势提升[J]. 科技进步与对策,2025,42(9):37-49.

[10] 尹西,王欢芳,杨春兰,等. 我国先进制造业与生产性服务业融合生态位研究[J]. 科学决策,2024(3):75-89.

[11] 王会,方金强,张兵. 国内装配式建筑研究热点与演进趋势——基于 CiteSpace 的可视化分析[J]. 科技和产业,2022,22(5):208-217.

[12] 陈大川,罗阳,刘政轩,等. 装配式建筑产业链高质量发展存在的问题及对策研究[J]. 建筑经济,2023,44(6):5-13.

[13] 伊辉勇,曾芷墨,杨波. 高技术产业创新生态系统生态位适宜度与创新绩效空间关系研究[J]. 中国科技论坛,2022(11):82-92.

[14] BAO Z, LIN Z, JIN T, et al. Regional breakthrough innovation change strategies, ecological location suitability of high-tech industry innovation ecosystems and green energy[J]. Energies, 2024, 17(16): 3938.

[15] 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.

[16] 袁汝华,马城楠. 江苏省科技服务业创新生态系统适宜度评价——基于 Vague 集理论[J]. 科技管理研究,2020,40(6):75-82.

Research on the Suitability Evaluation of Industrial Niche in Prefabricated Construction Industry: Based on Changsha City

SHENG Liangfeng, PENG Juhui, DENG Fanghao

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

Abstract: The suitability of industrial niche in prefabricated construction industry is regarded as a key indicator for measuring industrial development level, playing a significant role in promoting the green transformation and high-quality development of the construction industry. A five-dimensional niche suitability evaluation index system covering “industrial subjects, resources, society, economy, and environment” was constructed based on niche theory. With the application of Vague set theory, the niche dynamics was evaluated by the research using Changsha's data from 2014 to 2023. The results are as follows. The industrial niche follows a path of “structural disorder-mechanism repair-collaborative optimization”, peaking in 2023 (evaluation stage). Ecological elements show significant differentiation, with social niche performing best and resource-economic niches as main shortboards. The weight structure shifts from “industrial entity-resource” dual dominance to multi-cooperative synergy. Corresponding suggestions are proposed, including promoting resource integration, deepening collaborative innovation and improving market regulation, to support the high-quality development of the prefabricated construction industry.

Keywords: prefabricated building; industrial niche; niche suitability; vague set