

# 装配式建筑产业成熟生态的结构体系分析

——以远大可建科技有限公司为例

沈良峰, 孙李妍, 刘婷, 袁俊

(中南林业科技大学土木工程学院, 长沙 410004)

**摘要:** 推进产业生态化是实现可持续发展的必然选择。运用扎根理论透析装配式建筑产业生态结构, 深入探究产业成熟生态结构体系。构建“资源环境-生态文化-应用执行-管理控制”4 维度产业生态结构框架; 界定了装配式建筑产业成熟生态的内涵; 综合刻画了装配式建筑产业成熟生态结构体系; 通过对案例的分析建立产业生态模型, 并提供优化策略, 验证体系的准确性。围绕装配式建筑产业如何通过生态化转型更大程度上实现各方面效益提供参考。

**关键词:** 产业生态化; 扎根理论; 装配式建筑; 成熟生态; 结构体系

**中图分类号:** F423.3; TU741 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)07-0232-09

中国生态文明建设要坚持以绿色发展理念为引领, 拓展生态产品价值实现通道, 走“产业生态化、生态产业化”协同的绿色发展之路, 建立健全生态经济体系, 努力建设人与自然和谐共生的现代化。产业生态化立足于产业与生态的融合发展, 促进经济效益与生态效益、社会效益的有机统一。中国正进入社会经济转型、实现高质量发展的新阶段, 这要求装配式建筑产业尽快摆脱传统落后状态, 通过加速建筑产业化建设, 全面实现生产建造方式升级转型。基于装配式建筑的发展潜力巨大<sup>[1]</sup>, 如何驱动装配式建筑转型升级, 进而形成符合发展定位和时代特征的产业生态体系, 将成为支撑中国全面绿色转型的重要动力和关键基础。

产业生态化自提出以来受到了很多国外学者的关注。早期研究大多在模仿自然生态的特定工业生产过程中构建循环型工业体系。Rose 和 Friedman<sup>[2]</sup> 认为生物学有无限的潜力加速工业革命的发展。Chatterjee 等<sup>[3]</sup> 证明共生生态系统中嵌套性原理可以成为工业领域的强大定量生物启发设计指南, 能够同时解决环境和经济弹性问题。随着研究的深入, 创新产业生态化应用领域不断扩展, 涉及产业发展至成熟阶段的问题。刘红琴和陆佳勤<sup>[4]</sup> 从政治环境、经济环境、社会文化环境、技术环境和自然环境 5 个维度对

2020 年中国各省份光伏产业环境成熟度进行评估。郭承龙<sup>[5]</sup> 通过构建由共生环境成熟、共生网络成熟、共生单元成熟和共生模式成熟组成的淘宝村花卉苗木产业集群共生成熟模型, 提出了其产业共生成熟实证模型。在建筑领域, 何玲等<sup>[6]</sup> 基于与装配式建筑相契合的 (organizational project management maturity model, OPM3) 成熟度模型和装配式建筑的特点, 构建了装配式建筑行业发展成熟度模型。王婉和于德建<sup>[7]</sup> 基于数据管理能力成熟度模型, 从数据战略、数据标准、数据信息平台等 8 个维度构建了建筑企业数据管理成熟度模型。就目前而言, 装配式建筑领域有许多定量研究, 但大多是从影响因素、标准体系构建、发展水平评价、技术体系等方面展开研究, 缺乏从成熟视角对生态体系的探讨, 且大多都是以单体建筑或者单个项目产业链为研究对象, 少有以整个产业的发展为视角。在产业与生态融合发展的背景下, 尚缺乏一套独立且成熟的产业生态体系来对装配式建筑产业系统内部机制进行规划性研究。因此, 本文旨在构建符合高质量发展要求的装配式建筑产业成熟生态体系, 以为装配式建筑产业发展提供理论指导和实践参考, 推动产业螺旋上升, 实现可持续发展。

鉴于此, 本文运用扎根理论法探究装配式建筑多维度生态产业结构机制框架, 对装配式建筑产业成熟

**收稿日期:** 2024-10-17

**基金项目:** 湖南省社会科学基金(23YBA119); 长沙市自然科学基金(kq2402267)

**作者简介:** 沈良峰(1968—), 男, 江苏南通人, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为土木工程管理、可持续建设与发展管理; 孙李妍(1999—), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 研究方向为装配式建筑产业生态; 刘婷(2000—), 女, 湖南长沙人, 硕士研究生, 研究方向为土木工程可持续发展管理; 袁俊(2000—), 男, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 研究方向为可持续建设与发展管理。

生态的内涵进行探索性界定,从结构框架、特征表现、协同关系与发展过程综合刻画装配式建筑产业成熟生态结构体系,利用远大可建产业基地实例验证装配式建筑产业成熟生态体系的准确性与参考价值。有助于产业主体借助创新资源协调互动、互相影响和依赖,对实现产业自身价值、获得专业核心竞争力以及提升产业链的运行效率有根本性的影响,并为装配式建筑产业如何通过成熟生态转型更大程度上实现各方面效益,为中国建筑产业高质量发展提供参考和启发。

