

· 案例研究 ·

复合产业生态系统的架构与运行机制研究

——循环型生态经济的案例分析

郑珊珊¹, 李 彬²

(1. 首都经济贸易大学 工商管理学院, 北京 100070; 2. 北京第二外国语学院 旅游科学学院, 北京 100024)

摘要: 产业共生是推动线性(型)经济向循环经济转型、实现可持续发展的重要环节。本文从生态系统的整体观和动态观出发, 采用双案例研究方法和溯因推理方法, 对中国历史沿袭下来的“桑基鱼塘”模式与当前实践中涌现的“渔光一体”模式进行共性比较, 揭示复合产业生态系统如何实现耦合共生和过程闭合。研究发现, 复合产业生态系统需要在多个生产体系或生产环节间形成耦合共生的架构与运行机制, 以打造循环型生态经济系统。生克关系交织是复合产业生态系统不断发展的内在条件。看似相互制约(相克)的两大产业, 实则能在促进(相生)关系中为对方赋能, 推动系统发生质变。复合产业生态系统中的不同产业子生态既以各自的子循环独立运行, 又通过“8”字形连接为大循环。本文利用对立统一的辩证关系原理阐释了复合产业生态系统以“8”字形轨迹运行的理论机制, 把中国智慧深植于循环型生态经济研究中, 在中观层面上为可持续发展战略的落地实施提供坚实理论支撑。

关键词: 复合产业生态系统; 生态经济; 循环体系; 时空分离

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-176X(2026)03-0104-14

一、问题的提出

自“生态系统”概念提出以来, Moore^[1]发表的商业生态系统文章被视为商业领域生态研究的里程碑。但是, Frosch和Gallopoulos^[2]针对制造业构建闭合系统的创新性研究却未获得应有关注。事实上, 该研究为后续可持续产业生态系统及其循环体系研究奠定了基础^[3]。中国历史沿袭下来的“桑基鱼塘”模式被视为循环型生态经济的早期实践活动^[4], 但学术界对其运行过程及循环机制的关注不足, 且缺乏学理层面的深入研究。

“循环经济”概念缘起于消费领域的废弃物回收再利用, 是在对环境损害问题认识的基础上提出的“资源消费—产品—资源重新利用”的闭环或循环型物质流动模式^[5]。循环经济理论以资源循环利用为核心, 强调经济系统内部物质和能量的转化与利用, 要求在投入端优化资源和能

收稿日期: 2025-07-15

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“文旅深度融合发展的游客体验管理研究”(72332010)

作者简介: 郑珊珊(1996-), 女, 福建宁德人, 博士研究生, 主要从事创新与可持续发展研究。E-mail: 12020020028@cueb.edu.cn

李 彬(通讯作者)(1982-), 男, 河北唐山人, 教授, 博士, 主要从事战略管理、旅游与可持续发展研究。E-mail: libin@bisu.edu.cn

源的开发与利用,在产出端规范废弃物的处理与排放,并推动上一生产环节的产出(包括副产品)转化为下一生产环节的投入^[6]。通过实现出入口的有效衔接与“以终为始”的循环反复,该模式可以实现经济系统与生态环境的和谐、平衡稳态^[3, 7]。这种物质闭路循环理念在一定程度上反映出东西方在生态经济循环性的认识上基本趋同^[8]。

国内外研究普遍认为,发展生态经济应在产业经济活动生态化进程中兼顾环保性、循环性和经济性^[9]。其实现路径在于,将产业内独立的、与外界环境割裂的线性(型)产业发展模式,转变为与外界环境相互影响、不断循环的产业发展模式,进而实现生态经济系统及其各组成部分在功能上的稳定有序与协同衔接^[10]。在经济系统运行过程中,各环节的闭环衔接所形成的循环特征,为循环型生态经济赋予了新经济模式的真正意义^[11]。尽管“产业共生”被认为是从线性(型)经济向循环经济转型的必要步骤^[5, 12],但现有研究仍存在明显不足:共生生成的主体边界尚不清晰,尤其是跨产业企业间的共生关系;对循环型生态经济与线性(型)经济的本质差异及其成因缺乏深入辨析;产业生态系统内不同产业或群落间的关系和内在演化机理探究不够充分。这既不符合产业生态系统多样性和多方共生理念的要求,也不利于可持续产业生态系统的建立^[13]。

从理论发展现状来看,当前的循环型生态经济研究多关注产业活动与自然环境之间的关系,但对“循环”概念的理解仍停留在以废弃物资源化利用为主。既有文献倾向于围绕人与自然关系和绿色化理念展开研究,突出了自然资源持续利用和保护的必要性与重要性,强调经济系统、资源系统和环境系统之间以产业链为载体,且在相互协同中实现耦合共生^[14]。然而,循环型生态经济的内涵更为丰富:它不仅要求以可再生资源替代不可再生资源,以实现产业与自然的和谐,还要求将有限的不可再生资源视为技术性营养物,以物质存量的形式进行循环利用。通过构建系统运行的良性循环,在规模可控的前提下,兼顾经济繁荣与生态目标。因此,发掘循环型生态经济中活动过程闭合的机理是打造生态经济的关键。

总体来看,现有与产业共生相关的生态经济研究多侧重于阐发复合产业模式下,经由产业内部和产业间分工协作、互联依存、联动互补、共生合作或资源梯级深度利用所实现的生态经济价值^[14-15]。然而,针对复合产业生态系统所特有的经济活动多样性及其背后蕴含的矛盾冲突的研究还不充分。特别是与“互补”并存的“互斥”关系、促进与制约的权衡等问题未给予应有重视,使得生态演化的动态性与内生动力疏于刻画或仅停留于表层描述。Frei等^[16]认为,这种循环型生态经济尽管目标很明确,但如何实现却含糊不清。因此,本文采用双案例研究方法和溯因推理方法,对中国历史沿袭下来的“桑基鱼塘”模式与当前实践中涌现的“渔光一体”模式进行共性比较,揭示复合产业生态系统如何实现耦合共生和过程闭合,并基于对立统一的辩证关系原理,将可持续发展从目标理念落实到具体运行机理,为循环型生态经济的构建提供理论支撑。

本文可能的边际贡献包括三个方面。第一,本文通过双案例研究明晰了复合产业生态系统实现物质闭路循环的过程机制,弥补了产业共生研究中对循环属性及其运行机理研究的不足。第二,在土地资源成为农业农村发展规模制约因素的条件下,本文基于生产过程本身探寻第一产业内部或第一产业与第二产业之间的生克关系组合形态,揭示了复合产业生态系统“生生不息”的架构支撑及内生动力来源。第三,本文借助“关系—过程论”这一有别于实体论的解释范式,为循环型生态经济研究提供了新的分析视角,是中国智慧在复合产业生态系统研究中的具体体现。

二、文献综述

(一) 生态系统的整体性与循环性

研究生态系统需要采用整体的、协同的、动态的分析方法^[17]。生态维护或建设中的系统观念不仅强调系统是由若干要素构成的,具有一定结构形式和特定功能的有机整体,还注重要素间

