

# 加权超网络视角下生态产业结构演进研究

王治莹<sup>1</sup>, 李春发<sup>2</sup>

(1. 南开大学 商学院, 天津 300071;  
2. 天津理工大学 管理学院, 天津 300384)

**摘要:** 如何从促进生态文明建设的产业结构演进过程中把握其动力机制, 揭示其内在机理和演进趋势是当前产业结构研究的热点问题。针对产业及其动力因素所形成的复杂系统所具有的多维性、多层性和多属性特点, 运用超网络工具构建了“产品—技术—资源”超网络。经分析表明, 演进的内在机理在于技术知识和资源信息在超网络中的流动。进而提出了技术和资源对产业结构演进的贡献广度和贡献深度以及产业结构演进对技术资源的需求广度和需求深度, 分别实现了对超网络中三层网络的加权, 并运用该网络分析了生态产业结构演进的新趋势。

**关键词:** 产业结构演进; 生态文明建设; 加权超网络; 动力机制

中图分类号: F270.7

文献标识码: A

文章编号: 1008-407X(2014)01-0008-05

## Evolution of Eco-Industrial Structure from a Perspective of Weighted Supernetwork

WANG Zhi-ying<sup>1</sup>, LI Chun-fa<sup>2</sup>

(1. Business School, Nankai University, Tianjin 300071, China;  
2. School of Management, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** These are hot issues in current studies on how to grasp dynamic mechanism, to promulgate internal mechanism and to analyze evolution trends in the evolution of industrial structure so as to promote the construction of ecological civilization. Aiming at the characteristics of multi-dimensions, multi-layers, and multi-attributes in the complex system made up of industries and their dynamic factors, this paper constructs the supernetwork model of “products-technologies-resources”. The results show that inner mechanism of evolution of industrial structure is the flow of technical knowledge and resource information. Then, the concepts of contribution breadth, contribution depth, demand breadth and demand depth are proposed. Furthermore, the three networks in supernetwork are weighted respectively. Finally, the new evolution trends of the eco-industrial structure are analyzed by applying the weighted supernetwork.

**Key words:** evolution of industrial structure; construction of ecological civilization; weighted supernetwork; dynamic mechanism

## 一、引言

生态文明是在人类历史发展过程中形成的人与自然、人与社会环境和谐统一、可持续发展的文化成果的总和, 是人与自然交流融通的状态<sup>[1]</sup>。因此, 生态文明

是人类文明的新形式, 也是人与自然共处的新方式。“产业结构”是通过产业间质的组合与量的规定构成的产业资源的配置与分布结构, 这种结构既是产业间的数量比例关系, 也是区域内产业之间和区域间产业联系的有机耦合<sup>[2](P44)</sup>。

产业结构是产业发展的主线, 其演进过程倍受人

收稿日期: 2013-04-01; 修回日期: 2013-07-07

基金项目: 国家社会科学基金项目: “促进生态文明建设的产业结构研究”(08BJY004)

作者简介: 王治莹(1987-), 男, 山东济南人, 南开大学商学院博士研究生, 主要从事突发事件应急管理、超网络理论及其应用研究, (E-mail: zywang87@163.com); 李春发(1968-), 男, 湖南郴州人, 教授, 博士, 主要从事复杂网络、系统优化与决策研究。

们关注。1841年,李斯特提出产业结构演进的五阶段理论和国际经济关系演变三阶段理论<sup>[3]</sup>。20世纪30年代至40年代,霍夫曼和克拉克分别建立了“霍夫曼工业化经验法则”和“配第一克拉克定理”。霍夫曼指出,由于工业化发展过程中四个阶段的主导产业不同,逐渐由消费品工业向资本品工业转移<sup>[2](P46)</sup>;克拉克采用三次产业分类法,考察经济发展过程中劳动力在第一、二、三次产业中的转移规律与分布状况<sup>[2](P47)</sup>。20世纪50年代,库兹涅茨将产业结构演进规律的研究深入到三次产业所实现的国民收入的比例关系及其变化上来,揭示了产业结构变动的总方向<sup>[2](P48-49)</sup>。1960年,日本经济学家赤松要于提出著名的“雁行形态理论”,指出各国产业的发展应与国际市场密切联系,使产业结构向国际化发展<sup>[2](P50)</sup>。