## 1 基于扎根理论的装配式建筑产业生态结构框架分析

### 1.1 数据的收集和处理

本文数据围绕装配式建筑产业生态化主体展开,结合文献源和实地源收集原始资料。具体操作如下。

(1)课题组成员对长沙、武汉、深圳等地的5个装配式建筑产业园及9个周边装配式建筑工程进行实地调研,对43名受访者进行深度访谈,涉及投资开发

方、设计工程师、装配式构件生产供应人员、物流运输人员、装配施工项目经理、运营管理人员等,每次调研由2名硕士研究生负责详细记录,并进行现场录音。

(2)由于现有的关于装配式建筑产业生态化研究极少,本文梳理相关文献中适用于装配式建筑产业高质量发展、装配式建筑节能减排、装配式建筑产业管理模式改革等方向的资料,全面探讨装配式建筑创新产业生态化体系。

就以上获得的访谈数据和资料逐步进行开发编码、主轴编码与选择编码,通过持续的比较与分析,当编码过程中不再涌现新的概念与关系时,标志着数据饱和,据此决定终止数据收集工作,形成装配式建筑生态产业的结构框架。

### 1.2 开放编码

开放编码是对原始资料的整理、概念化、范畴化,是将原始资料打碎的过程,主要目的在于发展概念和提炼范畴,采用 NVivo12.0 来进行三级编码,见表1<sup>[8-11]</sup>。

表1 开放编码过程举例<sup>[8-11]</sup>

来源	原始数据	开放编码	
		初始概念	副范畴
访谈	装配式建筑并不是新东西,国家正在大力发文支持这种高效率低污染的绿色建筑,但是大环境需要调整……在“两化”融合的理论背景下,我们成立了新型建筑智能建造园,初步实现了资源的集中。提高了建筑资源的利用效率	A01 促进资源的集中和利用率	B01 资源的有效集中和利用率
	我公司的装配式工程中有很强的代表性……在技术创新这一块,我司研发适应不同环境条件的建筑材料和设计方案,来提高建筑的生态适应性和可持续性……	A02 研发适应不同环境条件的建筑材料和设计方案	B02 技术创新的生态适应性
	我们对劳动力结构有不同的要求,需要有一批掌握现代建筑技术和工艺的工人,我们公司每一季度都有针对性的培训和教育,为我司产业的持续发展提供人才……	A06 需要掌握现代技术的工人和针对性的培训和教育	B09 劳动力素质提升
	企业合作很重要,大家一起交流经验,提升行业的整体水平。如南京百水保障房一期项目,该项目作为示范展示了装配式建筑的优点,引导更多企业进入我们这一领域,共同推动行业发展……	A07 推广企业项目交流会和优秀示范项目	B10 推广应用和示范项目
	装配式建筑产业与生态系统相融合,是一个高度前瞻性的理念,可以通过使用生态友好型材料,如竹材、再生混凝土等,来减少对自然资源的损耗、对环境的冲击是非常必要的	A19 使用生态友好型材料来减少对自然的冲击	B35 绿色建筑材料的的应用
	……	……	……
文献	……从纵向的产业链管理角度来看,整个产业链的项目管理模式需要被重塑,从而打通上下游企业的信息壁垒,提升信息传递和企业合作效率,减少流程冲突和资源浪费 <sup>[8]</sup>	A55 产业链的项目管理模式需要被重塑	B06 重塑产业链管理模式
	价值链是产业链的根本,产业链是价值链形成和演化的基础。装配式建筑产业具有其独特的行业特性,其产业价值链涉及企业众多,各链条企业活动密切相关,要求企业必须以价值为导向 <sup>[9]</sup>	A56 价值链是根本,企业活动必须以价值为导向	B15 企业以价值为导向
	因为装配式建筑作为新兴事物,市场接受度较低,此时仅靠市场的力量是薄弱的。政府可以从供应端出发,给开发商定制一定的开发指标,对未完成指标的开发商进行惩罚,并且降低其后续的政策优惠 <sup>[10]</sup>	A59 装配式建筑作为新兴事物需要政府的政策引导	B17 政府的政策引导
	技术创新赋能传统产业、提高资源利用率,是实现经济绿色发展的关键手段。数字化转型作为企业生产与数字技术深度融合,全方位提升经验效率的创新过程,无疑能在很大程度上影响企业的污染排放 <sup>[11]</sup>	A61 技术创新赋能传统产业 A62 数字化转型与数字技术融合	B19 技术创新 B20 数字化转型
	……	……	……
	合计	85	42

### 1.3 主轴编码

在主轴编码这一环节,需要对开放编码所形成的范畴进行分析与聚类,从而形成更大的类属,同时探究各个类属之间的关系。主轴编码形成“故事线”为选择编码串联各个范畴奠定基础。在 42 个副范畴的基础上通过反复比较、归纳和抽象化,发现概念之间的关系以形成 16 个主范畴,见表 2<sup>[12-14]</sup>。

### 1.4 选择编码

选择性编码是指从主轴编码形成的主范畴中概括出具有统领性、能够涵盖全部类属的核心范畴,实现将所有概念类属囊括进一个比较宽泛的理论范围之内。通过对 16 个主范畴进行认真检视和

反复对比后,总结并整合得到 4 个核心范畴,继而形成装配式建筑产业生态的结构框架,可称为“资源环境-管理控制-生态文化-应用执行”<sup>4</sup> 维度理论框架,如图 1 所示。

