



工程生态位：概念、特征、类型和变移

李三虎

山西大学 马克思主义学院, 太原 030006

摘要: 用“生态位”概念刻画工程生态的内部结构及其与外部环境之间的关系, 是工程生态论的内在要求。工程行业生态状况和工程企业生态角色是理解工程生态位的两个层面属性, 它们内涵着工程生态系统的生存力、发展力和竞争力。工程生态位的实际运行表现出构成因素的多维性、结构关系的多层次性以及功能发挥的多面向性。类比物种的生态位分类, 可以将工程生态位分为构成性工程生态位、关系性工程生态位和外部性工程生态位三类。在工程生态系统演化过程中, 工程生态位不断变移, 主要表现为构建工程行业新生态的“占位”、扩大工程行业规模的“升位”和开拓工程行业新领域的“跨位”。针对工程生态位的战略管理, 对于区域工程集群转型而言, 就是要激励带来微观增量的渐进性创新; 对新兴工程行业及其企业创业而言, 则是要保护可能招致失败的颠覆性创新。

关键词: 工程生态位; 行业生态状况; 企业生态角色; 工程生态位变移

中图分类号: N91

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2025)01-0019-13

引言

“生态位”概念, 萌芽于生物学的进化论, 成熟于生物学的生态学, 又以“生态位建构”理论见于当代进化论。早在1859年, 达尔文(Charles Robert Darwin)就说: “只有当现存生物的变变更适合一个地区自然生态体系的一些位置时, 自然选择才能发生作用, 而这些位置的出现, 有赖于自然条件的缓慢变化和阻止更适应的生物从外界的迁入。当旧物种变化

后, 它们与其他生物间的关系就被打乱, 新的位置就将出现, 以待更适应的类型去占领。”^[1]这里的“位置”表述的就是“生态位”, 随着生物区系变化而变化。20世纪初, 在生态学意义上, 格林内尔(Joseph Grinnell)用“生态位”界定动物在一定地点栖息和繁殖的物理环境条件集合^[2], 埃尔顿(Charles Sutherland Elton)用“生态位”概念强调各种生物在一个群落中的功能角色和生态关系^[3]。1957年, 哈钦森(George Evelyn Hutchinson)沿着格林内

收稿日期: 2024-11-24; **修回日期:** 2024-12-27

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目“工程生态论的理论体系和实践研究”(2024-XZ-69)

作者简介: 李三虎(1964—), 男, 博士, 教授, 研究方向为马克思主义理论、科技和工程哲学。E-mail: sh.li@foxmail.com

引用格式: 李三虎. 工程生态位: 概念、特征、类型和变移[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2025, 17(1): 19-31. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240142. CSTR: 32282.14.JES.20240142

Li S H. Engineering Niche: Conception, Characteristics, Typology, and Shift[J]. Journal of Engineering Studies, 2025, 17(1): 19-31. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240142. CSTR:32282.14.JES.20240142

尔的路线, 认为“生态位”是生物物种生存和自我迭代的一种 N 维超体积(如温度、湿度、酸碱度、食物、营养、水、土壤、空气等)^[4]。这是融合生理特性和栖居特点的基础生态位, 包括竞争、掠食等生物之间的互动关系。

21世纪之交, 奥德林-斯米(F. John Odling-Smee)等人, 把生态学的“生态位”概念引入生物学的进化论, 提出“生态位建构”理论^[5]。按照基因-物种-环境模型, 生态位建构理论强调物种对其环境的积极塑造。辛哈(Chris Sinha)把这种行为结果称为“准人工物”^[6]。雄性园丁鸟利用引人注目的花朵、贝壳和树叶等, 构筑、装点和精造类似凉棚的鸟巢, 吸引同类雌性鸟同居, 实现性的自然选择。河狸使用树枝筑坝, 通过协同合作, 防御其他捕食者对自己栖居地的侵害, 增强食物的可获得性。这两个例子表明, 在物种的全部技能中, 存在着各种适合建构准人工物的特殊能动行为。反过来, 这些行为为开拓物种的“生态位”提供了支持。

无论是描述性生态位研究在生态学领域的应用, 还是生态位建构理论在进化论中的阐述, 都旨在解析物种在时空维度上如何适应并选择自然环境, 界定物种在生存竞争中最为适宜的栖息地或小生境。相较于其他物种, 人类作为生物圈中的顶级存在, 之所以能取得创造历史与世界的卓越成就, 根本上得益于其改造环境的卓越工程能力。自现代智人出现以来, 人类不仅强化了对动物的半人工化培育, 还创造了一系列功能各异的人工物, 这些人工物具有相对于自然物的独立性。正是这些独立的人工物持续地塑造并改变着人类的日常生活^[7]。人工物富集着各种资源, 包括新旧实践、经验和知识积累等, 生成着人类生活所依赖的“人工物生态”^[8]。虽然人类活动无法完全脱离人类-自然关系框架, 但工程生态位却日益展现出其相对独立性。特别是在现代社会, 城市社区、车站、通信设施、电厂、光伏电站、大坝、桥梁等, 都是支撑人类生存与发展的关键生态位。除了客观存在的物理世界、人类的主观意识世界以及精神产品世界之外, 还存在一个由工程活动创造出来的人造物质世界^[9], 包括建筑物、道路、桥梁、发电设施、计算机、互联网等众多元素。本文并非旨在探讨人类如何创造自身

生存与发展的物质环境, 而是将人类工程活动本身视为一个生态系统, 并借用“生态位”这一概念来深入剖析工程生态的内部结构及其与外部环境的相互关系。具体而言, 本文将围绕工程生态位的概念、特征、分类, 以及工程生态位的变移情况这四个核心问题展开探讨, 以期能够更全面地理解工程生态位的本质和内涵, 为工程活动的可持续发展提供有力支撑。

1 工程的生态位概念

“生态位”英文一词“niche”来自法语“nichier”, 意为“筑巢”, 在生态学和进化论中描述的是一个物种如何在栖息地生活, 怎样与栖息地互动。在中文中, 除译为“生态位”外, 还有“小生境”“栖域”“龕”“区位”等译法。“龕”是宗教概念(供奉神佛的石室或小阁子), “区位”是地理概念, 均是指具体位置或空间。“小生境”“栖域”, 也许更能表达“生态位”概念的生态学含义, 它表达了物种生活的时空范围, 也表明了物种生存依赖的资源集合。

