

区域工业共生网络研究进展及述评

郝珍珍¹, 李 健^{1,2}

(1. 天津大学 管理与经济学部, 天津 300072; 2. 天津理工大学 管理学院, 天津 300384)

摘要:区域工业共生网络作为区域工业生态系统的特征和构建途径成为近年来研究的一个热点。然而,目前区域工业共生网络尚处于理论研究和实践探索阶段,大致形成了区域工业共生网络形成动因、区域工业共生复杂性的度量、生态工业网络的柔性及稳定性、区域工业共生系统的演化、基于社会网络系统视角的研究、生态工业园的建设实践等几个方面,这些研究可为我国循环经济发展以及生态工业园的建设提供重要的理论支撑和实施依据。

关键词:区域工业共生; 复杂性; 稳定性

中图分类号:F062.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2013)03-0039-05

工业共生(Industrial Symbiosis)的概念是借鉴自然生态系统共生的含义逐渐丰富而来,是指地理上临近的一些企业在投资、副产品交换以及公共设施、共享配套服务管理等方面的协作^[1-3]。迄今为止,对工业共生的研究已经不仅仅集中于某些知名的科研院所等研究机构,并逐渐被实战管理所关注,同时研究内容从多个方面深入细化。近年来,随区域经济、系统科学、工业共生等研究的深入,区域工业共生网络成为一个研究的热点。通过对近年来各数据库收录的文章的总结,国内外区域工业共生网络的研究主要集中在区域工业共生网络形成动因、区域工业共生复杂性的度量、生态工业网络的柔性及稳定性、区域工业共生系统的演化、基于社会网络系统视角的研究、生态工业园建设实践等方面。

1 工业共生发展渊源及其概念

工业共生最初构想的提出是在1976年联合国欧洲经济委员会一次主题为“无废物技术和生产”的会议论文中^[4]。而后1989年,Froese和Gallopoulos在描述“工业生态系统”时受到启发,后来发展成为“工业生态学”的主要思想,他们认为“一个成功的工业生态系统,能量和物质消耗被优化,一个过程的输出成为另一个过程的原材料(In a successful industrial ecosystem, a group of firms with a diverse array of input and outputs, exchange materials such that the “waste” or by-product of one becomes an in-

put for another)”,形成了“工业共生”比较具体的概念^[5]。同年,Ayres的文章中提到生物圈和工业经济都是“物质转换的系统”,存在“工业共生关系”。1997年《工业生态学杂志》的总编Reid Lifset评论了共生的物质交换以及在卡伦堡(Kalundborg)的实现过程,但又提醒读者“工业共生并不仅仅是关于共处的企业之间的废物交换,是一种全面的合作”^[6]。

经过大量学者的不懈研究,工业共生的概念也得到了不断丰富和完善。本文认同丹麦卡伦堡公司出版的《工业共生》一书中对“工业共生”的定义:“工业共生是以共生理论和工业生态学相关理论为基础研究不同企业间的合作关系,通过这种合作,共同提高企业的生存能力和获利能力,实现对资源的节约环境保护在这里该词被用来着重说明企业相互利用副产品而发生的各种合作关系”。从上述概念,可以总结为工业共生的本质是企业间的合作,只是这种合作是以副产品的交换为纽带,以提高资源利用效率和保护环境为目标。

2 区域工业共生网络的复杂性研究

目前,国内外通过网络模型对系统的复杂性度量是一个崭新的方向,并且涌现出了许多经典的模型,比如Watts的“小世界网络模型(Watts-Strogatz model,又称WS model)”,Barabasi的“无标度网络模型(Barabasi-Albert model)”^[7]。《系统工程学报》在2010年专设一研究主题“复杂系统与复杂网络”,放

收稿日期:2013-01-29

基金项目:2011年度教育部人文社会科学研究规划基金项目(11YJA630046)

作者简介:郝珍珍(1983—),女,山东潍坊人,天津大学博士研究生,研究方向:能源环境经济;李健(1963—),男,河北河间人,天津理工大学管理学院副院长,教授、博导,管理学博士,研究方向:循环经济与生态工业工程。