## 2 装配式建筑产业成熟生态结构体系分析

### 2.1 装配式建筑产业成熟生态的内涵

“产业生态”概念是伴随人类生态觉醒而产生的,随着全球一系列环境污染事件涌现,人们开始进行有关资源耗竭、环境容量等问题的思考,以循环再生、重复利用为核心理念的产业生态思想由此应运而生。产业生态在产品投入、生产、产出、流通和消费的全过程中,具有“低碳、循环、高效”的核心特征,这与装配式建筑产业扎根分析的理论框架基

表 2 主轴编码及范畴内涵<sup>[12-14]</sup>

主范畴	副范畴	范畴内涵
C01 资源整合	资源的有效机制和利用、优化资源配置、流程再造等	构建产业生态圈,实现上下游企业间的资源整合和信息共享,对标于生态系统中物种的相互依赖和共生
C02 全过程生态管控	过程持续改进和优化、建立全程追溯体系等	指从设计、生产、运输、施工到验收过程,对各个环节实施循环化、绿色化、精细化的管理和控制
C03 企业共存	合作共存、互补共存、文化共存、区域共存等	在装配式建筑产业中,鼓励和支持多类型的企业共存,注重生物多样性,保持产业的活力
C04 市场竞争	品牌与服务、核心竞争力、区域市场特点、争夺市场份额等	装配式建筑企业需要根据自身实际情况,结合市场环境和政策导向来发挥自身优势,不断提升核心竞争力,以适应不断变化的市场需求和发展趋势
C05 协同机制	分层对接、生态产业互通、组织协调、产业链管理协同	装配式建筑产业需要建立有效的协同机制,确保各环节之间的顺畅衔接,类似于生态位的重叠与协同作用
C06 绿色环保与可持续发展	绿色建筑材料的应用、可再生能源的利用、生态系统保护与恢复等	装配式建筑产业的发展应遵循可持续发展的原则,不仅关注当前的经济效益,还要考虑长远的环境和社会效益,确保产业的长期生存和发展
C07 规划产业布局	减少物流成本、市场定位与开拓、目标规划与展望等	参照生态系统中物种分布的优化原则,装配式建筑产业应根据资源分布、市场需求等因素,合理规划产业布局
C08 循环经济	回收分类、材料再利用、雨水资源循环、废弃物资源化等	借鉴生态系统的物质循环原理,装配式建筑产业实施循环经济,提高建筑材料的回收利用率,减少环境污染
C09 技术创新	技术创新的生态适应性、鼓励研发、新技术传播与扩散等	生态系统中的物种适应环境变化,装配式建筑产业也应强化技术创新,研发适应不同环境条件下的建筑材料和设计方案,提高建筑适应性
C10 人才培养与引进	劳动力素质提升、优化劳动力结构、队伍建设等	吸引国内外装配式建筑领域的优秀人才,同时通过职业培训和高等教育,培养一批掌握装配式建筑技术的专业人才
C11 制度与规范	制度优化、领导嵌入、实施绿色建筑标准等	为了适应装配式建筑产业生态化转型,管理制度与规范应注重自然系统、社会系统的统筹优化
C12 产业内部沟通与协作	信息共享、推广应用和示范项目、科研机构项目合作等	通过成立产业联盟,促进上下游企业间的信息交流与合作,与科研机构 and 高等院校合作,将研究成果转化为实际生产力
C13 政策引导与支持	明确奖惩机制、出台发展政策、设立装配式专门部门 <sup>[12]</sup> 、规范市场标准等	政府应出台相关政策,鼓励和支持装配式建筑产业生态化转型的发展;通过法规和标准规范市场,包装装配式建筑的质量与安全,提升行业的整体形象和信任度
C14 智能化与数字化	信息共享平台建设、BIM 技术、云计算、智能化运维等	推广智能生产和管理技术,利用大数据和云计算技术进行市场分析和预测,指导产业生产和运营决策
C15 产业链建设	“链长链主”、构建全产业链高效运作标准体系、产业链整体协调 <sup>[13]</sup> 等	从原材料供应到构建生产,再到设计、智能建造、施工和一体化装修,产业链各个环节都需要精心规划,确保高效协同
C16 系统工程	系统构建与演化、系统转型与升级、一体化模式等	装配式建筑的系统培育与构建、积累和扩散、创新与释放、提升与转化是装配式建筑产业系统演化的逻辑,也是保证其发展动力才是装配式建筑健康发展的关键所在 <sup>[14]</sup>