“生态位”在生态学中已为人们广泛接受, 正在逐步从生物学扩大到非生物学, 包括经济学、管理学, 特别是产业经济学和技术经济学等领域。对于产业经济学来说, 产业生态位通常指的是那些特定、可能不受普遍重视的产业及其产品在市场中的位置和所发挥的功能^[10]。对技术经济学而言, 强调技术生态位是一项发明带来技术变革的关系背景^[11]; 还有学者主张技术生态位就是“嵌入技术系统(如生物技术)的技术要素(如基因技术)的关系背景”^[12]。这些来自经济学、管理学等学科关于产业生态位、技术生态位的见解, 以及关于企业生态位的丰富论述, 为我们将“生态位”概念引入工程生态研究提供了启示。对于工程生态而言, 应更加注重从工程所处的行业层面和企业层面两个维度来深入理解“工程生态位”的内涵。

1.1 行业层面的工程生态位概念

对于人类而言, 工程毕竟是一种有组织的社会活动, 表现为行业和企业两个层面。行业在经济学中是指产业, 在管理学中是指部门。就行业分类而言, 经

济学的产业分类是产品和服务分类,管理学的部门分类除产品和服务分类外,还包括组织机构,其中的经济组织,自然包括企业。从工程角度来看,中观层面的物质生产行业是由微观层面的大量企业共同运作构成的。一个企业依其提供的产品或服务,可以归口到某个行业。因此,讨论工程的生态位问题,应在中观和微观两个层面,分别关注“行业”的工程生态位和“企业”的工程生态位。

工程行业,主要包括八个大门类,即机械与运载工程,信息与电子工程,化工、冶金与材料工程,能源与矿业工程,土木、水利与建筑工程,环境与轻纺工程,农业学,医药卫生学等^①。任何工程行业,都是从提供物质产品或人工物开始的,与此相关的工程活动包括设计、建造(或制造、生产)、配送和维修等。例如,中国化工行业拥有数十万家企业,涵盖了从石化、煤化工、盐(矿)化工到生物化工等多个领域。这些企业的生产活动,从原材料供应到化工产品的生产、存储、运送和投递,形成了复杂的全国乃至全球供应链和产业链。一个行业的工程生态位,是该行业在整个工程系统乃至社会中占据的位置或发挥的作用,它与其他行业的工程生态位的不同是它提供了与其他行业不同的产品或服务,由此将该行业与其他行业区分开来。例如,化工行业提供的是大量化工产品,建筑行业提供的是居民住所和商业地产,水利行业提供的是防洪、农业灌溉、通航和水电,等等。

在一个国家或地区,一个行业及其强关联的行业集聚形成的“产品形态、市场效益、技术水平、物流机制、资产规模以及产业链条”^{[13]108},映射出该行业适应与利用环境的生态特征,共同构成了该行业的工程生态位。以高铁行业为例,其工程生态位涵盖市场规模、进入区域、企业数量及资源占有量等多个维度。任何一个行业的工程生态位,在空间关系上表现为生产规模、产品特色与数量、价格定位、市场细分等方面。其内涵则涉及战略互动、知识流动、信息交换和文化共享;在行业关联上,这种生态位通过专业分工、技术优势和功能互补形成复杂的生态关系,具

^① 按照中国工程院九个学部分类列出,工程管理学部不在此列。

体表现为供应链上下游企业间的共生协作,以及生态位高度重叠企业间的激烈竞争。

1.2 企业层面的工程生态位概念

与行业的工程生态位相关联,我们可以将企业的工程生态位视为其在行业中生存与发展的角色或地位,实质上反映了企业在所属行业生态中“所占有的多维空间资源”状况^[14]。这种多维资源占有涵盖了行业位置、物质原料与能源、人力资源、技术或工艺流程、资本或资金、市场规模,以及制度许可、政策扶持、公众支持等环境资源。企业的工程生态位,以包容性的适应度,实现了对稀缺资源、制度环境、产品功能等多种要素的整合与集聚。例如,在制药行业中,药品专利常被视作生态位层面的核心资源,制药企业更是将药品专利视为生存与发展的命脉,因此,药品专利的竞争成为了制药企业构建工程生态位的典型特征。

从行业、企业两个层面理解工程生态位,我们可以看到,所谓工程生态位包括三方面含义:一是工程行业生态状况属性的生存力;二是工程行业生态状况属性和工程企业生态角色(位置或地位)属性的发展力;三是工程企业生态角色属性的竞争力。工程生态位概念是描述性的,用来辨识工程行业、相关企业的功能和性质;也是动态性的,用来解释曾经有的、正在或将要进行的工程项目选择、推进和建设以及工程行业演化和发展的整体情况。企业层面的工程生态位是微观的工程生态位,行业层面的工程生态位是中观层面的工程生态位。前者是后者的组成部分,后者是前者的生态依托,两者共同构成宏观的工程生态位。后文将通过工程生态位特征的深入探讨,进一步深化对这一概念的理解。

2 工程生态位的特征

在现实的工程实践中,工程生态位的运行实质上是一个价值实现的过程,它依赖于工程行业及其企业内部外部关系的协同演化,以实现工程产品在市场空

间中的绩效提升。作为行业生态状况与企业生态角色的社会运行体现, 工程生态位具有三个显著特征: 构成因素的多维性、结构关系的多层次性, 以及功能发挥的多面向性。

2.1 工程生态位构成因素的多维性

从理论上讲, 影响工程生态位的因素很多, 工程生态位维数是多维的。正如把物种的生态位的有效维数减少到地点、食物和活动一样, 也可以把工程生态位的维数缩减为空间、资源和市场三维要素。

在空间维度上, 一个国家或地区的独特工程生态位, 鲜明地展现了其不同区域特有的工程行业及其企业间的共生状态。这种共生状态涵盖局部生态位与区域生态位两大范畴。局部工程生态位聚焦于特定地点, 旨在实现特定工程目标的项目、研究、任务、使命以及构建的社会网络组织等; 而区域工程生态位则体现为拥有共同知识、规范与标准的区域工程行业或企业网络。后者作为桥梁, 联结局部生态位与全球生态位, 依托企业的自主决策能力和区域的认知学习能力, 驱动工程生态位的持续演进与提升, 助力实现战略愿景, 进而在全球工程共同体中占据优势地位。在此过程中, 多种区域因素, 诸如公共机构、研发中心、大学、非政府组织及企业组织等, 构成了工程生态位的核心构成部分。它们共同参与学习进程, 共同勾勒区域发展愿景, 从而织就一张紧密的区域工程生态共生网络。