于每刊的刊首,如《无标度网络的群聚性对合作行为的影响》^[8]《基于小世界和连接成本的制度网络演化分析》^[9]《有向多重边复杂网络的自适应同步控制》^[10]。纵观每期的文章,研究视角主要是围绕复杂网络,进行深入研究和应用研究,体现了我国学术界对这个研究领域的重视。

工业共生不仅是一个复杂网络,更形成一个产业生态系统。通过相对成形的系统复杂性的模型来分析工业共生网络是一个研究的新视角。这方面的研究并不是很多,有代表性的是清华大学的宋雨萌、石磊,东北大学的黄训江等学者,他们的撰文中提出以物质/能量关联所刻画的工业共生网络是否具有复杂性特征是工业生态学领域值得探讨的重要问题,并运用网络复杂性度量方法,以丹麦卡伦堡和河南省巩义市为案例,对区域工业共生网络的复杂性特征进行了有益探索。分析结果表明:卡伦堡系统不体现复杂性,而巩义市系统则体现复杂性;与真实世界中很多复杂网络的度量结果相一致,巩义市工业共生系统体现出小世界性和无标度性,且高度数节点出现几率高于普通复杂网络;根据度量指标测算结果,巩义市工业共生系统与某些神经网络、代谢网络和生态链网具有相似性^[11]。东北大学的黄训江则用复杂网络理论研究了自主实体共生和复合实体共生网络演化过程中的小世界性及其稳定性问题,并以丹麦卡伦堡和中国贵糖为例进行分析,研究表明:无论是自主实体共生还是复合实体共生其共生网络演化过程均呈现小世界性不断增强特征;在动态选择性连续点攻击方面,自主实体共生较复合实体共生具有更强的攻击耐受性,而在动态选择性连续边攻击方面,由于复合实体共生网络结构的人为精心构建,其一开始稳定性较强,但随着攻击的持续,其抗攻击能力迅速降落,并落后于自主实体共生网络^[12]。

展望未来研究,工业共生复杂性研究还存在着许多重要而又极具挑战性的课题。如网络拓扑结构以图论作为统一的数学框架和工具去进行研究,那么工业共生演化的动力网络是否也具有普适性的动力学框架和分析方法,区域工业网络结构与网络功能关系及其演化规律的研究如何深入发展,“网络中的网络”(如工业共生网络中的副产品交换网)应该如何进行建模、分析和研究^[13],这些都是研究的思路和方向。

3 工业共生网络的稳定性研究

从系统论角度出发,工业生态系统的稳定性是一种开放的、动态的、相对的、整体的稳定^[14]。

3.1 工业共生系统稳定性的影响因素^[15]

生态系统稳定性容易受到关键物种、系统关联度、物种多样性等因素的影响,同样,工业共生网络体系——人工的生态系统也受到多种因素的影响^[16-17],如结构维度因素(主要包括地理位置、成员距离、关键种企业^[18]、生态链长度、行业多样性、相互依赖)、技术维度因素(转化和净化等技术充足、技术革新、信息交换平台、技术机密壁垒)、外部条件维度因素(政府支持^[19]、市场变动、新能源新材料、公众压力、法律制度、经济支持等)等^[20]。

3.2 工业生态系统的稳定性条件

目前,关于工业生态系统稳定性的定量研究正处于摸索阶段。郭莉、蔡小军、曲莎等人在这方面做出了探索性尝试。郭莉基于对生物界种群共生关系(兼性共生、双向专性共生、单向专性共生、偏利共生)的研究,将工业共生模式分为平等型、依赖型、依托型、单向获利型四种模式,采用 logistic 模型,以生态效益变化作为研究对象对四种模式的稳定性条件进行了分析^[21]。曲莎^[22]则在生物种群关联度的概念基础上,从园区企业间生态关联度、总关联度生态率两个指标出发,提出产业园区稳定性的条件。蔡小军^[23]则提出了一种基于合作博弈的利益分配模型,并在此基础上进一步给出了共生产业链稳定性的充分条件,即组建共生产业链的合作各方均获得其所有可能参加共生链的最大收益。