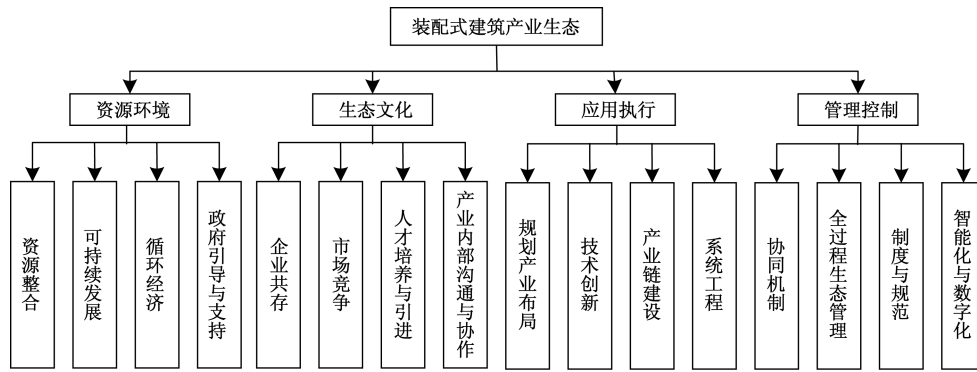


图1 装配式建筑产业生态结构框架

本一致。相比于产业生态,产业成熟生态体系的概念增加了两个部分,分别是“体系”和“成熟”。在生态学中,成熟生态通常指的是一个生态系统经过演替过程,达到相对稳定和自我调节的状态。这意味着各物种之间的相互作用和资源利用达到了一种相对平衡的状态。装配式建筑产业的成熟生态是在发展不完整的产业生态结构基础上经历一段时间的演化,逐渐形成的良好和平的成熟状态。该体系是相互支撑、相互依赖、相互补充的共同体,以共生关系紧密地联系在一起,不断相互作用并寻求合作,以实现特定目标并实现共同利益。鉴于以上分析,将装配式建筑产业成熟生态定义为:以先进的

生态文化为价值导向、基于友好资源环境承载力、具备杰出应用执行能力和卓越管理控制过程的复合型产业。其结构体系如图2所示。

### 2.2 结构框架组成

资源环境是装配式建筑产业成熟生态的核心维度。通过深化产业生态化的理念,产业中各利益相关主体在互动时形成一个动态且有机的整体,紧密围绕外部环境因素展开合作与协同。这种模式推动了整个建筑产业向低消耗、低污染、高清洁的和谐发展模式转变,有效地减轻了从生产到使用,再到废弃和处理的全产业链对环境的整体压力。通过优化资源配置和提升资源利用效率,推动绿色

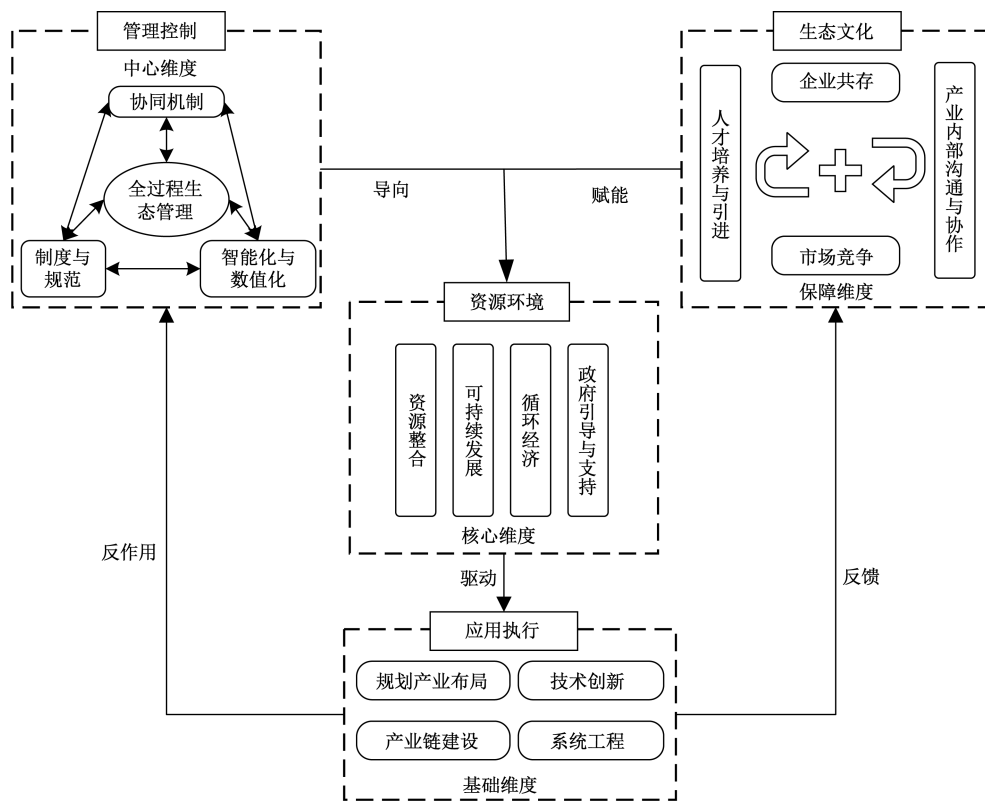


图2 装配式建筑产业成熟生态结构体系

发展和循环经济,促进资源的可持续利用和再生。此外,政府的引导与支持为产业的生态化转型提供了政策保障和外部助力,确保了各项生态化措施的有效实施。通过这种综合性、协同化的生态体系建设,装配式建筑产业在实现经济效益的同时,也为环境保护和可持续发展做出了重要贡献。

生态文化作为保障维度,注重产业内各参与主体的内部文化,发挥凝聚、协调、激励与约束作用,旨在建立以企业为主体、以市场竞争为驱动、深化挖掘人才培养与引进潜力、促进产业内部沟通与协作的生态文化体系。企业之间强调合作与共存,通过整合各主体的异质性互补绿色创新资源<sup>[15]</sup>,增强凝聚力,形成紧密协作的产业生态系统。市场竞争则被视为推动企业进步和创新的动力源,通过引入激励机制和竞争文化,提升技术水平和管理能力。人才培养与引进是产业持续创新的动力,通过完善的人才培养机制和引进体系,提升员工专业技能和综合素质,并吸收外部优秀人才,营造和谐、团队协作的工作氛围,增强员工的组织归属感。产业内部沟通与协作通过开放透明的沟通机制和跨企业、跨部门的协作,实现资源优化配置和技术共同研发,提升整体产业的竞争力。以上 4 个方面共同构建了一个协同合作、创新发展的生态文化体系,推动产业在文化介质领域的跨界分工与协作,实现共建、共享和共赢。