工程生态位的资源维度涵盖了原材料、技术、资金、人力及信息等诸多方面。这些资源要素与其空间维度之间存在着紧密的关联。行业的工程生态位形成是一个集群演化的过程。在此过程中, 资源规模逐渐扩大, 行业内部在纵向上呈现出日益精细的专业分工, 而在横向上, 竞合关系不断加剧, 促使企业之间以及企业与外部环境之间的互动变得更为频繁。由此, 工程生态位逐渐形成一种资源配置的空间结构。以石化行业为例, 石油和天然气的开采活动自然集中在资源富集的地区进行, 而石油、天然气的精细化工生产则主要布局在资金充裕、市场密集的城市或城郊地带。通过石油化工产品的配送网络, 整个石油化工生态位形成了一个完整有序的空间布局。

工程生态位的市场维度, 包括产品供给和市场需求和消费。产品是一个行业或企业生产或提供的物质产品或服务, 这是满足市场需求的基础; 市场是一个行业或企业所处的用户环境, 包括市场需求、消费者偏好和购买力等, 这直接影响产品或服务的销售和市场占有率。

工程生态位究竟呈现为怎样的空间布局, 取决于“基于人力资源生态位、资金生态位、市场生态位、技术生态位和信息生态位等相互影响、作用的基础上形成的组织形态”^{[13]109}。这种组织形态能够确保工程行业内部企业的灵活性和自主性, 发挥工程行业的集群优势和总体效应。工程生态位以空间生态位、资源生态位和市场生态位为纽带和载体, 空间生态位、资源生态位和市场生态位的有效组织和互为促进是实现工程生态位功能和价值的重要方式。

2.2 工程生态位结构关系的多层次性

工程生态系统体现在工程行业间、同一行业内部以及企业内部等多个层次上, 相应地, 工程生态位在结构上同样呈现出多层次性, 因此, 工程生态位之间的结构关系也必然是多层次的。

第一, 不同工程行业生态位类型结构关系是多层次的。诸如机械工程、化学工程、电力工程、交通工程以及信息通信工程等, 均属于规模较大的工程行业范畴, 它们的工程生态位在整个结构关系上呈现出明显的多层次性。举例来说, 当前任何工程行业均离不开电力工程所提供的电力支持; 交通工程与信息通信工程则为其他工程行业的物流和信息流通提供了极大的便利; 而机械工程与化学工程则为其他工程行业供应所需的设备与材料, 等等。物流、能量流、信息流构成了不同工程行业生态位的重要支撑体系。试想, 一旦这些流动出现中断或停滞, 这个世界将会陷入怎样的困境? 恐怕任何工程生态位都将难以为继, 停止运转。

第二, 同一工程行业的工程生态位结构关系是多层次的。就交通工程领域而言, 涵盖了公路工程、铁路工程以及航空运输工程等多个方面。在客运市场上, 这些工程领域存在一定的生态位竞争关系; 然而, 在货运市场方面, 它们在很大程度上则难以相互

替代。通过合理的分工,这些交通工程领域可以实现协同共生。

第三,企业生态位结构关系也是多层次的。一个企业为了构建自己的工程生态位,一开始主要通过自身的组织能力,调动各种资源进行创业。一旦通过项目的完成并以其成功的建造或生产赢得市场并被制度化(包括产品认证、标准化、便利的售后服务等)后,潜在的竞争关系就会被激活,进入扩散性竞争过程。例如,中国高铁的发展起初是在原有铁路基础上的提速,进而推动了动车组、轨道的自主设计与制造,并逐步实现了标准化。随着技术、资金等资源要素密度提高,工程生态位得以确立。这时,中国高铁企业开始进入扩散性竞争,目前日本、德国、法国、加拿大、中国、韩国、美国等的企业,不仅在轨道和车辆领域展开激烈竞争,还纷纷涉足船舶、航天、燃气轮机、发动机、精密机械等多个领域,展开了跨行业的资源争夺战^{[14]87}。

2.3 工程生态位功能发挥的多面向性

工程生态位,资源上是多维的,在结构上是复杂的,在功能上是多样的。工程生态位是工程行业及其企业与其外部环境互动的结果,一个工程行业及其企业要保持竞争优势,必须要面对外部环境压力,确保工程生态位的功能地位和作用发挥。工程生态位的这种功能地位和作用,表现为增强和提升生产能力、关键核心技术能力、战略管理能力、层级管理能力、营销管理能力以及学习创新能力等。现代工程的内在结构及其与外部环境的关系复杂多样、相互交错,提升工程生态位的价值能力和角色水平是借助物质流、能量流、信息流进行的,因此工程生态位的功能提升和作用发挥具有多面向性。

第一,工程生态位内部的结构优化面向。工程生态位是一种由各种行业生态位、企业生态位构成的分层组织网络结构,它根植于“企业网络、生产网络、知识网络、社会网络和空间网络构成的关系结构”^{[13]109}。工程生态位结构在行业层面之间、企业层面之间互为交叉、相互影响,形成一个纵横交错、错落有致的层状关系网络,发生着物质、能量、信息的持续流动。由于各层面间物质、能量和信息交换,

工程生态位往往会突破单一层面的条件约束,通过各个层面之间的广泛互动和频繁交流,内部结构得以优化,整体价值得以提升。

第二,工程生态位外部的环境共生面向。提升工程生态位的价值能力,不仅要维系和优化有序稳定的内部结构,而且还要不断改善内部结构与外部环境的共生关系。这种关系不是线性的、静态的,物质、能量、信息的输入和输出也不是确定的关系,而是内部结构与外部环境之间的双向互动关系。任何行业的工程生态位和企业的工程生态位,都要以特定的外部环境条件为依托,以良好的内部运作机制将外部环境条件吸收、内化为自身生存、发展乃至竞争的力量。在不确定环境中,多样化的复杂外部关系为企业提供了灵活性。面对宏观环境,工程生态位必须要增强其适用度。在行业与行业之间、企业与企业之间,工程生态位总是存在着一定的重叠度,如获得投资、占有市场等。任何一个行业或企业要取得战略性竞争优势,就必须针对工程生态位重叠度,提升自身的工程生态位韧性和安全水平。例如,“鲸鱼型企业”由于在特定行业内拥有显著的规模和影响力,一般选择与外部环境的共生发展战略;“鲨鱼型企业”以敏锐的市场洞察力和强大的竞争力为特点,需要兼顾与外部环境的共生发展和灵活运用市场生态位细分两个方面;“螃蟹型企业”因其内部利益冲突不断导致整体效率低下,一般需要以优化内部生态为引领,引入有效的外部环境条件为补充,做好市场生态位细分。企业越能有效吸引利益相关者和输入资源,其工程生态位便越具韧性。多样性意味着选择,缺乏多样性选择,工程生态位的韧性便难以形成,只能被局限在静态平衡之中。