3.3 稳定性的测度与评价

工业共生网络是生态工业园内企业生态合作的主要组织形式,能否稳定运行至关重要。然而对工业生态系统稳定性的测度之所以至今少有人涉足,主要原因在于难以识别表征稳定性的特征参数。童莉构建的工业生态系统稳定性评价指标体系(ESSAI)中,优势度、循环度、调节度用来表征工业生态系统的稳定性^[24]。优势度指标是工业生态系统本身状态的表征,是指标系统中的基本指标;循环度指标是工业生态系统动态平衡状态的综合特性,是稳定性指标系统中的决定性指标;调节度指标表征系统在人为的外界干扰和自然干扰下的抗性和维持平衡状态的能力,是指标体系中的重要指标。然而,由于作者尚未对各系统对 ESSAI 指数值的贡献作进一步分析,导致这套评价体系中各系统指数之间的关系是等权的。这就需要在以后的研究中加以改进。西北工业大学的巩岁平^[25]等则以能值分析为基础,以企业的生产营运为研究对象,提出工业共生网络能值评价指标,并用两个企业的三种生产模型(线性生产、循环生产和工业共生网络生产)定量评价分析。结果显示企业在追

求经济和环境双赢目标驱动下,必将沿着“线性生产—循环生产—工业共生”网络生产模式路径演进。李昆^[26]则以企业群落中的关键种企业为研究切入点,对生态关联度—企业生态位、产业关联度—生态关联度、企业类数—生态关联度等两两因素间的作用关系进行了相关性研究,研究结果表明企业群落的生态关联度决定了工业共生体的规模及稳定性。张萌^[27]以生态工业园工业共生网络组织结构为研究入手点,认为由于工业共生网络运作模式不同,其面临的风险和具有的效率就不同,因而网络运作的安全性和稳定性各有差异。赵进等^[28]则运用环分析方法对产业集群生态系统的稳定性进行了判定。

综上所述,工业共生网络或者产业生态系统的稳定性是近年来的一个新的研究议题,但是,研究尚不深入,之于稳定性的影响因素、稳定性条件和稳定性的测评研究都比较少,且没有深层次的定论,是未来值得研究的一个问题。

4 工业共生的形成动因研究

近年来,工业共生研究开始呈现由废旧资源循环利用的工程设计,向系统规划和绩效评估方面转变。目前关于生态工业共生网络的形成机理的研究并不深入,王兆华运用费用交易理论、杨敬辉运用经济学中的外部性、袁增伟运用企业环境责任市场化理论尝试对其研究。

考特认为生态工业园内的企业社区能获得比单个企业通过个体行为的最优化所能获得的效益之和更大的效益,驱使企业在生态成本内部化约束条件下自发地紧密结合为一个规模巨大的企业群落,最终实现了经济与环境的协调发展^[29]。王兆华等运用交易费用理论指出,由于生态工业园中资产的专用性(包括地理位置的专用性、有形资产的专用性、人力资源的专用性以及优惠政策的专用性等)和交易的频繁性,使得那些客观上具备副产品交易条件的企业形成一个经济活动中心,从而产生建立更为密切交易关系的动力和愿望,企业在空间上的集聚和建立工业共生网络就具备了必要性^[30]。杨敬辉等认为享有共生所带来的外部经济、内化外部不经济是企业寻求共生的动力^[31]。袁增伟则从形成生态产业共生网络的微观要素——企业环境责任入手,从环境伦理的角度阐释生态产业共生网络中企业的五类环境责任,并探讨其形成和运作机制——企业环境责任的市场化运作模式及约束机制^[32]。王贵明的撰文则提出^[33]产业共生网络就是建立以自组织为内在动力、政府规划为协调机制的自组织规划共生模型,其中,经济因素、政府管

制和中间组织是产业组织共生组织形成的主要驱动因素。

关于工业共生网络形成机理的研究,仍然没有脱离传统的企业合作理论,交易费用理论和经济外部性理论等仍然用来解释工业共生的形成。这主要是因为忽视了工业共生的生态特征,忽视了副产品和废弃物作为企业间交换媒介的特殊性^[34]。因此,需要从一个合理的视角去探讨工业共生的形成。其次,以往的研究都是强调工业共生网络的形成是基于对经济绩效、环境绩效追求的目标导向结果,忽视了对于合作本身的研究。