装配式建筑产业的成熟生态生产体系摒弃了传统建筑行业的粗放式应用执行模式,转而追求产业生态的统筹规划,确保目标明确、具体且可量化,以此激发强大的执行力,是产业生态结构整体的基础维度。为实现这一目标,必须从系统工程的角度出发,根据不同生态空间的特色和差异化需求,构建功能定位清晰、承接重点突出、布局结构合理的产业格局。此外,依托产业链的建设和技术创新,还需不断提升产业的现代化水平,加强自身消化能力,以科技创新为引领,加快传统产业高端化、智能化、绿色化升级改造,确保装配式建筑产业能够与时俱进,高效发展。

管理控制是装配式建筑产业成熟生态的中心维度。装配式建筑行业的健康发展依赖于一个成熟的管理控制生态圈。虽然目前中国装配式建筑在标准化、集成化、产业化方面已取得一定进步,但仍存在诸多不完善之处,如各方管控衔接不顺畅等。要构建一个成熟的管理生态,必须在全过程生态管理的基础上,依托有力的制度和规范作为支

撑,打造产业协同机制,推进产业智能化与数字化管控。这样,装配式建筑产业在全生命周期管理中的计划、组织、指挥、协调和控制能力,才能达到专业化、全局化和协调化的要求。

### 2.3 特征表现描述

装配式建筑产业成熟生态不仅追求经济效益,还要体现对社会和生态效益的改善,主要表现在以下 3 点特征:①整体性。成熟生态产业是由产业主体和产业发展环境中各部分组成的,是作为一个整体,彼此之间相互联系与协调,协同推动装配式建筑产业生态系统平衡发展,实现产业整体利益;②层次性。成熟生态产业体系是由生态企业、生态产业园、产业生态系统 3 个层级构成,其纵向连接以实现低层次的局部循环发展到高层次全面循环;③循环性。成熟生态产业体系内物质在各环节中是流动的,产业活动产生的废弃物能得到再生产利用。

### 2.4 协同关系分析

构建装配式建筑产业成熟生态体系是一个复杂的过程,其关键在于各维度之间的高度协同。基于产业生态体系的构成要素和运转机制,描绘了在高质量发展背景下,产业生态化各维度双循环运转的有机整体,如图 2 所示。其中,管理控制维度起着导向作用,影响资源环境维度,从而为产业的演化和进步提供动力,促进资源的持续再生和优质生态环境的构建。同时,生态文化维度通过吸引和凝聚人才、企业及市场要素,为资源环境维度赋能。应用执行维度依赖于资源环境维度的驱动力,以此形成科学的产业发展布局,进而实现高质量发展目标,通过反馈和反作用机制,推动体系的持续改进,最终形成可持续的良性双循环机制,带动产业转型升级。

### 2.5 发展过程分析

引入成熟度模型,建立贴合装配式建筑产业特性的产业生态化成熟度模型,如图 3 所示。产业主体通过多个维度不断升级,实现更高水平的生态整合。最后,装配式建筑产业构建成一个稳定且成熟的生态体系,全面贯彻资源环境友好、管理控制卓越、生态文化先进、应用执行杰出的全生命周期产业生态体系。综合来看,产业的生态化成熟度从初级到战略级的提升过程,是一个从无序到有序,从简单到复杂,从局部到整体的渐进式发展。