第三,工程生态位的资源优势互补面向。企业的工程生态位,一般由资金生态位、技术生态位、产品生态位、人力资源生态位、信息生态位等构成,它们之间存在着相互依存、相互制约的生态关系。在工程生态位中,资源扮演的功能角色被称为“位能”。单一资源维度的位能是有条件的,当内部结构调整和外部环境变动时,这种位能会出现退化,发生“偏位”“位移”,甚至导致工程生态位整体“位能”衰退,或被“排位”,或被“占位”。企业要为工程生态位提供

特定环境, 推动各种资源维度协同演进与共生发展。只有不断创造条件, 促进主要资源维度之间形成优势、功能互补的作用机制, 才能提高工程生态位的整体位能或竞争优势。

第四, 工程生态位的态势扩充面向。在生态学中, 物种的生态位取决于如下两个情况: 一是物种自身的新陈代谢状况, 这就是“态”; 二是物种与环境的物质、能量、信息交换状况, 这就是“势”。工程生态位的“态”是其孕育形成、适应外部环境不断积累的结果, 工程生态位的“势”是其内部竞争、交流沟通、资源流动和协同创新对外部环境的影响力和作用力。通过“扩态增势”, 优化工程生态空间, 提高工程选择和利用外部条件的能力, 促进工程行业内部企业资源的良性发展及其与外部环境的协同共生。

3 工程生态位的类型

对工程生态位进行分类, 确实难以确立一个统一的标准。不过, 既然是以生态学或进化论的生态位为隐喻来讨论工程生态位, 那就可以类比生态学或进化论的生态位分类, 使工程生态位类型化。传统的自然选择进化论认为, 生物进化是对环境带来的选择压力的适应性反应。这是一种标准的外部论观点, 它将环境视为外部力量, 可以把这称为外部压力。但是, 当代进化论表明, 生物物种并非总是被动地接受环境挑战, 而是具有相对的能动性, 较为积极地影响甚至改变周围环境。物种的生态位, 实际上是物种与环境相互作用的结果: 物种若不迁徙, 就必然需要改变自身习性或调整与环境的关系。据此, 物种的生态位可被划分为构成性生态位、关系性生态位和外部性生态位三种类型^[15]。类比物种的生态位分类, 可以把工程生态位分为构成性工程生态位、关系性工程生态位、外部性工程生态位三种类型。

3.1 构成性工程生态位

构成性生态位, 是生物物种经历很长时间的进化选择的结果。这来自两个相反而又同时发生作用的力量组合, 就是随机的替代方案选择(实现多样性)和

特定变异选择导致的物种减少(淘汰)。蜜蜂能感知紫外线, 因此对花朵拥有独特的视觉体验; 而狗能嗅出数小时前鹿留下的微弱气味, 这种能力在人类身上却荡然无存。动物界的这些特性, 唯有经过长时间的进化历程, 方能得以保留。进化论中的这一核心原则, 可概括为“盲目变异中的选择性保留”^[16]。这一概括包含变异、选择和保留三个机制, 它们之间的相互作用, 为我们分析构成性工程生态位提供了框架。

工程生态位的演化是一种普遍现象, 同时也伴随着一定的“随机性”。其演化方向由选择过程所决定, 该过程筛选出有利的变异, 使工程生态位能够适应市场和制度环境的变化。这是一个积累知识的学习过程, 也是一个产生新知识新产品的创造过程。选择和变异的结果, 作为工程生态位资源保留下来。例如, 美国道格拉斯公司研发的DC-3飞机, 其金属外壳、低翼设计以及活塞动力系统构造, 奠定了后续飞机架构的基础。同样地, 无线电通信系统的最初设计, 仅用于收发调频无线电波信号, 对于调频范围外的电磁信号, 如调幅无线电信号、手机信号等, 则不予接收。无论是电子发射装置(如电台), 还是电子接受装置(如收音机), 均由天线、电路板、扬声器、电源等主要部件构成。这一结构, 在通信领域保留至今。工程生态位通过不同企业在市场上推出的产品、工艺等, 展现出通用规则和默会知识等基因序列。其中, 那些可共享的、可复制的通用规则, 构成了工程生态位稳定演化的基石。

在通用规则的框架下, 企业会对工程生态位进行小幅度的改进或调整, 以有效应对竞争压力。对于生物物种的构成性生态位而言, 它们会主动调整自身特征来适应环境的变化。例如, 狮子在成长和成熟的过程中, 其体型、体力及协调能力会显著增强, 进而拓展其捕猎空间。动物通过夏眠或冬眠的方式, 减少新陈代谢活动并长时间休息, 以此保存能量, 这是对气候变化和食物短缺的自我适应策略。同样, 植物在干旱条件下, 躯干可能会下垂, 叶子在白天高温蒸腾时会蜷缩, 夜间蒸腾减弱后又恢复展开。这些变化都是植物对环境作出的自我调节。与生物界物种通过自身特征改变来适应环境相似, 一个行业或企业也会对其

工程生态位进行微调。它们会在现有资源的基础上,通过一系列微观变异或模仿,不断积累新的知识和规则,逐渐获得竞争优势。仍以无线电通信行业为例,虽然无线电通信系统本身并不能在广泛的频率范围内收发信号,天线的大小和形状限制了可能的收发频率范围,电子收发设备只能在较窄的频率空间内工作。而声学设备的体积和性能,如扬声器形状、放大器性质等,则决定了声音的可能范围和特征,包括音量、音高、音质等。因此,无线电企业通过调整天线大小、改进电路板设计,提升了收发无线电信号并将其转换为声音的能力,从而拓展或提升了自身的工程生态位。

构成性工程生态位,主要停留在微观改变上。历史学家巴萨拉(George Basalla)指出:“一旦我们去积极地探索连续性,就可以清晰地看到,每样新奇的人工物都成为引信。这种说法适合于最简单的石制工具,适合于类似轧棉机和蒸汽机这样的复杂机器;它适用于依赖科学研究和理论的各种发明,如电动机和晶体管等。”^[17]通过选择,启用可获得的资源选项,可以在特定应用或生态位上,催生出工程新产品。微观变异的长期积累,最终可能导致主流工程生态系统转换。推动细节设计优化、市场靶向定位,让不同变异共生共存,就能形成独特的工程生态位演化模式。一旦“窗口时机”到来,就能实现生态位变移。如今的无线电通信系统,其电子设备已从收音机、电视、电脑逐步发展到互联网、移动电话等,传输信号也从单一的声音转变为集声音、文字、图像等为一体化的数据打包传输,其生态位在此过程中不断被重塑,持续实现转型升级。