的相互作用和相互影响^[6-7]。

系统观念的核心是以整体观替代还原论,以动态观替代静态观。这不仅要求系统构成的多样性,充分考虑自然生态系统的承载能力,合理、循环利用资源,还旨在达成经济社会发展与自然环境保护的双赢。贯彻系统观念,必须将治理客体作为生态系统来统筹考虑。胡长生^[18]认为,环境效益的滞后性、环境效果的溢出性和环境效率的整体性等客观原因,加之观念缺失和制度缺位等主观因素,造成了中国环境治理相对滞后。李慧明和左晓利^[19]认为,建立在生物生态学“隐喻”基础上的产业生态学,存在实践中难以应用的难题。

从整体性与动态性并重的角度来看,生态经济的本质体现为循环性,其与循环经济的本质相同^[10, 20]。循环经济不仅在投入端提供可再生资源,还在中间环节通过生物性和技术性营养物的循环利用实现物质闭环流动^[14, 20]。循环经济是相对于传统的线性(型)经济而言的物质闭环流动型经济,是一种建立在物质不断循环利用基础上的经济发展模式,它要求经济活动按照自然生态系统的模式运行,从而形成一个物质反复循环流动的、过程闭合的经济体系。这种循环并非简单的周而复始,而是螺旋式上升的有机演进过程,其通过将反馈回路内置于系统之中,实现系统运行过程的闭合,从而真正地实现产业生态化。

从产业共生的角度来看,“资源效率”概念不应仅限于单个企业,还应包括整个产业系统^[5],需要通过企业间资源流动的互补性活动来发展和维持循环态势。Abreu和Ceglia^[5]虽明确将“产业共生”作为由线性(型)经济向循环经济转型的必要步骤,却未深入阐释不同企业间的资源流动何以构成一个循环的结构。过程闭合机制的研究,无疑需要超越产业生态学本身,将作为“元”学科的复杂系统理论引入,才有望切实打开循环经济的过程“黑箱”。

循环性是内生于可持续系统的一种结构特性,是系统的内在动力来源。系统的动态性和内生演化动力,必然与系统各构成要素(人类或非人类的行动主体)在时空维度的结合及非线性关系有关,由此才能形成内在于系统的动态性,无需借助外力而形成自组织状态^[14]。从时空维度结合的角度来看,循环经济本质上是一种物质闭环流动型经济,强调以全过程闭环的物质流来创造增长的价值流。特别是复合产业生态系统,其循环过程的动态性要求各行动主体置身于可持续发展的框架中,注重构建生态系统的内在动力机制,使系统在闭合的运行过程中以自组织方式不断演化和存续。

(二) 系统要素间耦合关系及其在复合产业生态系统中的表现

产业生态系统作为人造生态系统,其架构设计需要遵循生态可持续的客观规律。在此系统中,人类社会活动的工业、农业与自然生物之间构成复杂的“广义食物网”,进而引发不同产业种群耦合共生的“群落效应”^[21]。在系统论中,耦合是研究系统要素间关系的重要概念之一^[22],用以刻画和解释系统要素间如何通过互动而联合成为整体^[23]。战略耦合包括内生耦合、功能性耦合和结构性耦合三种^[24]。其中,内生耦合强调行动主体由内及外主动延伸、与系统外部建立网络,并在此过程中实现价值捕获和自主能力提升。功能性耦合反映特定结构在某种条件下所发挥的作用或效应^[25]。根据系统要素间是否直接联系,结构性耦合可以分为直接耦合和间接耦合两种形式。若系统中某一运作环节的产出可以直接转化为下一运作环节的资源投入,则这两个过程要素间在结构上存在直接耦合关系。围绕研究主题,本文重点关注功能性耦合和结构性耦合。耦合还有程度上的强与弱之分,“分立”代表耦合程度弱化到近乎为零的程度,而“整合”则代表了一种强耦合状态。种种耦合形态的综合,往往在特定系统内部形成因果复杂性,从而使系统呈现不断发展变化的动态性。

生态系统要素间耦合程度的高低,取决于各要素在结构上的匹配程度、功能上的协调程度及其在相互作用过程中的衔接程度^[20]。对特定生态系统而言,结构只是一种空间形态表现,过程是沿着时间维度的展开,功能则往往是时空结合的产物。因此,识别内嵌于复合产业生态系统构

架中、能够推动多样化种群运作过程一体化的生态整合机理,是阐明循环型生态经济发展动力的关键。Graedel和Allenby^[26]根据自然生态系统演进过程对产业生态系统的演变轨迹进行模拟,并提出了产业生态系统进化理论。这为复合产业生态系统的发展奠定了理论基础,但关于产业生态中不同种群间的功能联系仍缺乏研究。

产业生态学注重竞争、共生和自生能力等各类关系的综合^[27]。邓伟根和陈林^[28]认为,直译而来的“产业生态学”存在一个缺陷,即过分强调其表征的比喻意义而忽略学科的真正研究焦点,即“产业共生式关联”。Geng和Cote^[29]认为,产业间的竞争、协同合作等互动关系会促进产业生态系统的良性演进。特别是在复合产业生态系统中,各产业间存在相互挤占空间、竞争有限资源的现象^[30]。

当前,从时空结合维度来分析循环型生态经济如何形成循环过程闭合特征和内在动力机制的研究仍较为少见。这导致对生态效果的认识仅局限于生态效益层面,缺乏基于生态系统架构的系统布局 and 整体优化,生态经济研究与循环经济研究因而出现严重“分野”^[10]。实际上,从概念来看,循环经济被视为生态经济的重要特征^[20],因为物质循环是生态经济的一项核心功能^[5]。既有文献在研究生态问题时多聚焦“三废”排放量等绿色环保指标,较少关注经济活动、投入资源与环境影响之间的自然或客观的联系^[31]。从循环经济的角度来看,特定经济活动对生产资源的消耗及其所产生的生态环境影响,都应纳入系统统筹考虑,才符合生态整体论的主张。否则,仅关注某一产业的生产活动及其经济收益,不免陷入还原论的窠臼。

基于系统要素间关系来揭示系统发展的内在驱动力,是生态经济研究从循环经济研究中汲取的思想精髓,也是构建循环型生态经济系统的重要理论支点。引入生克关系交织的辩证视角,有助于学术界全面认识和提炼复合产业生态系统中的互动和共生机制^[32]。从全球趋势来看,如何通过合理的人工措施去创建有效的、良性循环的人工生态系统,是国际生态学界近年来兴起的“创建性生态学”研究的焦点,而在这方面中国有着几千年的优秀传统,其富含循环经济的思想智慧。当前,经济系统正经历从传统的线性(型)经济模式向循环经济模式的转型,在此背景下,本文基于鉴古启今和案例共性比较的研究思路,对中国历史沿袭下来的“桑基鱼塘”模式与当前实践中涌现的“渔光一体”模式进行共性比较。

三、研究设计

(一) 研究方法

本文聚焦于复合产业生态系统的架构和运行机制,旨在揭示系统运行中的复杂关系与深层机理,属于过程机制研究。研究此类问题,案例研究方法独具优势。案例研究方法有单案例研究和多案例研究两类方法。其中,多案例研究方法有利于发现不同事件的共有模式,通过“异中求同”中实现理论升华,并提升结论普适度。从提炼过程机制的目的出发,本文采用双案例研究方法。在双案例研究中,数据分析遵循“逐项复制”逻辑,由数据到理论的思考和升华过程则采用溯因推理方法。溯因推理方法为开展以理论构建为目的的经验数据质性分析提供了一条有效途径,该方法能够连接经验世界观察和理论猜想,并进一步构建理论^[33]。