## 3 案例分析

### 3.1 远大可建装配式建筑产业基地简介

远大可建科技有限公司是远大科技集团 2009

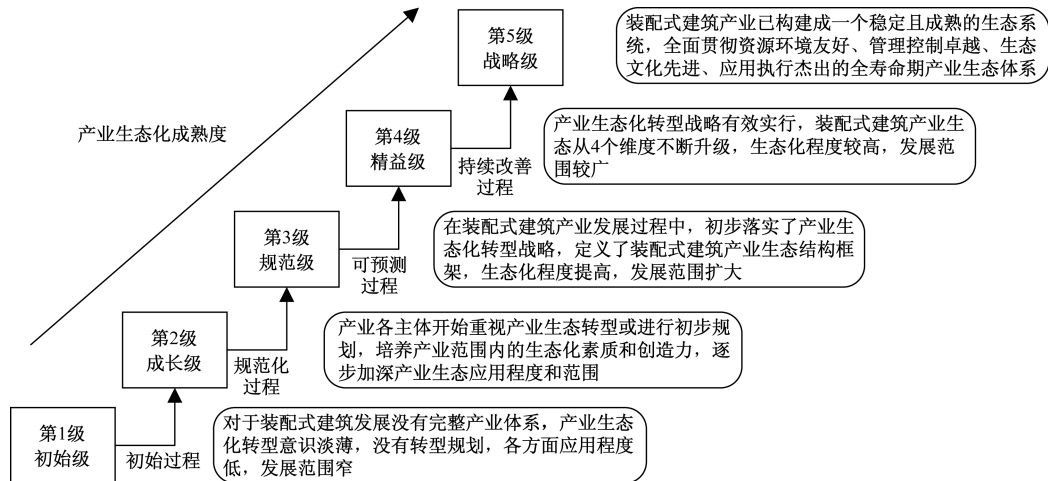


图3 装配式建筑产业生态化成熟度模型

年创立的全资子公司, 简称“远大可建”, 其中“可建”是远大工厂化可持续建筑的简称, 其可持续定义来自节能、节材、节地、减污。公司总部和研发基地设于中国湖南岳阳湘阴, 厂房面积 23 万 m<sup>2</sup>、员工 10 000 余人, 其中研发人员 300 人, 专业生产 9 度抗震、5 倍节能、20 倍净化、90% 工厂制造、现场建筑垃圾产生仅为 1% 的钢结构装配式建筑, 被评为国家级装配式建筑产业基地和国家级绿色工厂。可建从技术变革广度到技术创新深度, 从资源整合强度到信息梳理密度, 从建筑工业模式到建筑消费模式, 一直在颠覆人们固有思维。因此, 基于前文理论分析部分, 以远大可建装配式产业基地为例, 对建立的装配式建筑产业成熟生态体系进行应用, 验

证科学可行性。

### 3.2 产业基地成熟生态结构体系分析

以远大可建产业基地为整体, 基于装配式建筑产业成熟生态, 将组织中原本不太相关的各类资源和活动按照过程方法重新整合成一个相互依赖且具有供应关系的复合式产业生态体系, 其产业生态体系模型如图 4 所示。

#### 3.2.1 资源环境

远大可建发展一直遵循低碳环保的原则, 全球化和专业化分工推动着可建产业结构的升级, 通过工厂化生产和一体拼装式施工方式: 一块 3.9 m × 15.6 m 的“主板”包含了地板和天花板, 中间有通风、给排水管路和电气线路及照明, 实现了高效的

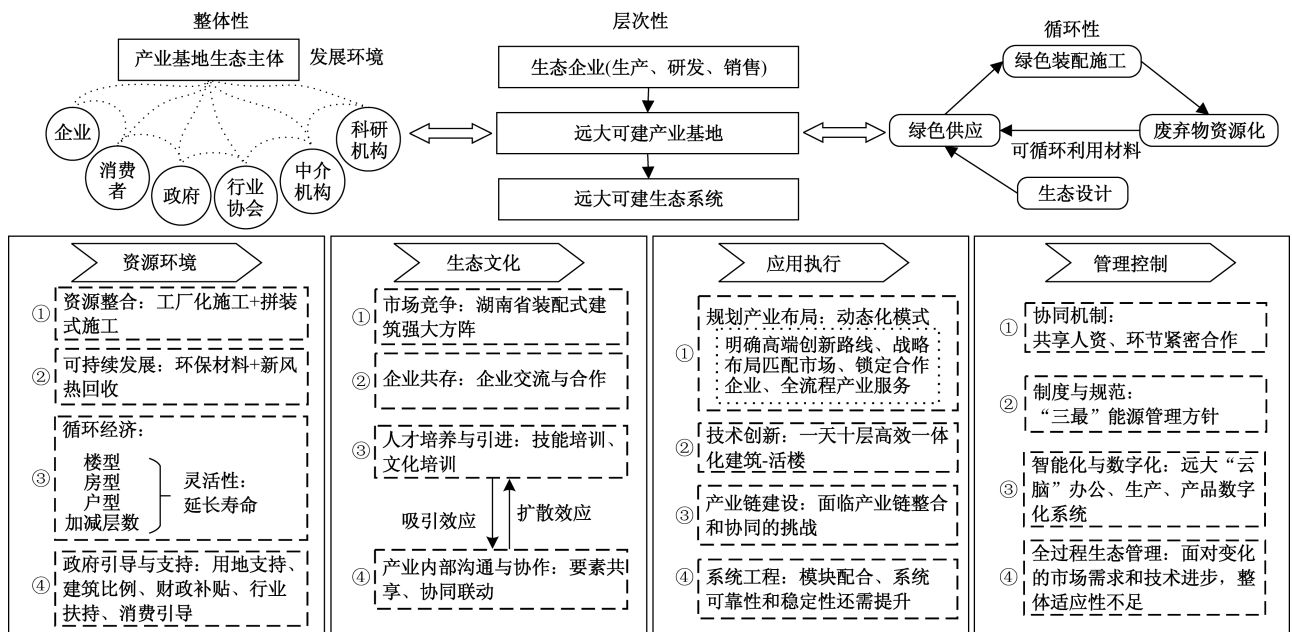


图4 远大可建产业生态体系模型

资源整合,减少了材料浪费和环境污染;同时,围绕建筑产业可持续发展的主题,采用不锈钢材料和厚保温、多玻窗、新风热回收等技术,提高了建筑的耐久性和节能效果;其楼型、户型、房型及加减层数的灵活性使得建筑能够根据需求进行调整和再利用,避免拆除和重建带来的资源浪费,推动了循环经济的发展,延长了建筑的使用寿命,减少了资源浪费。此外,住建部联合9大部门于2020年印发的《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》,提出推广装配式建筑体系,湖南省从用地支持、建筑比例、财政补贴、行业扶持、消费引导等方面为装配式建筑的发展提供了鼓励性政策,为可建的发展提供了有力的引导和保障。