当前有关产业结构演进的研究较少从系统和量化的层次上剖析产业结构演进的动力机制,较少从产业系统的相互关系中整体把握产业结构演进的内在机理和动态演进趋势,而随着生态文明建设日益深入人心,产业结构演进势必呈现新趋势。若将产业结构演进的各动力因素分别视为网络系统,则这些网络系统和产业系统可共同构成多维性、多层性、多属性的复杂系统,而超网络作为分析这类系统的有效工具,近年来,在供应链<sup>[4]</sup>、生态工业共生网络<sup>[5]</sup>、知识管理<sup>[6][7]</sup>、资源配置<sup>[8]</sup>、产业集群<sup>[9][10]</sup>、信息传播等方面得到广泛应用<sup>[11][12]</sup>。基于此,本文在对产业结构演进的动力因素分析基础上,构建“产品—技术—资源”超网络模型,分析生态产业结构演进的内在机理,进而分别实现对超网络中三层网络的加权,以期深刻把握产业结构的演进趋势,为其定量分析提供新的思路和方法。

## 二、产业结构演进及其动力因素

工业文明时期,人类毫无节制地开发各种不可再生资源,给人类社会带来了一系列生存发展问题,引发了人类的深刻反思,生态文明构想得以提出。1995年9月,党的十四届五中全会将可持续发展战略纳入“九五”和2010年中长期国民经济和社会发展规划。进入21世纪后,中共十六大报告把建设生态良好的文明社会列为全面建设小康社会的四大目标之一;中共十七大报告将建设“生态文明”作为更高水平小康社会目标的新要求,把生态文明建设引申到经济社会领域。自2009年12月哥本哈根联合国气候变化大会以来,发展循环经济、推进节能减排、提倡低碳经济,日益成为

当今世界发展的主旋律。2011年3月我国颁布的《国民经济和社会发展第十二个五年规划》明确指出,大力发展循环经济,加大环境保护力度,促进生态保护和修复,建设资源节约型、环境友好型社会。

产业结构的演进影响国民经济的增长。1979~2010年,中国GDP从4062.6亿元增长到397983亿元,增长了97.96倍<sup>[13][14]</sup>。与此同时,我国的产业结构发生着巨大变化,图1是1979~2010年间三次产业在国内生产总值中的构成比例。

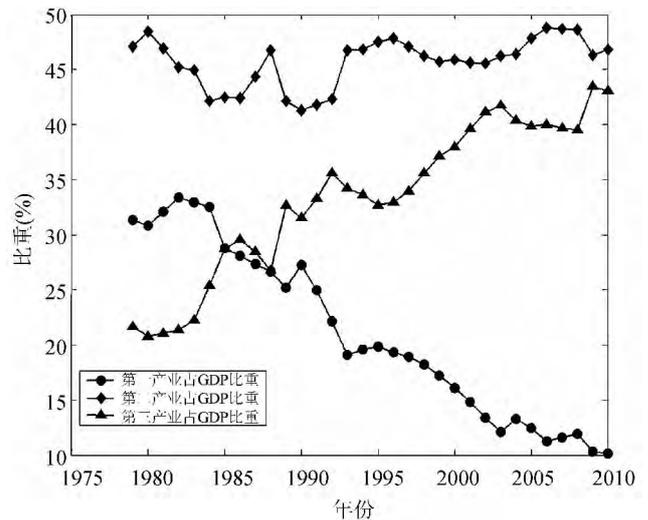


图1 1979~2010年间三次产业占GDP比重

由图1可知,第一产业占GDP的比例在1979~2010年持续下降,从1979年的31.3%下降到2010年的10.1%,由第二位下降为第三位;第二产业占GDP的比例呈现波浪式前进,从1979年的47.1%演进到2010年的46.8%,最大值48.7%,最小值41.3%,波动幅度不大且始终居于主导地位;第三产业占GDP的比例逐步上升,从1979年的21.6%上升至2010年的43.1%,由第三位上升为第二位。因此,我国产业结构已由第一、二产业为主导转变为第二、三产业主导,第一产业成为基本的物质供给产业。