(二) 案例选择

根据理论抽样原则,本文选择“桑基鱼塘”模式和“渔光一体”模式两个案例作为研究对象。其中,“桑基鱼塘”模式起源于中国春秋战国时期,该模式依托种植业与水产养殖业之间的内在循环,实现资源循环利用,是典型的农业生态系统模式。从地理条件来看,中国南方低山丘陵,洼地较多,农民把低洼的土地挖深为塘,饲养淡水鱼;泥土堆砌在鱼塘四周,形成似小堤的埂或基面。塘基既可以减轻内涝水患,又可以通过在基面上种植果树、桑树而获得经济收益。这样,依循地理环境条件就自然形成了包含种植业(陆地产业)和水产养殖业(水体产业)的复合

产业生态系统格局,并传承至今。

2017年,浙江省湖州市南浔“桑基鱼塘”系统被联合国粮食及农业组织认定为“全球重要农业文化遗产”,该系统作为典型的人工生态系统,在多产业耦合关系上具有实践可复制性和理论启发性,所以本文以此作为案例研究对象。

在当前实践中涌现的横跨水产养殖业(第一产业)与光伏发电业(第二产业)两大产业的“渔光一体”模式同样具有典型性,且与“桑基鱼塘”模式具有过程机制可比性,有助于运用“逐项复制”逻辑发掘和提炼复合产业生态系统内在的矛盾张力及其产生的经济循环效应。早期,部分渔村对“渔光一体”模式进行了初步探索,实现了水产养殖业与光伏发电业在同一水域的共存。虽然该模式通过分布式供电确保了养鱼用电稳定,并节约了成本,但也给捕鱼户带来了捕鱼难、投喂不精准、缺氧死鱼等问题。后来一些地区改进了光伏板安装方式,如在浅水鱼塘采用管桩支架式、在深水鱼塘采用水面漂浮式^[34],逐步由传统的“渔光互补”模式演化为新式的“渔光一体”模式,使多元产业间的冲突问题得以化解。“渔光一体”模式实际上反映了对物质闭环流动原理的应用。在大力推广绿色新型能源产业的现实背景下,“水上发电、水下养鱼”(以及水域观光旅游)的立体经济模式成为一种自觉遵行的普遍模式,在中国部分将光伏发电列为战略性新兴产业发展的山地及平原地区,还出现了“渔—农—牧—林—光”多元产业互补的复杂生态经济模式。

本文旨在揭示多产业共生发展的内生机制,简洁性和复杂性兼顾是案例研究对象选择必须权衡的。因此,本文立足于理论启发性的考虑,选择包含水产养殖业和光伏发电业的复合产业生态系统模式作为当代典型实践案例。由于福建省宁德市国有投资经营有限公司(下文简称“国投公司”)推进实施的多个“渔光一体”项目取得了显著进展,所以本文以此作为案例研究对象。

(三) 案例数据

案例数据作为理论构建式案例研究中待加工的原材料,需要符合典型性、可比性和理论启发性要求,并且具有数据可获得性。本文案例数据来源主要有两类。一是通过现场深度调研和非结构化访谈获得的一手资料。对于“桑基鱼塘”模式,本文研究团队展开实地调研,并对浙江省湖州市徐缘桑基鱼塘系统历史文化博物馆资深管理员及一些渔民进行了访谈,同时还辅助调研了浙江省光伏发电业相关人员,了解光伏发电对水产养殖业的影响。对于“渔光一体”模式,本文研究团队主要访谈了福建省宁德市政府任职人员、国投公司宁化翠江镇项目主要负责人、光伏板安装人员,以及多位当地渔民和居民。二是各种媒体报道及其他二手资料。本文研究团队围绕研究问题广泛收集了媒体报道、学术期刊论文,通过多来源数据进行三角验证,以确保基于案例数据的理论推断具有可信性。

在数据分析方面,针对“桑基鱼塘”模式,以二手数据为主、一手数据为辅,进行案例内分析;针对“渔光一体”模式,以一手数据为主、二手数据为辅,进行案例内分析。本文总结归纳两种模式中相似的重要发现,即结构性张力;采用溯因推理方法进行跨案例比较,通过“逐项复制”分析逻辑深挖出各系统应对内部张力的运行机制。在归纳双案例的基础上,进一步采用溯因推理方法对两个模式的共通之处进行跨案例研究,从中提炼总结共同的过程机制,形成本文的研究结论。

四、案例分析

(一) 案例内分析

1.“桑基鱼塘”模式:传统农业生态背后的结构性张力

首先,从系统构成要素来看,塘以养鱼、基以种桑、桑以喂蚕这些组元是“桑基鱼塘”模式的经济性要素。但是,这一过程还产生了副产品,如塘泥、蚕沙和蚕蛹等,这些不能简单地被作

为废弃物,而是可以通过塘泥上基种桑,蚕沙、蚕蛹喂鱼等环节转化为肥料或饲料,由此成为可循环利用的生态性要素。

其次,从系统要素间关系来看,早在唐代末期(约9世纪),已初步形成“凿地蓄鱼”“堆泥成基”、基面“树果木”的布局。前期,塘基上大多数只是种植果树,这是以共存(相加)方式寻求种植业与水产养殖业的复合。16世纪以后,随着“丝绸之路”的发展,养鱼、种桑进一步与养蚕联系起来,“果基”遂演变为“桑基”,由此形成“桑、蚕、鱼”水陆相互作用的人工生态系统^[35]。这样,经由“果基鱼塘”模式向“桑基鱼塘”模式演化后,水产养殖业与种植业从共存关系深化发展到协同性、循环性的互补关系。如此使种桑、养蚕逐步与养鱼密切联系起来,这种模式被誉为中国南方农民以“天人合一”方式求生存的策略^[35-36],得到了联合国教育、科学及文化组织和联合国粮食及农业组织的肯定和高度评价。叶明儿^[37]认为,“桑基鱼塘”模式蕴含了儒家生态伦理思想和生态智慧,整体、循环、协调、再生是其核心体现。中国传统哲学强调“万物一体”,“他者”从来都是“自我”的一部分,是阴中有阳、阳中有阴的关系,阴与阳存在于同一个矛盾统一体之中,既相生又相克。

在“果基鱼塘”模式向“桑基鱼塘”模式演化的过程中,有两个重要环节使该模式具有了农业生态系统的特征。一方面,塘泥上堤固基和肥桑。在池塘中养鱼的农民,每年夏季、秋季“捻火泥”,以及冬季清整鱼塘,将淤泥挖出并堆放到四周塘基上。这些淤泥由池塘中的水草腐烂物、鱼类排泄物和残体组成,含有丰富的营养元素,是一种天然、优质的桑树种植肥料。塘泥回到塘基,不仅有利于保持鱼塘水质和加固塘基,也使桑地具有了良好肥力,促进了桑叶和蚕茧的增产。另一方面,蚕沙、蚕蛹入塘饲鱼。蚕沙不仅包括蚕的排泄物,还包括蚕的脱皮和残剩桑叶。蚕吐丝结茧后会变成蚕蛹,蚕蛹富含优质的鱼用动物性蛋白。将蚕沙、蚕蛹投入鱼塘,既避免了废弃物污染环境,又降低了养鱼成本,从而在养蚕业与养鱼业之间建立起一种能相互促进的良性生态结构。通过将塘泥、蚕沙、蚕蛹纳入循环体系,原本属于生产过程副产品的废弃物得以再利用,成为连接种植业与水产养殖业两个产业子生态系统的内生纽带。但是,蚕沙和蚕蛹投入鱼塘后,未被鱼类摄食的残余物会沉淀到塘底,并逐渐被微生物分解,该过程会消耗溶解氧,导致塘泥中氮含量减少,肥力降低。另外,塘底淤泥上堤后,淤泥中含有的细菌和病毒,以及释放出的有害气体,也可能影响蚕的生长。