### 3.2.2 生态文化

湖南装配式建筑生产制造在全国处于领先地位,三一集团、远大筑工、中民筑友等龙头企业扎根于此,再加上中建五局、东方红建设和水电八局等企业,共同构筑了湖南装配式建筑产业的强大方阵。远大可建在这个激烈的市场环境下,通过企业共存和市场竞争,获得了可靠推动力。这些企业间的竞争不仅促进了行业技术和服务的提升,同时也加强了企业间的合作与交流,推动了整个产业的发展;人才培养与引进方面,远大可建依托母公司远大科技集团,30多年来建立的绿色环保、诚实守信的品牌形象,无论是2010年前与YouTube上获得千万流量的快速建造热点视频、2020年新冠肺炎疫情下的“韩国火神山医院”项目,亦是联合国颁布的最高级别环保荣誉“地球卫士奖”,都为企业吸引并培养了一批优秀人才,确保了企业在市场中的竞争力。此外,通过销售技能培训和企业文化培训,增强员工的认同感,使其在被企业故事感动后,能将这种精神传达给客户,成为企业强有力的宣传支撑;产业内部的沟通与协作通过这些培训和文化建设,进一步巩固企业的凝聚力和竞争力,为远大可建的发展提供了持续的动力和支持。

### 3.2.3 应用执行

从整体布局来看,远大可建为了匹配宏达的产业目标并最终达成拓宽市场的目的,在市场定位上明确了产品的高端创新性,重点锁定政府和地产等合作企业,核心销售区域集中在北上广深。通过匹配不同的市场来制定战略及产品、价格、渠道和推广策略,展现了其在规划产业布局上的优势。此外,远大可建具有覆盖从研发、设计、生产、施工到销售、运营全流程的服务,极具前瞻性的结合集团

其他业务如非电中央空调和洁净新风产品,力争提供全流程的产业范围能力;在技术创新方面,远大可建发布了全球首座不锈钢建筑“活楼”,采用不锈钢槽钢和方管,完全不使用混凝土,通过模块化工厂制造和现场螺栓连接,实现了建筑的一天十层高效建造。这种技术创新比传统现场施工效率高20倍以上,且实现了高程度一体化。在钢结构装配式的基础上将材料迭代升级,创新研发出了不锈钢芯板这一新材料,相比于普通不锈钢,芯板材料具有更轻更强的优点;从产业链建设来看,尽管远大可建展现了其在技术和产品上的优势,但仍面临着产业链整合和协同的挑战。实现全流程的产业范围能力需要更加完善的产业链管理和更紧密的合作伙伴关系,以确保各环节的高效运转和资源的最优配置;此外,系统工程方面,由于涉及多个技术领域和复杂的系统集成,远大可建在协调各技术模块之间的配合和确保整体系统的可靠性和稳定性方面还需要进一步提升。

### 3.2.4 管理控制

在建立协同机制方面,可建通过共享人资、财务审计监察职能,充分利用集团公司的资源,提升了各部门之间的协同效率;在管理制度与规范方面,公司高度重视节能工作,建立了完善的能源管理体系和能源计量体系,通过“三最”(最节能建筑、最轻量交通工具、最有实效风电)能源管理方针,将节能减碳的责任落实到各部门,淘汰高耗能落后设备,确保了企业在节能减碳方面的有效执行和持续改进;在智能化与数字化方面,可建旗下子公司通过“远大云脑”系统,涵盖办公数字化、生产数字化和产品数字化;由于可建产业基地的规模较大,各部门人才流动使得团队的稳定性和持续性受到影响,往往一个装配式建筑项目要涉及进度、成本、质量、安全等各环节的长周期管控,尽管建立了完善的管理体系和数字化系统,面对不断变化的市场需求和技术进步,现有的管理体系和技术平台在适应性上可能存在不足,无法快速响应新的市场趋势和客户需求。

## 3.3 优化策略

综上,远大可建产业基地可以通过多项优化策略在全过程管控、产业链建设和系统工程方面进一步提升产业生态水平至成熟状态,从而推动装配式建筑产业的持续健康发展。

(1)在全过程管控方面,从单个企业到线性产业链、到产业基地、再到产业生态系统,并不仅仅是

个体内的管理,这使得管理机制必须由协同共生机制、风险识别与防范机制、利益分配机制与环境匹配机制共同作用。先进的技术解决方案正在彻底改变建筑行业的运营方式和管理体系,通过引入大数据、人工智能、云计算、物联网等技术,制定标准化项目管理流程以及建立项目管理办公室(project management office, PMO),可以实现从设计、生产、仓储、配送、施工到运营的全过程数字化管理,提高项目管理协同效率;完善绩效考核体系并定期进行评估与反馈,确保各环节的执行效果;通过建立风险管理机制和定期风险评估,强化风险管理,及时发现并应对潜在问题。

(2)在多层级、动态化、网络化的产业链建设中,通过搭建数字化供应链管理平台、优化供应商选择和评估机制,以及实施产业链协同计划,实现产业链的透明化管理和高效协同,形成产业集群效应,提升装配式建筑产业的核心竞争力、速度和效率;同时,为了有效满足装配式建筑市场日益提升的个性化需求,实现不断增长的定制化要求和应对激烈竞争,要求提高产业链的韧性和柔性,从促进全产业链延伸角度,加强与优质产业链和合作伙伴的战略合作,共同进行技术研发和创新,提升整体竞争力;优化物流网络和引入现代仓储管理技术,提高物流和仓储管理水平。