3.2 关系性工程生态位

微观变异并不限于构成性工程生态位演化,也出现在关系性工程生态位变化中。在生态学中,关系性生态位涉及的是同种生物之间或与其他生物和非生物环境因素之间的互动关系。这些关系可以在不改变生物构成特征和物理环境的情况下发生改变,形成生态位分化。对于工程生态位而言,以微观变异形成的改进后产品投放市场,可能不受现有工程规则约束。当其市场运营带来极端不同的选择压力时,这种变异的

适应过程,会以新的不同方向出现,发生工程生态位分化。这种工程生态位分化,分为早期和后期两个步骤。

早期,工程生态位的微观变异可能会占据一定的市场份额,进而形成新的实际工程生态位。在生态学领域,群居生物物种通过其内部关系的调整来确立各自的生态位。例如,老鼠扎堆取暖,尽管并未直接提升巢穴的整体温度,但彼此身体靠近能有效减少热损失;当巢穴空间不足时,部分老鼠会另辟蹊径,构筑新的巢穴,从而实现生态位的分化。类似地,在工程演化过程中,微观变异同样能引发这种分化现象。当一个新兴工程领域或新业态依据不同的选择标准形成时,尽管在市场规模上的直接影响可能有限,但这些不同的选择标准却足以触发工程生态位的分化。关键在于,这种分化伴随着工程生态位在技术层面上的分离。因此,工程生态位的分化会催生出一系列新的实际工程生态位。例如,就像改变同种生物间的关系或生物与外部环境的关系一样,将收音机功能嵌入手机并接入网络,使其能更便捷地从信号源接收信息,从而吸引并拓展了收音机用户的范围。

进入后期阶段,新的实际工程生态位应运而生,并迅速与原有的工程生态位形成了竞争态势。在生态学的视角中,生物物种通过调整自身与外部环境的时空关联,来确立其独特的生态位。有些被捕食动物倾向于靠近捕食者栖息,以便随时掌握捕食者的动向,从而规避被捕食的命运。动物的迁徙行为、栖息地的选择,以及对食物、配偶、巢穴或其他资源的重新布局,均是它们为应对种内及种间竞争压力而作出的选择。在工程生态位的分化进程中,新兴业态与产品的市场份额逐渐攀升,赢得了更多的支持与资源积累,进而引发了工程生态位的拥挤效应,行业内部竞争由此显现。然而,这种竞争并不一定会激化,新兴的工程领域与业态同样有可能在原有的工程领域中蓬勃发展,与长期稳定运行的传统工程生态位实现共生共存。以高铁为例,相较于传统铁路,高铁无疑是一个新兴的工程领域。尽管两者间存在竞争关系,但通过合理的分工机制,它们依然能够实现共生共存。在客运领域,高铁所带来的工程生态位提升,用“一马当先”“万马奔腾”来形容也毫不为过。

3.3 外部性工程生态位

无论构成性工程生态位, 还是关系性工程生态位, 涉及的都是微观变异。为了适应外部环境巨大变化的冲击, 外部性工程生态位往往会发生宏观变异, 甚至是颠覆性变化。在生态学中, 新物种涌现并不一定全部源于微观变异, 也可能来自宏观变异。所谓外部性生态位建构, 即指通过改变环境来塑造生态位, 一个典型的例证便是引言中提到的河狸筑坝行为。河狸坝的构筑改变了池塘的生态环境, 进而对河狸种群产生了选择压力, 促使它们演化出了防水保暖的毛皮、适应游泳的蹼脚以及浆状尾巴等与水环境紧密相关的生物特性。类似地, 工程生态位也会发生不连续的宏观变异。以汽车行业为例, 内燃机长期占据主导地位, 其背后的用户偏好、厂商技术能力、商业模式、生产技术以及法规和制度支持, 共同构建了内燃机汽车的工程生态位。然而, 随着环境保护法规的不断完善和化石燃料资源稀缺性问题的日益突出, 新能源汽车行业迎来了蓬勃发展。特别是自20世纪90年代起出现的全电动汽车, 已逐步培育起包括高续航里程、充电桩等在内的全新工程生态位, 成为汽车行业内部与内燃机动力截然不同的宏观变异。微观变异主要表现为渐进性变化, 宏观变异则是颠覆性的创新驱动发展。

宏观变异缺乏明确的亲代血缘关系, 它代表着对以往规则的工程突破。莫凯尔 (Joel Mokyr) 把这种突破称为“充满希望的怪物”^[18]。之所以说宏观变异是“充满希望”的, 是因为它预示着未来的新技术新动能; 之所以说它是“可怕的怪物”, 是因为宏观变异早期的绩效表现不尽人意。面对各种环境压力、竞争压力, 新的工程生态位可能会存在技术失灵、市场失灵、社会失灵等。尤其是当选择压力巨大, 没有明确细分市场时, 任何力量都无法保证宏观变异会取得成功。宏观变异开始不过是在企业的土壤中播下的新技术种子, 种子进入的环境决定着它是否能发芽长大。宏观变异是低概率事件, 多数时候会不敌更为高效的现有系统, 淹没在各种替代方案或既得利益中。要么陷入“死亡之谷”, 要么变成“沙漠之狐”。

相对于微观变异的“渐变期”, 宏观变异的“孕

育期”则是由间断均衡引发的不连续变化所触发的, 这一过程中需历经诸多改进以应对复杂的对抗性竞争。此阶段实则是工程生态位的培育过程, 旨在促进宏观变异, 提升其经济、社会、文化和政治要素的密度。环境既施加选择压力, 亦孕育发展机遇。为了从宏观变异中催生工程新业态与新产品, 需借助创新、营销、宣传及说服等手段, 促使外部环境发生变动。通过一系列微观变异, 为宏观变异的深入发展创造出哪怕是极为短暂的“窗口机会”。一旦把握住这一机会, 积极争取资源配置并赢得社会的广泛支持, 宏观变异便能借助间断平衡的力量持续发展, 直至工程新业态与新产品脱颖而出, 将“充满希望的怪物”转变为“真实而美丽的白天鹅”。

4 工程生态位的变移

正如物种进化一样, 任何工程行业或企业, 都遵循从初创期、成长期到优化期、衰退期的生命演化过程。工程生态位是伴随工程行业或企业的生成发展而逐步演化的, 其生命演化是一个动态复杂的历史过程。工程行业或企业生命机体的发育, 促进了工程生态位的不断优化, 塑造了工程生态位的不断变移。但是, 工程生态位并不是被动形成的, 任何工程行业或企业为保持自身的生命机体的生态活度, 运用自身“拥有的人力、技术、产品、资金、经营与管理等核心资源优势, 通过主动与外部相关资源、不同生态位的行业或企业互联互通、交互作用, 进而找准、建立和优化对自身竞争有利的生态位”^[19]¹⁸。由于内部资源和外部环境原因, 这一过程会表现出不同的工程生态位变移。这主要表现为构建工程行业新生态的“占位”、扩大工程行业规模的“升位”和开拓工程行业新领域的“跨位”三个方面。