5 工业共生网络演化研究

目前,国际上网络组织理论的发展是伴随着经济学家对企业本质的研究而发展起来的。在国内,由于经济理论研究的局限,一定程度上影响了网络组织的发展,可以说我国网络组织的研究尚处于援引和借鉴阶段,主要侧重于网络组织的生成机理以及经济学解释等理论性问题上,对网络组织的实际运作研究相对较少。

系统演化主要是指系统从无序走向有序,从非平衡走向平衡的过程,可采用协同的观点审视之。协同学的研究对象是“远离平衡态”的开放系统在一定的外界作用下经过“自组织”的协同运动而产生由无序到有序的新结构的规律。其中序参量是系统演变的内部动力,起到主导作用和役使作用,从而使系统涌现出新的组织和结构形态^[35]。

工业共生是工业生态系统的主要特征和实现途径,只要有工业生态系统,就会有工业共生现象存在。由此而言,工业共生网络和工业生态系统的概念是相通的。美国耶鲁大学以 chetow 教授为研究带头人的耶鲁大学森林城市学院研究中心一直致力于工业共生系统的研究。近年来,研究中心的研究方向也逐渐从工业共生网络形成机制转移到系统演化和系统稳定性优化上,从理论转移到了实证^[36-37],并且实证研究逐渐从美欧等发达国家转向亚洲的中国和印度^[38]。

席旭东^[39]深入分析了矿区生态工业共生系统演化的动力机制、演化特征和演化方向,建立了矿区生态工业共生总体发展演变模式,并且指出其系统总体发展演变模式主要由矿区生态工业共生组织发展模式和共生行为发展模式、共生发展选择模式以及矿区生态工业共生系统发展的生命周期四个要素共同决定。新疆大学的冯琳^[40]则构建了多目标优化模型,对西部干旱区工业共生网络的优化进行了研究,模型

以共生网络经济效益、社会效益、资源效益和环境效益的综合最优作为目标函数,以非线性的相对优属度作为权重系数,将资源瓶颈、环境污染排放总量控制目标等作为约束条件,求解多目标问题,不仅表达了共生系统的复杂性,又体现了工业共生追求经济—环境双赢的内涵。袁增伟则从构成生态产业共生网络的微观要素——企业环境责任入手,开发了基于企业环境责任市场化机制的生态产业共生网络运营成本模型,探讨了影响代理企业运营成本的主要因子和整个共生网络系统的演化机制^[41]。柴立和则以广义熵原理为分析切入点,在定义生态系统的“广义熵”的基础上,指出控制生态系统演化动力学的物理学法则是“最大广义熵原理”,即系统总是寻找一种优化过程使得在给定的约束或代价下广义熵最大,即总是使自身得到最大限度的发展,从而探究系统的演化与优化^[42]。同时,作者还以长三角为例,研究了区域经济演化的新复杂系统^[43]。王发明则研究了产业集群的演化^[44],这对工业共生系统的演化研究可提供一定的借鉴。

同时,国家自然科学基金在工业共生研究领域的资助项目也为我们提供了新的研究思路。南京大学袁增伟教授2005年申请并完成的《生态产业共生网络的形成机理及其稳定性研究》(40501027),其后在2009年申请下来的《产业共生体系演化机理及其优化调控研究》(40971302)。2011年中科院的耿涌教授申请下来的《产业生态系统的演化机制、优化路径及管理对策研究》(71033004/G0312),也就是说,工业共生体系的研究逐渐从内生理理转移到更宏观层面上的系统演化和优化研究,这也逐渐明晰了国内外工业共生的研究热点、重点和难点问题。

6 工业共生网络的实践研究

工业共生网络一个重要的实践形式是产业生态园的建设。国内外生态工业园的建设主要有以下几种模式:一是在原先产业园基础上的改造升级;二是根据区域及周边产业关联分析在产业链搭建的基础上实现工业共生,从而建立生态园区;三是以某一个核心企业(关键种企业)的产业辐射的基础上构建生态产业园区,如卡伦堡产业园、广西贵糖生态产业园^[45]。

国内与工业共生网络相关的研究课题和实践活动也仅是刚刚开始,如清华大学钱易院士主持的“浙江街州沈家生态工业园规划”项目从工艺和技术的角度对园区内的工业共生网络进行了探索;国家环境科学研究院牵头联合其它科研机构在全国省市开展的