(3)基于系统性,与自然界的生态系统类似,装配式建筑产业是一个动态适应和结构复杂的生态系统,要求能根据内部和外部变化调整能力利用及其分配适应需求,以保障产业各部门能够保持相对稳定、高效运转,又有能力迅速恢复、灵活调整各环节。通过采用系统工程生命周期模型、设立系统工程团队以及建立综合集成测试平台,可以确保系统各模块的无缝衔接和协同工作,提升系统集成效率和稳定性;实施持续集成和持续交付(continuous integration/continuous delivery, CI/CD)方法,优化系统更新和维护流程,减少手工操作的错误风险;引入现代化的系统监控和运维工具,定期进行系统审查和优化,确保系统在高负荷下的可靠性和稳定性。

#### 4 结论

构建产业生态体系是切实转变装配式建筑发展方式、促进经济社会发展绿色转型的具体表现,也是中国推动产业生态化、促进人与自然和谐共生的生动实践。本文通过多维度、多层次的扎根分析,梳理装配式建筑产业生态结构框架的组成;给

出装配式建筑产业成熟生态的定义,分别从结构框架、特征表现、各维度协同关系与发展过程来分析其体系的特性与活动,最终形成了一套完整的、演化高级的装配式建筑产业成熟生态体系;以远大可建产业基地作为案例,从资源环境、管理控制、生态文化、应用执行4维度考察产业生态程度,构建了其产业生态模型,验证了体系的适用性、学术价值与应用价值,并就如何使其发展至产业成熟生态提供了优化策略,为装配式建筑产业主体如何进行融通创新、各要素甚至产业系统内部协同合作创新以形成动态高效运转模式提供了有力支持,也为进一步探索装配式建筑产业的生态化发展提供了新的视角和方法。

#### 参考文献

- [1] 宋联杰. 基于熵值法的装配式建筑绿色建造研究[J]. 科技和产业, 2023, 23(23): 142-147.
- [2] ROSE P P, FRIEDMAN D. BioInspired, BioDriven, BioMADE: The US bioindustrial manufacturing and design ecosystem as a driver of the 4th Industrial Revolution[J]. Engineering Biology, 2021, 5(3): 60-63.
- [3] CHATTERJEE A, BREHM C, LAYTON A. Evaluating benefits of ecologically-inspired nested architectures for industrial symbiosis[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2021, 167: 105423.
- [4] 刘红琴, 陆佳勤. 中国光伏产业环境成熟度区域异质性研究[J]. 生态经济, 2024, 40(4): 46-54.
- [5] 郭承龙. 苏北淘宝村花卉苗木产业集群共生成熟研究[J]. 中国林业经济, 2022(3): 89-96.
- [6] 何玲, 李燕, 卿棒伶, 等. 基于模糊综合评价法的装配式建筑行业发展成熟度研究: 以昆明市为例[J]. 工程管理学报, 2024, 38(5): 14-20.
- [7] 王婉, 于德建. 智能建造模式下建筑企业数据管理成熟度研判[J]. 建筑经济, 2024, 45(8): 35-42.
- [8] 丁少华. 基于BIM的装配式建筑全产业链项目管理模式研究[J]. 建筑经济, 2021, 42(8): 67-71.
- [9] 周涛, 周亚萍, 郭宇晨. 装配式建筑产业链多维度阐释及其供应链自主可控力影响因素测评[J]. 建筑科学与工程学报, 2022, 39(4): 192-203.
- [10] 王凡俊, 陈德凡, 赵宝库. 基于演化博弈理论的装配式建筑激励策略[J]. 科技和产业, 2023, 23(9): 81-89.
- [11] 何小钢, 钟湘菲. 数字化赋能企业“绿色升级”的机制和路径研究: 基于中国工业企业的经验证据[J]. 管理科学, 2023, 36(4): 127-145.
- [12] 李卫东, 张天天, 刘美霞. 基于系统动力学的装配式建筑产业政策模拟及节能减排效益评价[J]. 工业建筑, 2022, 52(2): 196-205.
- [13] 张岱祺, 杨建春. 风险冲击预期下装配式建筑产业链协作策略与协调机制研究[J]. 管理现代化, 2024(5): 123-134.

[14] 王凯, 毕文珂, 梁建楠. 基于适应性循环模型的装配式建筑演化分析[J]. 建筑经济, 2021, 42(1): 112-115.

[15] 李梦, 田增瑞, 陆羽中. 绿色创新生态系统共生演化与培育机制[J]. 技术经济, 2024, 43(4): 132-142.

## **Analysis of the Mature Ecosystem in the Prefabricated Buildings Industry: Taking the Broad Sustainable Building Company as an Example**

SHEN Liangfeng, SUN Liyan, LIU Ting, YUAN Jun

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

**Abstract:** Promoting industrial ecologicalization is an inevitable choice for achieving sustainable development. Grounded theory was applied to analyze the ecological structure of the prefabricated construction industry, the mature ecological structure system of the industry was delved into. A four-dimensional industrial ecological structure framework of “resource environment ecological culture application execution management control” was constructed. The connotation of mature ecology in the prefabricated construction industry was defined. Comprehensive characterization of the mature ecological structure system of the prefabricated construction industry. By analyzing the case, an industrial ecological model was established and optimization strategies were provided to verify the accuracy of the system. Reference on how to achieve greater benefits in various aspects through ecological transformation in the prefabricated construction industry is proposed.

**Keywords:** industrial ecologicalization; grounded theory; prefabricated buildings; mature ecology; structural system