4.1 构建工程行业新生态的“占位”

在投资学中, “黑天鹅”“灰犀牛”被用来指代两类风险。前者是指超出认知的难以预料的事件, 罕见但往往能引发颠覆性后果^[20]; 后者是指人们习以为常的风险, 但是一旦爆发, 会带来极大的破坏力^[21]。“黑天鹅”事件的典型案例是2001年“9·11”事件、

2021年新冠病毒感染，“灰犀牛”事件的典型案例有2008年金融危机、2016年美国对中国发起的贸易战与科技争端。这两类事件均构成了企业所面临的巨大外部环境变化。

面对外部环境的巨大变化，企业需要构建行业新生态，“通过整合外部资源与内部核心能力，创建全新的、兼顾各方利益的新生态体系，进而在推动行业变革发展过程中，使自己的生态位长期处于优势地位”^{[19]18}。这在企业管理中叫“创位”，这里我们把它称为“占位”。运用行业或企业内部优势资源，有效引入外部资源，占据有利的行业生态位。如果把普通的企业比喻成“丑小鸭”，把优质的企业比喻成“白天鹅”，把拥有颠覆性商业模式或独特核心技术的企业比喻为“独角兽”，那么，我们会看到这三类企业有着不同的工程生态位。其中，独角兽企业，往往通过占位，构建行业新生态。企业如果不做普通的“丑小鸭”，不止步于优质的“白天鹅”，而是致力于做持续的“独角兽”，那就要有构建新生态的“占位”格局。

华为成功研发了鸿蒙OS系统，该系统为操作系统行业构建了全新的生态格局。2012年，基于自主创新和安全的考量，华为在芬兰赫尔辛基成立了智能手机研发中心，并开始招募包括手机操作系统架构师在内的技术型人才，着手研发自有操作系统。最终，华为推出了适用于物联网嵌入式设备的LiteOS系统。2019年，美国将华为列入“实体清单”，禁止向其出口任何产品。因此，谷歌暂停了对华为的硬件、软件和技术服务转让。面对外部环境的压力，华为在LiteOS的基础上，加速了自主操作系统的研发进程。2019年8月9日，华为正式发布了鸿蒙OS系统，该系统不仅应用于智能手机，还广泛应用于华为智慧屏、华为手表等产品。2023年8月4日，鸿蒙4.0版本正式发布，为车机系统提供了强大的智能互联能力，并展示了鸿蒙OS在多屏跨设备投屏等领域的突破性进展。通过一系列的发展策略调整，华为鸿蒙已成为与iOS和Android并列的操作系统，并逐渐从专为物联网设备设计的系统，发展成为支持全场景智慧生态的全平台操作系统，其工程生态地位日益凸显。鸿蒙系统通过促进内外资源的互通互动，推动了行业

供应链和价值链的提升，解决了华为乃至整个操作系统领域的技术短板问题。

4.2 扩大工程行业规模的“升位”

雁是大型游禽，善于飞行，春到北方，秋到南方，不惧远行，故称征雁。这绝不是孤雁飞行，而是采取特定的队形——雁阵（如人字形、一字形）的群雁飞行，在生态学上形成了一种奇特的雁群结构——头雁带领群雁飞行。头雁飞行时，它扇动翅膀会在身后形成低气压区，后面的雁群利用这个低气压区，减少空气阻力，节省体能。这种雁群结构，可以通过飞行确定谁具有领飞地位，确保雁群更有效地利用资源，提高生存和繁殖的成功率。

从行业供应链看，领军企业或“链主”企业，往往能够产生“头雁效应”。所谓供应链，是指“链主”企业“通过对信息流、物流、资金流的控制，将供应商、制造商、分销商、零售商、最终用户连成一个整体的功能网链结构模式”^[22]。一个企业，要在行业供应链中取得领军地位，发挥头雁效应，必须进行做大行业规模的“升位”，也即“在现有行业中从规模较小的产品品类向规模较大的产品品类升级，达到占有更大市场、获得更大规模、找到更高生态位”^{[19]19}。

比亚迪新能源汽车，堪称一个典范。自1995年创立之初，它便着手生产二次充电电池，并于1998年毅然转型至新能源汽车领域，2000年更是推出了全球首款纯电动乘用车——比亚迪e6。2009年起，新能源汽车的发展动力，逐渐由地方政府的支持转变为国家政策的强力扶持。2010年，比亚迪启动了全球化战略，2015年更是推出了全新的“次世代品牌形象”，以更年轻、前卫的姿态与消费者建立联系，在全球范围内积极拓展市场、推广品牌，实现了品牌的“升位”。2023年，比亚迪全年累计销售新能源汽车达302.4万辆，成为中国汽车工业70年历程中首个跻身全球汽车品牌榜前十的自主品牌；而2024年1月至7月，比亚迪已累计销售新能源汽车194.7万辆，其中海外市场销量超过23.3万辆，接近2023年全年海外销量总和。比亚迪凭借持续的技术革新与市场拓展，已成为全球新能源汽车领域的领航者，不仅推动

了新能源汽车行业供应链上下游的协同发展,还构建了集研发、生产、销售于一体的完整产业链,为中国新能源汽车行业的整体竞争优势形成发挥了“头雁效应”。

在推动工程生态升位时,对所升品类行业规模发展趋势,要有清醒的分析判断;设计升位发展,要主动与外部环境形成共生关系,为占据竞争优势找准和优化工程生态位;方向、道路一旦确定,要确保落地,持续增长,升位发展,实现新的跨越。

4.3 开拓工程行业新领域的“跨位”

在工程行业或企业演化过程,特别是在区域工程集群转型过程,有退潮行业和企业退出,也有潮头行业和企业兴起。其中的工程生态位变移,有避免正面竞争的“降位”,有填补小众市场的“补位”,也有借势塑造品牌的“顺位”,还有占领标准高地的“上位”,更有开拓新领域的“跨位”。所谓“跨位”,是指“企业打破现有模式和固有思维,通过抓住新的市场机遇,充分发挥自身的专业核心竞争力,从现有领域进军新领域,实现从单一生态位到多元生态位的跨越”^{[19]20}。