造成产业结构演进的动力因素大致可分为技术创新、企业组织、资源环境等内部因素和产业政策、竞争环境、市场环境等外部因素。生态产业结构演进的本质是传统产业向高新技术产业的转变,为达到资源的优化配置和环境保护使得各种生产要素在产业间进行有效流动。一方面,与传统的产业结构演进不同,生态产业结构演进需要兼顾经济效益和生态效益,追求两者的最大化;另一方面,与传统的产业结构演进存在相同之处,即两者的演进均受一些因素的推动,这些驱动

因素间的关系如图 2 所示。由图 2 可知,技术创新和资源环境对生态产业结构演进起着最为重要的作用。首先,技术创新可降低企业成本,缩短新产品的开发周期,扩大产品和服务的差异化,提高转换成本,改善企业与客户、供应商的关系,为适应信息技术在企业管理中的应用和升级,企业就必须调整组织结构,优化业务处理流程;其次,技术创新一方面可推动各生产要素实现在一国及世界范围内的自由流动,促使这些生产要素充分发挥其效用的“最优区位”,另一方面可以促进优势产业的壮大和阻碍劣势产业的发展,是良好的竞争环境和市场环境形成的助推器;最后,良好的技术创新和资源环境可促进市场机制的完善,使得市场机制对生态产业结构演进作用机制的缺陷降到最低,从而影响中央政府的产业政策制定。

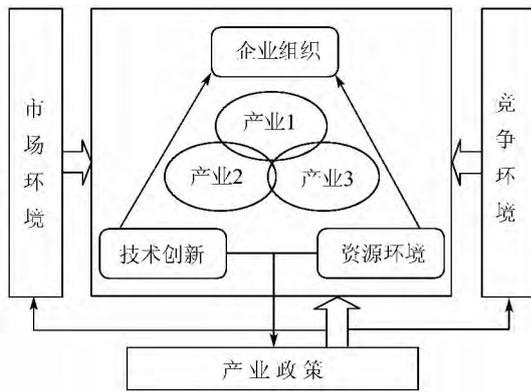


图 2 生态产业结构演进动力因素

### 三、“产业—技术—资源”加权超网络

在各产业构成的系统中,若将产业抽象为结点,产业间的相互关系抽象为边,则可构建产业网络模型,生态产业结构演进成为产业网络动态演化的特定现象,因此,研究生态产业结构演进就需要搞清产业网络的内在演化机制。生态产业结构演进本质不仅仅是产业自身简单的演进,它是在技术和资源共同作用下的多维性、多层性、多属性网络化的结构演进。只有全面分析产业网络、技术网络和资源网络的内在演化机制,才能更好地把握产业结构演进的动力机制、内在机理和发展趋势。

超网络是指“高于而又超于现存网络”的网络,即由多种网络构成的网络,而连边带有权重的超网络即为加权超网络<sup>[15]</sup>。由于超网络能够实现各层子网络的分层和耦合,因此可为产业结构的演进过程中涉及的产业网络、技术网络和资源网络提供有力的建模工

具。此外,通过构造加权超网络,可实现对产业结构演进的动力和趋势的定量化分析。

#### 1. “产品—技术—资源”超网络

由于不同产业的产品不同,因此产业网络可运用产品网络来标识,并可在某种程度上抽象得到。由图 2 可知,技术和资源对生态产业结构演进有直接驱动作用,并且通过产品得以体现,而产品、技术和资源是不同质的,因此产品网络、技术网络和资源网络不能简单整合为基于图论的复杂网络,需要借助超网络将其耦合为一个整体,如图 3 所示。