一些卓有成效的生态工业园试点项目等,这些都为我国生态工业园内工业共生网络的规划进行了有益的探索。

生态工业园模式是发展循环经济的一个重要思路,是目前减低污染,提高资源利用效率和保护生态环境的最好运作方式。而由于其形成路径和模式的复杂性,生态工业园的建设存在诸多风险,如组织结构复杂、分配利益不均,地域文化差异等动摇着生态工业网络的稳定性。提升系统稳定性的一个重要的途径是进行柔性化分析。对于区域工业共生网络而言,由于网络中企业成员之间存在物质、能量、信息、价值的交换,柔性问题便成为整个网络发展的一个瓶颈。对此,大连理工大学的秦颖、武春友等的撰文中提出了提升产业生态园运作的柔性的措施^[46]。上海大学的宋金涛、梁日忠等学者以热轧氧化铁皮资源化研究对象,提出将热轧氧化铁皮用于生产永磁铁氧体预烧料和永磁铁氧体磁件,并利用冶金过程中副产的富余煤气为过程提供能量,生产废水处理循环利用的工业共生模式。重点对该共生模式工程化所涉及的关键工艺、物质流、能量流、主要设备以及工程实施的平面布置和生态风险防范进行了研究^[47]。尹建华、王兆华学者则细致研究了工业园区新陈代谢的核心环节副产品交换系统的建立,并在此基础上,提出大连开发区的通过副产品交换系统的建立提高工业园区内的资源循环与管理的效率和效益的建议与对策。

随着生态工业园模式逐渐被国内外认同,各地独具特色的生态工业园建设也逐渐被提上日程。在我国采取试点示范园区带动的发展方式,对工业园的研究也逐步成为一个热点。由此,工业共生网络的研究不仅在理论方面,许多专家学者也在实践层面进行了很多有意的探索。将理论应用于工业园的发展实际,以为某一特定工业园提出发展的可行性建议,这不仅将理论得到了实践的检验,而且具有重要的实际意义。

总之,尽管国内对工业生态学理论和实践方面的探索已经开始,但还主要侧重于宏观政策和理念介绍的层面,对于涉及园区建设的一些微观层面的研究甚少,尤其是对工业共生网络的研究,目前还尚未引起广大学者的足够重视。因此,为保障我国生态工业园建设的顺利推广,加强对工业共生网络的全面研究已经成为当务之急。

参考文献

- [1] CHERTOW M R, ASHTON W S. Industrial symbiosis in Puerto Rico: environmentally - related agglomeration econo-