可见,在该模式的水陆资源“变废为用”过程中,积极影响和消极影响可能同时存在于复合产业生态中。这意味着每个系统构成要素都是生克关系的承载主体,是受其他要素影响、也影响其他要素的“关系者”^[38]。养鱼、种桑和养蚕的直接生产环节与其产生副产品的生产环节之间形成了相辅相成的内在联系,并由此耦合成一个彼此有机交织、链网状的复合产业生态系统。在此类系统研究中,识别出系统各构成要素虽然重要,但更重要的是揭示系统要素间的生克关系在循环型生态经济中的具体形式及实现机制。由此,种植业(陆地产业)与水产养殖业(水体产业)之间的循环体系如图1所示。

图1显示了“桑基鱼塘”模式的主要构成要素及其相互之间所形成的相辅相成和相反相成的关系,分别称之为促进(相生)作用和制约(相克)作用^[39]。前者指系统运行过程中前一要素对紧随其后的另一要素具有促进(相生)作用。具体而言,在由塘基间隔开来的水塘中养鱼,同时在塘基上种植桑树,桑叶可用来喂蚕,而蚕产生的蚕沙、蚕蛹等副产品可作为鱼的饲料。同时,塘泥上基不仅可固堤,还可作为肥料用于种桑。这样便形成系统各构成要素间“A强则B强”的促进(相生)关系。此外,与该关系同时存在的是隔位要素间的制约(相克)关系,即“A强则C弱”的制约(相克)关系,并且这样的制约(相克)关系会以链式传递。例如,桑蚕业若盈利丰厚且发展态势良好,在经济利益的驱使下,基面作物总量减少,从而抑制和削弱水产养殖业的发展。而塘泥是基面作物的主要肥源,塘泥肥力大,基面可产出更多桑叶用于养蚕。这

样,水产养殖业就促进了桑蚕业的发展。但是,如果基面过大,挖出的塘泥难以运达桑地中央,使部分的基面缺乏有机肥,进而会影响到下一季作物生长。经过这样的过程,桑蚕业发展便逐渐稳定下来。在图1左半部的循环中,基以种桑是发展目标。类似地,在图1右半部的循环中,塘以养鱼是随后的发展目标,它由桑以喂蚕所触发,在蚕沙、蚕蛹等副产品作为养殖饲料的中介作用下,水产养殖业得到稳定的发展。

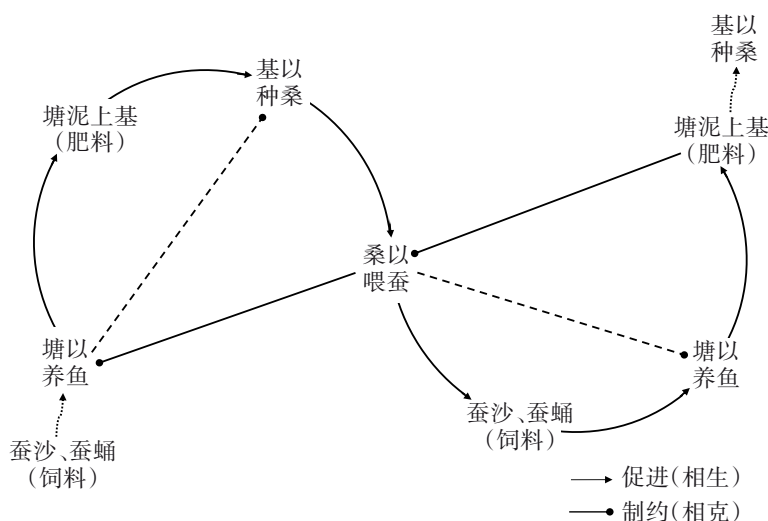


图1 种植业（陆地产业）与水产养殖业（水体产业）之间的循环体系

2.“渔光一体”模式:当代复合产业生态背后的结构性张力

在中国部分水产养殖区域,光伏板的安装引发了水产养殖业(第一产业)与光伏发电业(第二产业)对有限的土地资源的竞争。为化解这一矛盾,各地在发展新能源产业的同时也在探索“光伏+”模式。光伏发电业是对清洁、可再生能源的绿色发展部署,光伏板可以减少地表或鱼塘的水分蒸发,提高植被的生产率、降低养殖业的运营成本。“光伏+”渔业或农业模式可以大幅提高生态效率。然而,在与渔业或农业活动相关的生态系统中,土地是一种重要而又高度稀缺的资源,因而将有限的土地资源配置于何种生产活动,如发电还是养鱼,养鱼还是种桑、养蚕,是事关整体系统有效性的问题。

“渔光一体”模式是将水产养殖业(第一产业)与光伏发电业(第二产业)结合,充分利用鱼塘空间进行水下养殖、水上发电而形成的“一种资源、两个产业”的复合生产模式^[40]。把光伏发电引入农业生产体系,第一产业与第二产业之间会产生既对立又统一的辩证关系。水产养殖业(第一产业)与光伏发电业(第二产业)之间的循环体系如图2所示。

从对立维度来看,在“渔光一体”模式中,光伏板安装的相关问题会影响水产养殖中的投喂捕捞作业,使养殖面积和成本结构发生改变,即光伏发电会制约水产养殖业的发展,这种制约(相克)作用如图2左半部的圆头虚线所示,意味着原来的克力因为“克者被克”而弱化甚至消失。与此同时,投喂捕捞作业也对光伏发电产生制约。留足渔业作业的空间会直接影响光伏板安装规模,鱼塘潮湿、残余饲料产生的腐蚀等因素还会影响光伏板使用寿命。所以,水产养殖业对光伏发电业也具有制约(相克)作用,如图2右半部的圆头虚线所示。由此说明,两个产业间呈现对立的关系。

从统一维度来看,在鱼塘中进行水产养殖的同时,在鱼塘水面或塘埂上安装光伏板实现发电,充分利用鱼塘“水上、水下”空间资源开展两大产业活动,因而被称为“渔光一体”模式。图2归纳提炼了两大产业复合后所形成的协同性与循环性的互补关系。具体表现为:通过“水上发电”提高了单位面积的经济产出,既确保了鱼塘供电、提高了鱼苗存活率,又可以产生绿色电

力及并网售电收入; 鱼塘安装光伏板后, 可以遮阳降温、减少水面蒸发量、保护水资源和降低养殖成本, 并抑制藻类繁殖、优化水质。通过创造或优化适宜多种鱼类生长的环境, 有利于喜阴性特优品种水产的养殖发展, 实现经济效益、社会效益和环境效益的多赢^[40]。由此说明, 两个产业间呈现统一的关系。