自2021年起,我国开始重点扶持国家级专精特新“小巨人”企业的高质量发展,截至2024年5月31日,专精特新中小企业数量已达13.2万家,其中专精特新“小巨人”企业增至1.3万家。这些企业不仅注重技术创新,还紧密跟踪市场动态,将技术创新与市场需求紧密结合,以在未来工程行业的新领域中构建竞争优势。尽管专精特新“小巨人”企业规模往往不大,但它们却蕴含着巨大的能量。这得益于它们通过攻克关键技术难关、打破行业壁垒,实现了“跨位”发展,掌握了独特的核心技术,进而不断提升自身的竞争力和市场占有率。

山东济南大陆机电股份有限公司(简称“大陆机电”),是一个成功进行“跨位”的案例。大陆机电于1993年创立,定位于仪器仪表专业领域。从那以后,大陆机电实现了三次“跨位”^[23]:一是从公司创立至2003年,大陆机电依托集成电路与CPU技术,开发出体积小、功能强、功耗低的智能化仪表,并凭借市场上独树一帜的服务理念,赢得了广大客户的赞

誉,跻身首批高新技术企业之列;二是2003—2013年,随着互联网兴起,大陆机电瞄准工业控制计算机,做系统集成,实现了计算机控制系统与现场仪表的屏幕集中显示;三是2013年至今,抓住国家推动制造业高端化、智能化、绿色化的“时代红利”,大陆机电开始做管控一体化系统,对制造全过程进行严格质量监控和自动化升级,跃升为国家级专精特新“小巨人”企业。

大陆机电的三次“跨位”,在供应链产业链关键领域“补短板”“填空白”,在强链补链中不断推进“卡位”入链工程,打磨出纵深行业产业链上下游新领域,打造了对企业和行业的新生态布局。大陆机电作为提供工业自动化控制系统解决方案的“链主”企业,在山东济南高新区,推动了以仪器仪表制造企业为前端、仪器仪表使用单位为中端、仪器仪表测量数据为后端的供应链产业链布局的形成和发展。

无论如何,工程生态位属于战略性工程管理范畴。特别是对于区域工程集群转型、新兴工程行业而言,既要避免因渐进性创新带来的微观增量,而陷于创新保守、动量惯性、路径依赖、技术锁定、稳定性诱捕等困境,又要避免因颠覆性创新带来的生态位失衡,而进入过度竞争、创新陷阱、被竞争对手或捕食者绞杀、无法占领市场等困境。这意味着前者要得到激励,后者要受到保护,这构成了战略性工程生态位管理的重要方向。

5 结论

本文通过引入“生态位”概念,对工程生态的内部结构及其与外部环境之间的关系进行了深入分析,揭示了工程生态位的内涵、特征、类型及变移规律。研究表明,工程生态位是一个多维、多层次、多面向的概念,它反映了工程行业及其企业在复杂环境中的生存力、发展力和竞争力。

首先,工程生态位具有构成因素的多维性,涵盖了空间、资源和市场等多个维度。这些维度相互交织,共同塑造了工程生态位的独特性和复杂性。通过对构成因素的深入剖析,本文揭示了工程生态位形成和发展的内在机制。

其次, 工程生态位在结构上表现出多层次性, 包括不同工程行业间的生态位关系、同一行业内部企业间的生态位关系以及企业内部的生态位结构。这种多层次性使得工程生态位具有高度的灵活性和适应性, 能够应对外部环境的变化和挑战。

再次, 根据生态位建构理论, 本文将工程生态位分为构成性工程生态位、关系性工程生态位和外部性工程生态位三种类型。不同类型的工程生态位具有不同的形成机制和特点, 但它们都体现了工程行业及其企业在特定环境中的适应性和创新性。

最后, 在工程生态位的变移方面, 本文提出了构

建工程行业新生态的“占位”、扩大工程行业规模的“升位”和开拓工程行业新领域的“跨位”三种主要形式。这些变移形式反映了工程行业及其企业在面对外部环境变化时的应对策略和路径选择。通过案例分析, 本文验证了这些变移形式的实践价值和战略意义。

本项研究丰富了工程生态位的理论内涵, 可望为工程行业的可持续发展提供战略指导。未来研究可以进一步探讨工程生态位的动态演化机制、不同行业间的生态位关系以及工程生态位管理策略等问题, 以推动工程生态位理论的深入发展和实践应用。

致谢

本文系中国工程院战略研究与咨询项目“工程生态论的理论体系和实践研究”的阶段性成果之一, 撰写过程从框架到论证受到傅志寰院士、李伯聪教授的悉心指导, 并从课题组讨论中得到启发, 在此谨表诚挚的感谢!

参考文献

- [1] 达尔文. 物种起源[M]. 舒德干, 等, 译. 北京: 北京大学出版社, 2005: 67.
Darwin R C. On the Origin of Species[M]. London: Murray, 1859.
- [2] Grinnell J. The niche-relationships of the California thrasher[J]. The Auk, 1917, 34(4): 427-433.
- [3] Elton C S. Animal Ecology[M]. New York: Macmillan Co., 1927.
- [4] Hutchinson G E. Concluding remarks[J]. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 1957, 22: 415-427.
- [5] Odling-Smee F J, Laland K N, Feldman M W. Niche Construction: The Neglected Process in Evolution[M]. Princeton: Princeton University Press, 2003.
- [6] Sinha C. Language and other artifacts: Socio-cultural dynamics of niche construction[J]. Frontiers in Psychology, 2015, 6: 1601.
- [7] Krippendorff K. The Semantic Turn: A New Foundation for Design[M]. London: Taylor & Francis, 2005.
- [8] Vasiliou C, Ioannou A, Zaphiris P. An artifact ecology in a nutshell: A distributed cognition perspective for collaboration and coordination [M]//Abascal J, Barbosa S, Fetter M, et al, eds. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2015: 55-72.
- [9] 李伯聪. 工程哲学引论: 我造物故我在[M]. 郑州: 大象出版社, 2002: 415.
Li B C. Introduction to Engineering Philosophy: I Created Things, So I Am[M]. Berlin: Springer, 2021.
- [10] 刘志峰. 战略性新兴产业生态位培育模式、机制与策略[J]. 商业经济研究, 2016(14): 166-168.
Liu Z F. Mode, mechanism and strategy of niche cultivation of strategic emerging industries[J]. Journal of Commercial Economics, 2016 (14): 166-168.
- [11] Podolny J M, Stuart T E. A role-based ecology of technological change[J]. American Journal of Sociology, 1995, 100(5): 1224-1260.
- [12] van den Oord A, van Witteloostuijn A. The population ecology of technology: An empirical study of US biotechnology patents from 1976 to 2003[J]. PLoS One, 2017, 12(1): e0169961.
- [13] 许诺, 唐亮. 产业集群生态位的形成、特征及功能[J]. 商业时代, 2009(20): 108-109.
Xu N, Tang L. The formation, characteristics and functions of industrial cluster niche[J]. Commercial Times, 2009(20): 108-109.
- [14] 孙嘉言, 余金城, 邓小鹏. 国际高铁企业生态位测度与分析[J]. 决策探索, 2017(9): 86-88.
Sun J Y, Yu J C, Deng X P. Niche measurement and analysis of international high-speed rail enterprises[J]. Policy Research & Exploration, 2017(9): 86-88.