- mies [J]. *Regional Studies*, 2008, 42(10): 1299—1312.
- [2] CHERTOW M R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy [J]. *Annual Review of Energy and the Environment*, 2000(25): 313—337.
- [3] ASHTON W S, CHERTOW M R. Coordinated resource management in regional industrial ecosystems [D]. Yale University, 2008.
- [4] 郭莉. 工业共生进化及其技术动因研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2005.
- [5] FROSCHE R A, GALLOPOULOS N E. Strategies for Manufacturing [J]. *Scientific American* 1989, 26(3): 144—152.
- [6] 王兆华. 生态工业园工业共生网络研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2002.
- [7] 王建伟, 荣莉莉, 于凯. 基于节点批量生长机制的无标度网络演化模型[J]. *系统工程学报*, 2010, 25(5): 579—584.
- [8] 谢逢洁, 崔文田, 孙笑明. 无标度网络的群聚性对合作行为的影响[J]. *系统工程学报*, 2010, 25(2): 152—158.
- [9] 范如国, 李星, 黄本笑. 基于小世界和连接成本的制度网络演化分析[J]. *系统工程学报*, 2010, 25(6): 835—840.
- [10] 孙海义, 张庆灵, 等. 有向多重边复杂网络的自适应同步控制[J]. *系统工程学报*, 2010, 25(6): 798—803.
- [11] 宋雨萌, 石磊. 工业共生网络的复杂性度量及案例分析[J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2008, 48(9): 1441—1444.
- [12] 黄训江. 工业共生网络演化的小世界性及稳定性分析[J]. *东北大学学报: 自然科学版*, 2011, 32(6): 887—890.
- [13] 陈关荣, 陈增强, 吕金虎. 复杂网络科学与工程的研究进展[J]. *系统工程学报*, 2010, 25(6): 723—724.
- [14] 武春友, 邓华, 段宁. 产业生态系统稳定性研究述评[J]. *中国人口、资源与环境*, 2005, 15(5): 20—25.
- [15] 张萌, 胡军. 工业生态系统稳定性研究综述[J]. *东北林业大学学报*, 2007, 35(6): 77—80.
- [16] 邓华. 我国产业生态系统稳定性影响因素研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [17] 尹艳冰, 赵涛, 吴文东. 面向生态工业园的工业共生体成长影响因素分析[J]. *科技进步与对策*, 2009, 26(6): 64—67.
- [18] 李昆, 彭纪生. 基于生态位测度的关键种企业作用前提研究[J]. *中国人口、资源与环境*, 2009, 19(4): 129—133.
- [19] 杨玲丽. 生态工业园工业共生中的政府作用——欧洲与美国的经验[J]. *生态经济*, 2010(1): 125—128.
- [20] 张萌, 胡军. 工业生态系统稳定性研究综述[J]. *东北林业大学学报*, 2007, 35(6): 77—80.
- [21] 郭莉, 苏敬勤. 基于 Logistic 增长模型的工业共生稳定分析[J]. *预测*, 2005, 24(1): 25—30.
- [22] 曲莎, 王京芳, 周浩, 等. 生态工业园共生网络的关联度分析[J]. *科技进步与对策*, 2009, 26(2): 41—44.
- [23] 蔡小军, 李双杰, 刘启浩. 生态工业园共生产业链的形成机理及其稳定性研究[J]. *软科学*, 2006, 20(3): 12—14.
- [24] 童莉. 生态工业园区产业链设计及其系统稳定性研究——以烟台、乌鲁木齐为例[D]. 北京: 北京化工大学, 2006.
- [25] 巩岁平, 任军号, 张宝磊. 基于能值分析的工业共生网络评价[J]. *科技管理研究*, 2010(23): 34—37.
- [26] 李昆, 彭纪生. 基于生态位测度的关键种企业作用前提研究[J]. *中国人口、资源与环境*, 2009, 19(4): 129—133.
- [27] 张萌, 姜振寰, 胡军. 工业共生网络运作模式及稳定性分析[J]. *中国工业经济*, 2008(6): 77—85.
- [28] 赵进, 刘延平. 产业集群生态系统协同演化的环分析[J]. *科学管理研究*, 2010, 28(2): 70—72.
- [29] COTE R, SMOLENAARS T. Supporting pillar as for Industrial ecosystem[J]. *Journal of Cleaner Production*, 1997, 5(1): 67—74.
- [30] 王兆华, 武春友. 基于交易费用理论的生态工业园中企业共生理研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2002(8): 9—13.
- [31] 杨敬辉, 武春友, 张文博. 试用外部性理论分析生态工业园的经济学机制[J]. *中国资源综合利用*, 2004(4): 30—33.
- [32] 袁增伟, 毕军. 生态产业共生网络形成机理及其系统解析框架[J]. *生态学报*, 2007, 27(8): 3182—3188.
- [33] 王贵明. 产业共生组织的运行机制与驱动因素[J]. *改革*, 2008(6): 61—65.
- [34] 张萌. 工业共生研究综述[J]. *哈尔滨工业大学学报: 社会科学版*, 2007, 9(4): 97—102.
- [35] 霍兰, 周晓牧. 隐秩序——适应性造就复杂性[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
- [36] CHERTOW M R, ASHTON W S, ESPINOSA J C. Industrial symbiosis in Puerto Rico: environmentally related agglomeration economies [J]. *Regional Studies*, 2008, 42(10): 1299—1312.
- [37] CHERTOW M R, MYATA Y. Assessing collective firm behavior: comparing industrial symbiosis with possible alternatives for individual companies in Oahu, Hawaii [J]. *Business Strategy and the Environment*, 2010(19): 1255—1268.
- [38] SHI H, CHERTOW M R, SONG Y Y. Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18(3): 191—199.
- [39] 席旭东. 矿区生态工业共生系统演化机理与模式研究[J]. *山东工商学院学报*, 2008, 22(2): 19—26.
- [40] 冯琳, 孙宝生. 干旱区工业共生网络优化研究——以新疆石河子市为例[J]. *干旱区地理*, 2009, 32(6): 971—977.
- [41] 袁增伟, 毕军. 生态产业共生网络运营成本及其优化模型开发研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2006(7): 92—123.
- [42] 冯繁一, 柴立和. 基于广义熵原理的生态系统演化动力学[J]. *科技导报*, 2009, 27(4): 36—41.
- [43] 邵潇, 柴立和. 区域经济演化的新复杂系统模型及仿真[J]. *科技创新导报*, 2009(15): 19.
- [44] 王发明. 产业集群演进研究: 基于组织生态视角[J]. *大连理工大学学报: 社会科学版*, 2010, 31(2): 16—20.
- [45] 张文忠. 产业发展和规划的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [46] 秦颖, 武春友, 吴春光. 生态工业共生共生网络运作中存在的问题及其柔性化研究[J]. *软科学*, 2004, 18(2): 38—41.
- [47] 宋金涛, 梁日忠, 赵艳龙等. 热轧氧化铁皮用于永磁铁氧体生产的工业共生研究[J]. *磁性材料及器件*, 2011(2): 65—68.