此外, 生态系统任一要素都可能在生克关系链条中扮演某种特定角色, 从而成为矛盾体中不可缺少的关系承载主体, 即“关系者”, 而不是孤立存在的所谓“原子化实体”。以“养殖环境”要素为例, 其在水产养殖业与光伏发电业复合的产业生态系统中所受到或产生的作用体现为双向、交织的生克关系。促进(相生)关系体现为: 伴随光伏发电业的发展, 鱼塘供电可靠性提升, 可以避免鱼苗因缺氧而死亡^[41]。同时, 光伏发电业所带来的技术外溢效应将推动水产养殖业加快进入“智慧养殖时代”, 形成可控度远高于自然状态的养殖环境。这不仅能提高鱼类存活率和生长速率, 还能实现泵房管理、投喂、水质监控及数据采集等环节的自动化与精准化^[42], 即养殖环境成为光伏发电间接的正向赋能水产养殖业的中介(如图2左半部所示), 就像图1左半部中的塘泥上基作为种桑有机肥所发挥的中介作用一样。制约(相克)关系体现为: 在项目建设过程中, 光伏板安装和运行可能会产生废水、噪声等污染, 从而对鱼塘内各种水生植物和微生物产生消极影响, 也对投喂捕捞作业产生消极影响(如图2右半部所示), 就像图1右半部中的塘泥上基后可能对蚕的生长带来消极影响一样。因此, 产业复合过程犹如“阴阳”辩证, 并非“非此即彼”的权衡, 而是体现为既促进(相生)又制约(相克)的复杂关系。

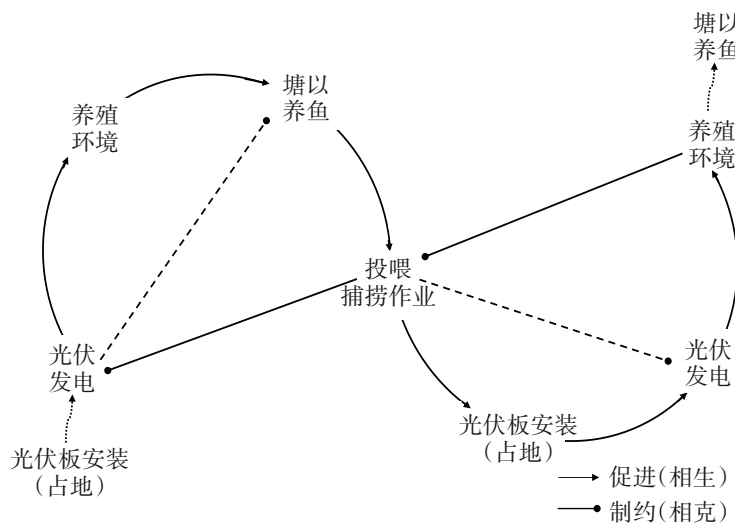


图2 水产养殖业（第一产业）与光伏发电业（第二产业）之间的循环体系

（二）跨案例分析

关系是过程研究的基本理论概念, 在“关系论”基础上要向“过程论”迈进, 才能揭示系统整体运行和发展的动态面。本文通过解读 Abreu 和 Ceglia^[5] 的产业共生模型, 发现制造商 X 与 Y 之间的物质流动^[7] 是一个隐含“8”字形运行轨迹的循环体系。王凤彬等^[43] 也提出, 国际化企业在国内外双循环中呈现“8”字形轨迹。本文研究的两个案例也明确展现出这样循环往复的运行轨迹。“8”字形循环的时序结构如图3所示。按照时序关系来解构, 此“8”字形循环系统结构是由 {ABCD} 和 {DEAB} 两个子循环所构成的, 它们分别代表了甲产业和乙产业的内部运行过程。

从时间线来看, 如果说 {ABCD} 是在 t 时期以 C_t (塘以养鱼) 为发展目标的子循环, 那么, 在受到 A_t (光伏发电) 制约(相克)作用的背景下, C_t 会衍生出 D_t (投喂捕捞作业) 要素来反向

克制 A_t ，使与 C_t 相克的 A_t 又被 D_t 克制而弱化原有的克力，并趋于消失，由此实现该子循环的内稳态， C_t 的发展达到系统承载力的动态平衡点。这表明“克者被克”，即 C_t 受 A_t 制约，但 A_t 受 D_t 反制，或者类似的 A_t 受 D_t 制约，但 D_t 受 B_t 反制，是保持以发展某个特定子产业（即成者^①）为目标的局部生态系统处于自我循环状态的核心机制^[39, 43]。

在现实案例中，光伏发电提供的绿色电力及其并网销售的收益会使养鱼水域面积趋于减少，这种制约（相克）作用也会受到来自投喂捕捞作业的抑制，从而促使相对稀缺的土地（水域）资源在水产养殖业与光伏发电业两大产业之间实现均衡配置。例如，太湖流域的鱼塘挤占桑基现象，正是当地蚕丝业（ D_t ）日渐衰落后，塘以养鱼（ A_t ）对基以种桑（ C_t ）的制约（相克）作用过度强化，且长期缺乏蚕丝业（ D_t ）反向制衡所导致的结果。

归纳时序结构图的左半部或右半部，在“克者被克”机制正常发挥效力的情况下，阻碍特定发展目标（ C_t ）实现的对立要素（ A_t ）会在“催化者”（ D_t ）的反制下弱化原有的克力，并趋于消失（图中以虚线表示这一被反制而不断弱化的相克力量）。这样，无论 $\{ABCD\}$ 还是 $\{DEAB\}$ 都将呈现由四元要素间“三生一克”关系构成的闭合子循环，因而均为“负反馈”（有奇数个的负向关系）性质的系统^[39]。而 D_t 作为连接两个子循环的节点，在不同阶段的循环中分别发挥促进（相生）和制约（相克）的作用。也就是，当 C_t 的生成抵达极限状态后，物极必反，系统运行转入其对立要素（ A_{t+1} ）发展的新阶段。在前期子循环 $\{ABCD\}$ 中以制约（相克）关系发挥催化作用的 D_t ，在系统进入后一发展时期后，转而成为 $\{DEAB\}$ 子循环中的促进（相生）力量，以促进 A_{t+1} 的发展。此时，光伏发电不仅可以解决鱼塘用电问题，还可以与当地电力销售系统相连，进入并网售电的全新发展阶段。类似地，在打造可控的养殖环境（ A_{t+1} ）作为“催化者”的加速作用下，将太阳能转化为电能的清洁能源供应（ A_{t+1} ）就因此快速而稳定地发展为该养鱼基地的第二产业。