- [15] Aaby B H, Ramsey G. Three kinds of niche construction[J]. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 2022, 73(2): 351-372.
- [16] Ziman J. *Technological Innovation as an Evolutionary Process*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 41.
- [17] Basalla G. *The Evolution of Technology*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1988: 208-209.
- [18] Mokyr J. *The Lever of Riches*[M]. New York: Oxford University Press, 1990: 291.
- [19] 刘秉君, 董明德. 找准企业生态位[J]. *企业管理*, 2024(1): 18-20.
Liu B J, Dong M D. Identify the niche of enterprises[J]. *Enterprise Management*, 2024(1): 18-20.
- [20] 纳西姆·尼古拉斯·塔勒布. 黑天鹅: 如何应对不可预知的未来[M]. 4版. 万丹, 刘宁, 译. 北京: 中信出版社, 2019.
Taleb N N. *The Black Swan: The Impact of the Highly Imprbable*[M]. New York: Random House, 2007.
- [21] 米歇尔·渥克. 灰犀牛: 个人、组织如何与风险共舞[M]. 冯毅, 张立莹, 译. 北京: 中信出版集团, 2021.
Wucker M. *You Are What You Risk: The New Art and Science of Navigating an Uncertain World*[M]. New York: Pegasus Books, 2021.
- [22] 张华, 高作峰, 吴会宁. 考虑模糊参与度的供应链利润分配问题研究[J]. *价值工程*, 2008, 27(10): 69-71.
Zhang H, Gao Z F, Wu H N. To study on profit allocation with reference to fuzzy degrees of participation in supply chain[J]. *Value Engineering*, 2008, 27(10): 69-71.
- [23] 戚晨. 大陆机电: 小仪表磨出产业新生态[N]. *经济导报*, 2023-11-20(005).
Qi C. Continental electromechanical: Small instruments grind out a new industrial ecology[N]. *Economic Herald*, 2023-11-20(005).

Engineering Niche: Conception, Characteristics, Typology, and Shift

Li Sanhu

School for Marxism Studies, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

Highlights

Novel theoretical framework: Introduces the concept of "Engineering Niche" for the first time, providing a new theoretical framework for the study of engineering industries.

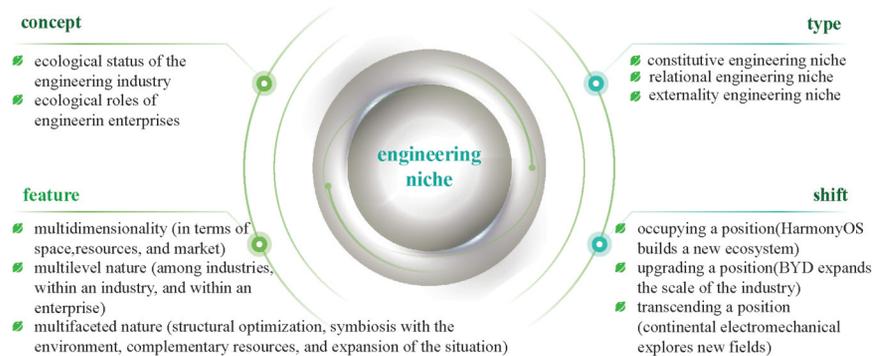
Multidimensional analysis: Comprehensively analyzes the constituent factors of the engineering niche, encompassing spatial, resource, and market dimensions.

Typology system: Establishes three types of engineering niches: constitutive, relational, and extrinsic.

Shift mechanisms and case studies: Explores the shift mechanisms of engineering niches and validates their practical value through case studies.

Strategic guidance: Offers strategic suggestions for the sustainable development of engineering industries based on the niche theory.

Graphical Abstract



Abstract: This article introduces the concept of "ecological niche" to analyze the internal structure and external relationships of engineering ecosystems, aiming to offer theoretical insights and practical strategies for sustainable engineering development. By

exploring the survival, growth, and competitive dynamics of engineering industries and enterprises in complex environments, the study provides a scientific foundation for strategic planning, enterprise management, and policy formulation in the engineering sector. Methodologically, the article traces the historical evolution and theoretical framework of the ecological niche concept, extending its application from biology to non-biological fields such as economics and management. Analogous to species niches, three types of engineering niches—constitutive, relational, and extrinsic—are proposed, each with distinct characteristics and formation mechanisms. Through a combination of literature review, case studies, and theoretical analysis, the article delves into the components, structural relationships, functional attributes, and evolutionary patterns of engineering niches. Case studies of Huawei's HarmonyOS system, BYD's new energy vehicles, and Continental Electromechanical illustrate the specific manifestations and strategic implications of engineering niche shifts. The findings reveal that engineering niches are multidimensional in composition, multi-layered in structure, and diverse in functionality. As engineering ecosystems evolve, niches continuously shift through "niche occupation" (establishment of new ecosystems), "niche upgrading" (expansion of industry scale), and "niche crossing" (exploration of new fields). These shifts are influenced by both internal enterprise resources and external environmental changes. Strategic management of engineering niches can stimulate incremental innovations within regional clusters and protect disruptive innovations in emerging industries, fostering sustainable development. Specifically, Huawei's HarmonyOS system exemplified niche occupation by creating a new operating system ecosystem, BYD's new energy vehicles demonstrated niche upgrading by becoming a global leader, and Continental Electromechanical showcased niche crossing by pioneering industrial automation control solutions. These cases validate the practicality of the engineering niche theory and offer valuable strategic management lessons for other enterprises. In conclusion, this study elucidates the survival, growth, and competition mechanisms of engineering industries and enterprises through the lens of engineering niches, proposing strategies for their strategic management. The research not only enriches the theoretical understanding of engineering niches but also provides crucial support and guidance for strategic planning, enterprise management, and policy making in the engineering industry. Future research can further refine the components and mechanisms of engineering niches and validate the theory with additional empirical case studies.

Keywords: engineering niche; sector's ecostate; enterprise's ecorole; engineering niche shift