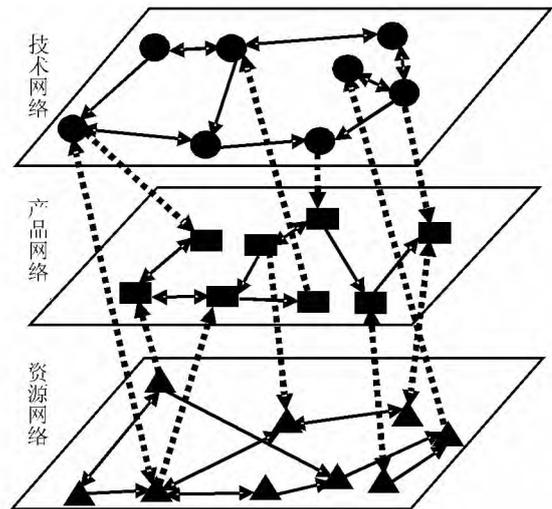


图 3 “产品—技术—资源”超网络示意图

在图 3 中,产品网络由产品按产品生产关系所构建;技术网络由技术按技术间的相关关系所构建;资源网络由资源按归属类别关系所构建。并且,这三层子网络中的关系都具有方向性和不对称性。位于不同层的网络间的箭头代表异质网络间的映射关系:由产品网络指向技术网络的箭头表示某种产品的生产需要某种技术,由技术网络指向产品网络的箭头表示某种技术可生产某种产品;由产品网络指向资源网络的箭头表示某种产品的生产需要某种资源,由资源网络指向产品网络的箭头表示某种资源可生产某种产品;由资源网络指向技术网络的箭头表示某种资源的使用需要某种技术,由技术网络指向资源网络的箭头表示某种技术可操作某种资源。

在“产品—技术—资源”超网络中,对于技术创新而言,一方面可提高各部门的生产率,也可提高资源的利用率,从而提高生态效益;另一方面,技术创新引起各部门生产率的差异化,导致经济效益、社会效益、环境效益的差异化,显著的差异化必然导致产品网络的

演化成为企业经济进步和生态发展的重要因素,推动生态产业结构演进。对于资源环境而言,由于资源环境问题既存在正外部性又存在负外部性,需要将负外部性的社会成本内部化,以减少资源滥用和降低废弃物的排放,并需要将正外部性的社会收益内部化,使具有外部性的产品和服务的供给水平达到最优。当前解决资源环境外部性的工具主要可分为两大类:第一,法律法规,如燃油税、排污费、排污标准和环境影响评价制度等;第二,市场配置调节,如生产者延伸责任制、排污权交易等。然而,最根本且有效的方式在于产业结构的调整和优化升级以及合理的产业布局。因此,资源环境对产品网络的演进具有重要拉动作用。

由此可知,生态产业结构演进的直接驱动机理在于技术知识和资源信息在超网络中的流动,技术知识和资源信息在结点间的流量越大,流速越快,说明这些产品在功能、形式及生产流程上的相关性越大,则这些产品所标识的产业结构越容易融合和演进。同时,结点间的大流量会在相关产品结点上分流,其中,绿色资源和相应技术知识的推动造成其他产品的优化升级,随着规模的增大最终会引发产业结构的演进。

## 2. “产品—技术—资源”超网络的加权与转化

为定量刻画生态产业结构演进的直接动力机制和演进趋势,需要对图 3 所示的“产品—技术—资源”超网络进行加权。为此,首先给出以下四个定义:

定义 1 技术或资源对产业结构演进的贡献广度:“产品—技术—资源”超网络中的同一技术或者同一资源在产品网络中应用的产品个数。

定义 2 技术或资源对产业结构演进的贡献深度:“产品—技术—资源”超网络中的不同产品所应用的相同技术或资源的个数。

定义 3 产业结构演进对技术或资源的需求广度:“产品—技术—资源”超网络中的同一产业在技术或资源网络中需求的技术或资源个数。

定义 4 产业结构演进对技术或资源的需求深度:“产品—技术—资源”超网络中的不同技术或不同资源所共同作用的相同产业的个数。

依据定义 2 和各个异质网络间的映射关系可计算出产品网络中任意两个产品间所应用的相同技术和资源的数目。以两个产品间所应用的相同技术和资源数目的总和作为这两个产品结点间边的权重,则可实现对产品网络的加权。同理,根据定义 4 和各个异质网络间的映射关系可分别计算出技术网络或资源网络中任意两种技术或两种资源所共同作用的相同产业的数

目,以该数目作为任意两种技术或任意两种资源结点间边的权重,则可实现对技术网络和资源网络的加权。进一步地,可利用 Newman 等的最大边介数方法对产品网络进行逐层划分,可将“产品—技术—资源”加权超网络转化为“产业—技术—资源”加权超网络<sup>[16]</sup>。

通过贡献广度和深度及需求广度和深度的分析,可以对生态产业结构演进进行一定的定量分析,对生态产业结构演进趋势作进一步预测。另外,通过对“产品—技术—资源”超网络中三层网络进行加权,可以深刻把握产业结构演进的内在机理。在实际中,由于信息产业的网络技术和操作系统技术通用度较大,从而对产业结构演进的贡献广度较大。由于教育、新闻、出版社等产业采用相同的技术(如多媒体技术、网络技术)和资源(如纸张、打印机等),因此技术和资源对产业结构演进的贡献深度较大,从而使产业网络中这些产业间边的权重较大,使得这些产业的相似性较大,容易造成产业间的融合,引发产业结构的演进。

## 四、产业结构演进的新趋势

只有从产品的视角构建产品网络,并与技术网络、资源网络耦合为“产品—技术—资源”加权超网络,进而转化为“产业—技术—资源”加权超网络,从系统的视角才能真正揭示当前生态产业结构演进的内在机理和发展趋势。通过对“产业—技术—资源”加权超网络的分析,可总结出生态产业结构演进的四点新趋势。

### 1. 产业发展融合化

在经济全球化的今天,国与国间的技术不断相互渗透、资源不断相互流通使得“产业—技术—资源”加权超网络中的贡献广度和贡献深度逐步增大,并且随着各国人才和知识的汇聚和交流,使得技术创新和资源的开发得到较大的推动,从而也可增大“产业—技术—资源”加权超网络中的需求广度和需求深度,势必形成技术和资源全球化配置的相互融合的产业体系。

### 2. 产业结构绿色化

在“产业—技术—资源”加权超网络中,不同产业间绿色资源和清洁能源的流量变化可利用贡献深度归结为产品网络中产品结点间边的权重变动。随着网络局部绿色资源和清洁能源的流量的增大,在生态文明建设日益受到各国重视的大背景下,一方面使绿色新能源逐步取代原有高排放能源,造成产品网络中产品结点间边的权重的重新分布,促进产业结构的升级;另一方面,大流量可在相关产品上进行分流,造成新能源

在产业网络中的扩散,使得其他产业结点间权重发生变化,引起更大规模的绿色资源和相应技术的需求,引发产业结构的演进。

### 3. 产业转移全球化

在“产业—技术—资源”加权超网络中,网络局部产业间的技术和资源的流动及分流,推动这些产业的优化升级,技术和资源的优化配置进而带动网络内其他产业的演进。在经济全球化背景下,产业结构的界限变得模糊,形成国际化的产业体系。由于各国技术、资源、产业发展的不均衡,在超额利润的驱使下,国际资本必然向资源丰富、成本低廉的国家转移,产业转移全球化成为国际竞争的必然结果。