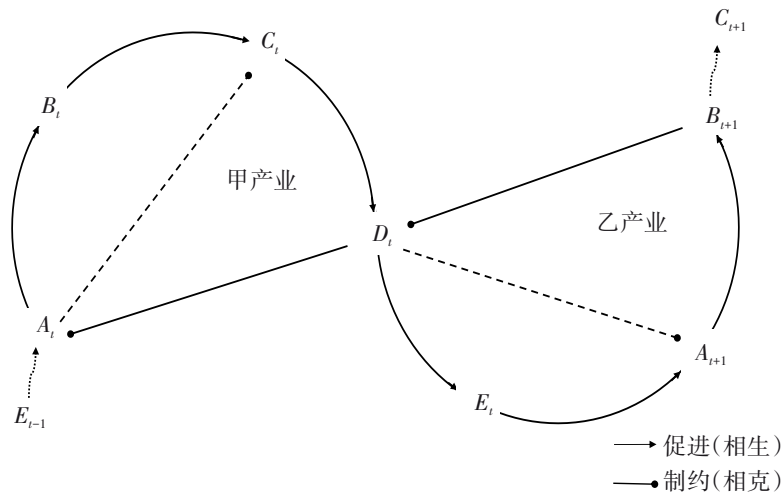


图3 “8”字形循环的时序结构

通过跨案例分析和共性提取，将时序结构图的右半部向左折叠，让同类要素处在同一位置，由此提炼出五元要素模型。如果抽取出这一结构中的时间维度，便得到一个以生克关系交织而组成的系统，简称为五元系统。五元系统“8”字形循环的整体结构如图4所示。其中，四个通过连续促进（相生）关系关联的要素，构成了当期运行的主体。这些要素围绕特定发展目标，并通

① 根据各要素在循环中所扮演的不同角色，以及其在循环中所发挥作用的不同性质来判定生者、中介者、成者、催化者。以 $\{ABCD\}$ 子循环为例，要素A为生者，要素B为中介者，要素C为成者，要素D为催化者。

过反向克制作用形成闭合的负反馈子循环, 而当期不在场的另一要素实际上是作为前一期发展目标实现后而退隐为背景的要素。例如, 传统鱼塘的水产养殖相对单一且低端 (记为 C_{t-1}), 改造为新型鱼塘后, 可以根据特有的养殖环境因地制宜养殖不同品种的鱼类、虾、螃蟹等水产, 或者同时进行多个品种搭配养殖, 这样既提高了水产存活率, 也提升了水产品多样性。这样, 养鱼业获得“质变”, 成为新要素 (记为 C_t)。这是以要素 C_t 为成者 (即 t 时期的发展目标) 的 $\{ABCD\}$ 子循环。换言之, 由 C_{t-1} 变为 C_t , 就是一次质变。继之, 系统进入以 A_{t+1} 为发展目标的 $\{DEAB\}$ 子循环。在这一时期, C_t 隐退、不在场, 成为 $\{DEAB\}$ 子循环中隐而不见的要素。类似地, 在其前期的以 C_t 为发展目标的 $\{ABCD\}$ 子循环中, E_{t-1} 实际上就是此期不在场的要素。这样, 表面上看, 特定时期仅有四个要素介入该子循环。但是, 当期未展现于特定子循环中的要素, 并非无关紧要, 而是整个生态系统内隐的、不可或缺的要。就像蚕沙、蚕蛹 (饲料) 或光伏板安装 (占地) 这些处于图 4 中 E_t 位置的要素, 看似并非 $\{ABCD\}$ 子循环所需要的, 但如果真的缺失了, 那么下一期的 $\{DEAB\}$ 子循环则难以为继。将所有要素置于整体结构中会看到, E_{t-1} 和 C_{t+1} 是分别在“8”字形循环左半部或右半部的子循环中暂时隐蔽的系统要素, E_{t-1} 是比 C_t 早一个时期的发展目标, A_{t+1} 是比 C_t 晚一个时期的发展目标。在前期作为发展目标而后在当期退隐的时间进程中, 四元子循环 (子产业生态系统) 结构反复出现, 不同的只是具体发展目标 (C_t 或 A_{t+1}) 及其关联要素的顺次演替, 即由 $\{ABCD\}$ 子循环演进为 $\{DEAB\}$ 子循环。这里, 在任一子循环中以第三个字母代表该循环中的特定发展目标, 前者以 C 代表塘以养鱼, 后者以 A 代表光伏发电。从时序演进来看, 具体发展目标依次是 C_t 和 A_{t+1} , 即光伏发电 (A_t) 先是在“塘以养鱼”要素作为发展目标 (成者 C_t) 时扮演生者的角色, 即为鱼塘提供可靠的用电保障, 等水产养殖业发展后再演替为成者, 即由 A_t 质变为并网销售太阳能的光伏发电业 A_{t+1} 。

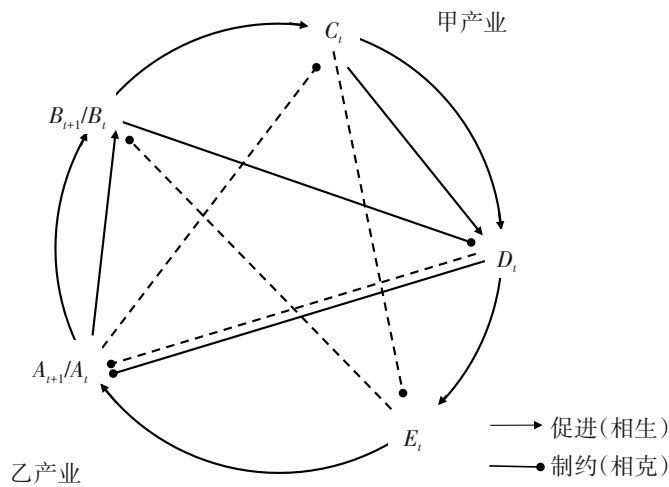


图 4 五元系统“8”字形循环的整体结构

总之, 从复合产业生态系统循环的角度来看, 系统整体结构是由当期分别作为生者、中介者、成者 (当期发展目标) 和催化者角色的四元显在要素和另一个退隐为背景的要素共同构成的。此退隐的要素恰好就是前期子循环中的发展目标, 即前期子循环中的成者。这从一个侧面印证了中国传统哲学对于“物极必反”原理的洞察, 也呼应了以时间分离来化解矛盾的当代观点。四元子循环 (子产业生态系统) 与五元系统 (复合产业生态系统) 的时空关联, 则意味着要将看似影响不大或仅为副产品的要素纳入整体循环系统。由此, 本文归纳提炼出内置有“8”字形循环机制的五元系统模型, 并将其作为生态经济体系最为基本的系统架构和运行机制。

(三) 延展分析：案例发现的可复制性

本文双案例研究结果表明，复合的两大产业间存在着某种结合点，两者是对立统一的关系，可以用辩证矛盾观来看待和处理复合产业生态系统耦合共生中的结构性张力。那么，这一研究结论是否具有可推广性和普适性价值？

四川省西昌市西溪乡有个养鱼基地，在鱼塘水面上方架设光伏板阵列，在光伏板下方水域进行鱼虾养殖，在1100亩鱼塘75%的水域安装光伏板，仅用25%的水域来养鱼，通过“一地两用”不仅使养殖量达到普通鱼塘的10倍，而且光伏发电也取得了年收入平均每亩3万元的收益。类似这样的农业与工业的复合产业生态系统结构，在全国各地都有不同成熟程度的实践，但从资源重复利用的过程闭合原理上来看，均与本文研究的“渔光一体”模式具有同构性。