Research on the Factors Affecting Resource and Environmental
Performance Index: based on the 2000—2010
inter-provincial panel data of China

WANG Sheng

(School of Economy, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Based on the 2000—2010 inter-provincial panel data, the paper explores the impact of economic factors, degree of Openness, regional and demographic factors on the Resource and Environmental Performance Index (REPI). The results suggest that the impact of every factor vast dramatically both in mechanism and extent. Economic factors are proved to be the significant ones and the Pollution Haven phenomenon exists in middle and west part of China.

Key words: the resource and environmental performance index; panel data; regional differences; pollution haven phenomenon

(上接第 43 页)

Review on Regional Industry Symbiosis Network

HAO Zhen-zhen¹, LI Jian^{1,2}

(1. Department of Management and Economy, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. School of Management, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: As a regional industrial ecosystem characteristics and build ways, Regional Industrial Symbiosis Network becomes a hot research topic recent years. However, the regional industrial symbiosis network is still in the theoretical study and practical exploration stage, and roughly formed research directions, such as the formative causation of regional industrial symbiosis network, the complexity metrics of regional industrial symbiosis, the flexibility and stability of eco-industrial network, the evolution of regional industrial symbiosis system, the study based on social network system, the eco-industrial park construction. These studies can provide important theoretical support and implementation basis for the development of China's circular economy, as well as the eco-industrial park construction.

Key words: regional industrial symbiosis; complexity; stability

(上接第 70 页)

- [12] 陈立泰,张祖姝. 服务业集聚与区域经济增长的实证研究[J]. 山西财经大学学报,2010,32(10):65—71.
- [13] 郑敏. 产业集聚与区域经济增长关系研究——对长江三角洲地区的实证研究[J]. 经济研究,2010(9):34—35.
- [14] 周兵,蒲勇健. 一个基于产业集聚的西部经济增长实证分析[J]. 数量经济技术经济研究,2003(8):143—147.

An Empirical Study of the Industrial Cluster and the Economic Increase in Wuhu

WU Cong-guang¹, WU Chang-yi²

(1. College of Territorial Resources and Tourism;

2. The Scientific Research Institution, Anhui Normal University, Wuhu Anhui 241003, China)

Abstract: Firstly, this paper summarized definitions of industrial cluster home and abroad and its relation with economic increase. Then, typical industries in Wuhu were chosen and its location entropy index was calculated, which proved the fact that industry has a tendency of gathering. Finally, the conclusion was drawn that there is a positive relationship between the industrial cluster and the economic increase in Wuhu, through setting the quantitative model between them and analyzing the relationship between them with Eviews. However, this relationship isn't apparent mainly because the scale of industrial cluster in Wuhu isn't enough.

Key words: industrial cluster; economic increase; empirical study