### 4. 产业演进群落化

当前以信息产业为代表的一些高新技术产业,其核心技术和资源对产业结构演进的贡献广度和深度值很大,产业结构演进对核心技术和资源的需求广度和深度值也很大,而且技术和资源均具有择优特性,使得不同产业均具有共同的技术和资源基础,从而在加权超网络的三层网络局部范围内各结点间边的权重均较大,形成产业结构演进的群落特点。群落内技术和资源的流动和分流进而也推动技术和资源对产业结构演进的贡献广度和深度值的增大及产业结构演进对技术和资源的需求广度和深度值的增大。当贡献深度值增大到一定程度时,产业可能分化,形成新的产业;当需求深度值增大到一定程度时,技术和资源也可能再造,形成新的技术和资源。

## 五、结论与展望

本文以超网络为工具,构建了“产品—技术—资源”超网络,分析得出演进的内在机理在于技术知识和资源信息在超网络中的流动,进而提出了技术和资源对产业结构演进的贡献广度和贡献深度及产业结构演进对技术和资源的需求广度和需求深度,分别实现了对超网络中三层网络的加权,并利用该网络分析了生态产业结构的演进趋势,得到了一种分析产业结构演进的方法,为其定量分析提供新的思路和方法。

事实上,通过网络视角来分析生态产业结构演进还有许多方面需要进一步研究。如一方面可以构建“产业—技术—资源”超网络演化模型来刻画生态产业结构的动态演进过程,进而对演进趋势进行仿真;另一方面,可通过构建超网络演化模型来分析产业结构不同演进阶段的统计特征,并可结合演化博弈等方法来

总结产业结构的动力机制和演进规律<sup>[17]</sup>,这对政策的制定及良好的市场环境的建立均具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 冯之浚. 生态文明和生态自觉[J]. 中国软科学, 2013, (2): 1-7.
- [2] 苏东水. 产业经济学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [3] 王师勤, 田黎瑛. 李斯特经济发展阶段论评介[J]. 求是学刊, 1988, (5): 13-18.
- [4] NAGURNEY A, TOYASAKI F. Supply chain supernetworks and environmental criteria[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2003, 8 (3): 185-213.
- [5] 王治莹, 李春发. 超网络视角下生态工业共生网络稳定性研究[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2013, 34(1): 14-18.
- [6] 于洋, 党延忠. 组织人才培养的超网络模型[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(4): 154-160.
- [7] 席运江, 党延忠, 廖开际. 组织知识系统的知识超网络模型及应用[J]. 管理科学学报, 2009, 12(3): 12-21.
- [8] 王志平, 周生宝, 郭俊芳, 等. 基于变分不等式的网络广告资源分配的超网络模型[J]. 大连海事大学学报, 2007, 33(4): 69-72.
- [9] 王梅, 王文平. 基于超网络视角的产业集群升级研究[J]. 管理学报, 2012, 9(4): 570-577.
- [10] 王梅, 王文平, 杨东. 互补性知识超网络视角下的产业集群升级研究[J]. 科技进步与对策, 2013, 30(2): 60-65.
- [11] 尚艳超, 王恒山, 王艳灵. 基于微博上信息传播的超网络模型[J]. 技术与创新管理, 2012, 33(2): 175-178.
- [12] DANIELE P. Evolutionary variational inequalities and applications to complex dynamic multi-level models [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2010, 46(6): 855-880.
- [13] 简新华, 叶林. 改革开放以来中国产业结构演进和优化的实证分析[J]. 当代财经, 2011, (1): 93-102.
- [14] 中华人民共和国国家统计局. 中华人民共和国 2010 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20110228\\_402705692.htm](http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20110228_402705692.htm), 2012-11-06.
- [15] 席运江, 党延忠. 基于加权超网络模型的知识网络鲁棒性分析及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2007, (4): 134-141.
- [16] NEWMAN M E J, GIRVAN M. Finding and evaluating community structure in networks[J]. Physical Review E, 2004, 69(2): 1-15.
- [17] 李春发, 王治莹. 生态产业链中企业间合作关系的演化博弈分析[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2012, 33(3): 12-17.