以上案例都是以农业为起始点而演化出循环体系的复合产业生态系统。同时，以非农业为起点，如在光伏发电业基础上发展起来的“渔光互补”“林光互补”“牧光互补”等“光伏+”模式，也正在全国各地蓬勃发展，成为新的经济增长热点。至于更多元产业复合的模式，如“渔—光—湿地旅游”“渔—农—牧—林—光—乡村旅游”等，这些复合产业模式虽然在构成要素上更具多样性、复杂性，但相互促进（相生）又彼此制约（相克）的结构性张力的存在是普遍的，因而都可以在人工创建复合产业生态系统的规划与顶层设计中将循环属性纳入系统整体运行过程，从而在谋求资源多重利用中运用结构性张力，以实现经济活动过程各环节有机衔接和闭合循环，形成具有系统内部驱动力的循环型生态经济系统。

此外，复合产业生态系统的循环属性，即便是在无意识创建的经济系统中也可能存在。例如，以青海省海南藏族自治州共和县塔拉滩为例，该地在实践过程中探索出了新能源产业与畜牧业协同发展的复合产业生态模式。当地最初仅计划在荒漠建设光伏电站，却意外形成了适宜牧草生长、兼顾畜牧养殖的复合产业生态系统，实现了经济效益、社会效益和环境效益的多赢。这一事件表明，可以经由实践行动中的模式形成，即“非计划”的过程，最终呈现类似的循环型生态经济系统。

五、研究结论与政策建议

(一) 研究结论

本文从生态系统的整体观和动态观出发，采用双案例研究方法和溯因推理方法，将中国历史沿袭下来的“桑基鱼塘”模型与当前实践中涌现的“渔光一体”模式进行共性比较，揭示复合产业生态系统如何在生克关系交织中实现系统要素间耦合。本文得到的研究结论如下：

其一，复合产业生态系统需要在多个生产体系或生产环节间形成耦合共生的架构与运行机制，以打造循环型生态经济系统。生克关系交织的关联性思维是中国复合产业生态系统构建的底层思维逻辑和方法论指南。“桑基鱼塘”模式和“渔光一体”模式均表明，复合不仅是产业间的简单加和，还是蕴含了既促进（相生）又制约（相克）的多维互动关系，两种模式均创建出良性循环、生生不息的复合产业生态系统。生克关系交织是复合产业生态系统不断发展的内在条件。

其二，看似相互制约（相克）的两大产业，实则可以在促进（相生）关系中为对方赋能，推动系统发生质变。在复合产业生态系统中，可以借助生克关系交织的特定结构形态而打造出良性循环的子产业生态系统。“渔光一体”模式印证了“桑基鱼塘”模式中所蕴含的“三生一克”关系的组合，可以形成一个自我循环的子产业生态系统。因此，不同产业间通过“阴阳”互补且互斥的生克关系交织，推动复合产业生态系统在某个时期实现特定要素的质变。

其三，不同子产业生态既以各自的子循环独立运行，又通过“8”字形连接为大循环，从而使不同产业复合成为良性循环的生态系统。本文借鉴系统耦合理论，将结构、功能与历时进程结合起来研究，提炼出一个相对完备又简洁的五元系统模型，从学理层面阐明了如何将时空结合逻

辑用于处理不同产业发展目标间的矛盾, 揭示了不同产业依次作为成者来发展的子循环(四元要素)以“8”字形连接为大循环(五元要素)的过程机制, 揭示了循环迭代、螺旋式上升的动态演进机制是产业生态系统可持续发展的基础, 并通过打开循环型生态经济系统演化发展的过程“黑箱”, 对Frosch和Gallopoulos^[2]提出的循环经济能够实现物质闭环流动的理论观点进行了深化。

本文的研究局限包括两个方面。一是本文选择的两个案例虽然具有一定的启发价值, 但研究结论的普适性还需要进行大样本的实证检验。二是本文的一手数据搜集主要集中在现场观察和访谈, 数据来源并不全面, 未来可以进行更广泛的调查研究。

(二) 政策建议

其一, 以复合产业来发展农业农村经济, 拓宽产业共生的边界。在高度受限于土地资源的农业地区发展中, 秉持产业共生理念, 积极推动复合产业模式, 通过跨产业的资源高效利用而获取更大的经济收益和生态收益。在研究农业农村发展相关政策时, 有关部门要从推进农业高质量和生态化发展着眼, 摆脱局限于单一产业的“原子化实体”观念束缚, 通过相关产业间联动实现复合产业的共生式发展。

其二, 充分认识不同产业间的耦合共生具有多维关系面向, 善用其相互间的积极影响和消极影响, 使各产业共生单元间形成对立统一的矛盾体。添加的产业以何种关系与原有产业互动, 其互动方式是否具有生克交织的复杂关系, 这从根本上成为决定复合产业间形成良性循环的内生驱动力。

其三, 合理构建复合产业生态系统, 依循时空分离逻辑, 在时间进程中使不同产业以一定的序列顺次获得质变。政策制定者要善于运用整体观、动态观, 借助时间次序来辩证地处理复合产业间的矛盾, 促进相关产业在对立统一中实现共生式发展。

参考文献:

- [1] MOORE J F. Predators and prey: a new ecology of competition[J]. Harvard business review, 1993, 71(3):75-86.
- [2] FROSCHE R A, GALLOPOULOS N E. Strategies for manufacturing[J]. Scientific American, 1989, 261(3):144-152.
- [3] 刘刚, 张冷然, 殷建瓴. 价值主张、价值创造、价值共享与农业产业生态系统的动态演进——基于德青源的案例研究[J]. 中国农村经济, 2020(7):24-39.
- [4] 李慧明, 左晓利. 源于“循环”高于“循环”的循环经济深入研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2008(1):15-20.
- [5] ABREU M C S, CEGLIA D. On the implementation of a circular economy: the role of institutional capacity-building through industrial symbiosis[J]. Resources, conservation and recycling, 2018, 138(11):99-109.
- [6] SAAVEDRA Y M B, IRITANI D R, PAVAN A L R, et al. Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy[J]. Journal of cleaner production, 2018, 170(1):1514-1522.
- [7] CORVELLEC H, STOWELL A F, JOHANSSON N. Critiques of the circular economy [J]. Journal of industrial ecology, 2021, 26(3):421-432.
- [8] MCDOWALL W, GENG Y, HUANG B, et al. Circular economy policies in China and Europe [J]. Journal of industrial ecology, 2017, 21(1):651-661.
- [9] 史巧玉. 产业生态化研究进展及其引申[J]. 经济问题, 2013(10):9-14.
- [10] 周纪昌. 生态经济范式: 特征、理论核心和成果[J]. 理论月刊, 2012(6):112-116.
- [11] 诸大建. 最近10年国外循环经济进展及对中国深化发展的启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(8):9-16.
- [12] MERLI R, PREZIOSI M, ACAMPORA A. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review[J]. Journal of cleaner production, 2018, 178(3):703-722.

- [13] 孙丽文,任相伟,邢丽云.产业生态系统构建与中国经济高质量发展——基于高新技术产业与传统产业集群互动演化视角[J].当代经济管理,2020,42(4):40-48.
- [14] 李文军,郑艳玲,张芳,等.循环经济产业链构造与协同效应[J].国土资源科技管理,2024,41(3):80-88.
- [15] 舒辉,胡毅.农业物流生态圈协同发展机制及路径——基于江西淘鑫的单案例分析[J].南开管理评论,2021,24(4):16-28.
- [16] FREI R, JACK L, KRZYZANIAK S A. Sustainable reverse supply chains and circular economy in multichannel retail returns[J]. Business strategy and the environment, 2020,29(5):1925-1940.
- [17] 范建平,李景峰,梁嘉骅,等.基于企业生态系统协同演化的管理研究[J].经济管理,2009,31(6):168-172.
- [18] 胡长生.环境治理的系统性思维论[J].湖北经济学院学报,2018,16(5):89-94.
- [19] 李慧明,左晓利.破解“生态”隐喻的困境——基于环境禀赋的产业生态化研究[J].中国科技论坛,2009(3):50-56.
- [20] 王如松.循环经济的生态误区和整合途径[J].中国特色社会主义研究,2005(5):29-34.
- [21] 俞国方,娄美珍.回顾与前瞻:产业生态系统理论研究[J].四川大学学报(哲学社会科学版),2008(3):92-100.
- [22] ORTON J D, WEICK K E. Loosely coupled systems: a reconceptualization[J]. Academy of management review, 1990,15(2):203-223.
- [23] 周超,杜健,孙聪.松散耦合理论在组织领域的应用:回顾与展望[J].外国经济与管理,2025,47(8):68-85.
- [24] 徐海英,周潮.全球生产网络(GPNs)与区域发展的动态战略耦合——苏南与苏北韩资汽车行业企业价值捕获轨迹的比较[J].人文地理,2019,34(4):89-96.
- [25] 杨旭,孟凡坤.黄河流域生态协同治理视域下国家自主性的嵌入与调适[J].青海社会科学,2022(5):53-62.
- [26] GRAEDEL T E, ALLENBY B R. Industrial ecology[M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1995:11-14.
- [27] 王如松.从农业文明到生态文明——转型期农村可持续发展的生态学方法[J].人文杂志,1999(6):53-59.
- [28] 邓伟根,陈林.产业生态学的一种经济学解释[J].经济评论,2006(6):74-79.
- [29] GENG Y, COTE R. Diversity in industrial ecosystems[J]. International journal of sustainable development and world ecology, 2007,14(4):329-335.
- [30] 曹海霞.资源型区域产业生态系统的演化与治理[J].经济问题,2018(12):88-93.
- [31] 赵欣,谷国锋,刘艳.民族地区生态效率时空演化特征及影响因素研究——以内蒙古自治区为例[J].黑龙江民族丛刊,2023(6):64-72.
- [32] 苗泽华,陈永辉.京津冀区域复合生态系统的共生机制[J].河北大学学报(哲学社会科学版),2016,41(5):79-84.
- [33] GEHMAN J, GLASER V, EISENHARDT K, et al. Finding theory-method fit: a comparison of three qualitative approaches to theory building[J]. Journal of management inquiry, 2018,27(3):284-300.
- [34] 刘子晴.光伏电站与生态产业互补发展研究[J].光源与照明,2023(10):118-120.
- [35] 钟功甫.珠江三角洲的“桑基鱼塘”——一个水陆相互作用的人工生态系统[J].地理学报,1980(3):200-209+277-278.
- [36] 叶显恩,周兆晴.桑基鱼塘,生态农业的典范[J].珠江经济,2008(7):91-96.
- [37] 叶明儿.湖州桑基鱼塘系统与儒家生态伦理思想[J].遗产与保护研究,2016,1(4):37-42.
- [38] 王洪波.从实体性到关系性:思维方法之互补或超越——以个体与整体的关系为例[J].南昌大学学报(人文社会科学版),2016,47(2):28-32.
- [39] 王凤彬,郑腾豪,刘刚.企业组织变革的动态演化过程——基于海尔和IBM纵向案例的生克制化机理的探讨[J].中国工业经济,2018(6):174-192.
- [40] 耿路,杨景旭,王欣怡.渔光互补产业模式发展研究[J].经济研究导刊,2023(24):28-30.
- [41] 郑廷裕,丘雨晨,雷美容.宁德打造“风、光、储、充、用”微电网示范项目清洁能源续能“海上田园”[J].中国电力企业管理,2023(25):43-45.
- [42] 张家华,刘兴国,顾兆俊,等.渔光互补生态经济特征及其发展方向[J].水产学报,2022,46(8):1525-1535.
- [43] 王凤彬,郭奕锴,王晖.企业境内外双循环的动态复合过程机理[J].研究与发展管理,2024,36(5):1-14.

The Structure and Operation Mechanism of Composite Industrial Ecosystem: A Case Study on Circular Ecological Economy

ZHENG Shanshan¹, LI Bin²

(1. School of Business Administration, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China;

2. School of Tourism Sciences, Beijing International Studies University, Beijing 100024, China)

Summary: Industrial symbiosis serves as a pivotal step in transitioning from a linear economy to a circular economy and achieving sustainable development. Analyzing the architecture and operational mechanisms of the composite industrial ecosystem formed among multiple sectors holds significant theoretical and practical value. Drawing from the holistic and dynamic perspectives of traditional Chinese philosophy, this study employs an inductive paired-case study methodology and abductive logic of reasoning. Following theoretical sampling principles, it selects two emblematic models—the historically classic “mulberry-dyke-fishpond” model and the contemporary “fishery-photovoltaic integration” model—for comparative analysis. Through identifying commonalities in diversities, it elucidates how composite industrial ecosystems achieve coupling among system elements and the corresponding process mechanisms under the interwoven Sheng (mutual promotion) and Ke (mutual restraint) relationships.

The findings are as follows. First, composite industrial ecosystems can establish architectures and operational mechanisms characterized by both positive and negative coupling between two or more industries, thereby constructing circular ecological economic systems. Both the “mulberry-dyke-fishpond” and “fishery-photovoltaic integration” models embody multidimensional interactive relations that are simultaneously Sheng and Ke. The interplay of the relationships constitutes the internal condition for the continuous evolution of composite industrial ecosystems. Second, the mutually restraining industries can empower their counterparts through the mutually promoting relations, resulting in a qualitative change of composite industrial ecosystems. Through the interwoven Sheng-Ke dynamics, industries can drive qualitative changes in specific system elements during particular developmental phases. The “fishery-photovoltaic integration” models validate the “three Sheng and one Ke” relational configuration inherent in the “mulberry-dyke-fishpond” model. Third, sub-ecosystems within a composite industrial ecosystem operate autonomously through their respective internal cycles while simultaneously interconnecting into a macro-cycle via an “8-shape” trajectory.

The theoretical contributions of this study are threefold. First, through paired-case analysis, it clarifies the process mechanism by which composite industrial ecosystems achieve material closure in cycling, addressing a theoretical gap in industrial symbiosis research regarding circular attributes and their realization logic. Second, it reveals the architectural foundations and endogenous drivers that enable the perpetual regeneration (endless Sheng) of composite industrial ecosystems. Third, by introducing a “relation-process” explanatory paradigm distinct from substantialist ontologies, it embeds Chinese wisdom into circular ecological economic research.

Key words: composite industrial ecosystem; ecological economy; circular system; separation of time and space

(责任编辑: 尚培培)

[DOI]10.19654/j.cnki.cjwtyj.2026.03.008

[引用格式]郑珊珊,李彬.复合产业生态系统的架构与运行机制研究——循环型生态经济的案例分析[J].财经问题研究,2026(3):104-117.