

■ 管理学

超网络视角下产业集群生态化发展研究

——以山东新汶产业集群为例

黄新焕^{1,2}, 王文平¹

(1.东南大学经济管理学院, 江苏 南京 211189; 2.福建师范大学经济学院, 福建 福州 350108)

摘要: 本文分析产业集群生态化发展中, 绿色资源流动网络和价值活动网络的良性互动机制, 构建由这两个不同要素网络构成的超网络模型。在此基础上, 运用变分不等式理论, 得到网络的洽合流和超网络的均衡状态, 实现集群经济价值和生态价值协同创造最大化。最后, 结合山东新汶产业集群生态化发展的实践, 验证所建立的超网络模型和分析结论。

关键词: 产业集群; 生态化发展; 绿色资源流动网络; 价值活动网络; 超网络

中图分类号: F263

文献标识码: A

文章编号: 1008-472X(2014)01-0041-07

收稿日期: 2013-11-11

基金项目: 国家社科基金重大招标项目(12&ZD207); 国家自然科学基金项目(71172044, 71273047); 高校博士点基金项目(20120092110039); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX_0158)。

作者简介: 黄新焕(1981-), 男, 福建永定人, 东南大学经济管理学院博士研究生, 福建师范大学经济学院讲师, 研究方向: 产业生态、战略管理;

王文平(1966-), 女, 山东日照人, 东南大学经济管理学院教授, 博士生导师, 研究方向: 产业生态系统。

一、引言

产业集群源于组织在地理位置上的集中, 是在特定地理区域内相互关联的企业及机构在空间聚集的产业组织形式, 具备地理接近性和关系接近性特征, 并且具备构成网络的基本要素, 是超越企业的网络组织^[1-2]。产业集群的发展是区域经济发展的重要力量。但我国集群企业大多以经济利润最大化为目标, 采用从资源到产品再到废弃物的单向线性发展模式, 忽视了资源的约束和对生态环境的影响, 致使环境污染事件频发, 生态环境愈发严峻^[3]。在此背景下, 提高集群的物质循环和能量多级利用, 实现集群生态化发展, 已逐渐成为集群发展模式的演变趋势^[4-5]。

产业集群生态化的构想源于产业生态化, 其核心思想在于资源循环而不是其提取和使用后的“最终抛弃”^[6]。在此基础上, 众多学者试图从不同角度研究集群生态化。一是关注集群生态化过程中的资源循环利用, 如武春友等和黎继子等认为产业集群生态化是指集群内的主导产业和相关产业甚至包括最终消费者, 以“供应商-客户”关系通过“信任和承诺”或契约方式进行的基于资源高效利用的动态化合作过程, 其运作的物质基础是生产和消费中产生的产品、副产品、待资源化物质和废弃物^[7-9]。陆辉等认为生态化产业集群主要以资源的循环利用为纽带, 通过前向、后向和侧向关联, 形成产业集群网络, 使上游产业产生的废物都能变成下游产业的输入原料, 所有的物质都得到了循环往复的利用, 表现为“高产出、低消耗、低排放”的循环经济模式, 使经济系统与自然生态系统和谐相融^[10]。二是研究集群生态化的载体形式, 如赵云君认为应以生态工业园为载体, 发展绿色科技, 促进以循环经济为基础的集群生态化^[11]。肖华茂指出在循环经济理念指导下的集群生态化发展就是要求在集群内实现正向物流和逆向物流并存的大物流网络系统^[12]。三是侧重研究集群生态化绩效, 如Charles Mbohwa等对津巴布韦的老艾德丽安产业集群进行实证研究, 发现集群开展绿色生产, 能促进企业间废弃物的潜在交易, 减少企业生产对环境的负面影响^[13]。Allen Blackman等以墨西哥皮革鞣制加工产业集群为例, 发现集群中引入清洁生产技术, 不但能预防环境污染, 还能降低产品生产成本^[14]。上述文献从不同视角探讨了集群生态化的问题, 但没有分析集群资源循环过程中主体间流动的绿色资源(如各种资源循环利用和污染控制技术)

与主体价值活动相互作用机理，没有揭示集群内资源循环载体、资源循环利用过程及绩效之间的内在联系，以致无法更为系统地理解产业集群生态化发展过程。

此外，集群研究对象呈现出区域—企业—网络的发展趋势^[15]，集群网络已成为近年来产业集群研究的重点和热点^[16]。网络是当前研究产业集群系统的重要模型和方法^[17]。部分学者认为集群生态化系统是网络系统，如资源循环利用网络系统和大物流网络系统等单一要素网络。但作为一个复杂的社会系统，集群生态化系统中包含了多种不同要素，在同类或不同类要素之间还存在错综复杂的关系。单一要素模式的集群网络无法反映集群生态化发展中不同要素网络系统（绿色资源流动网络和价值活动网络）的构成和功能以及不同要素网络系统间的相互作用。超网络是高于而又超于现存网络的网络，可用来描述和表示不同要素网络之间的相互作用，它的构架为研究集群生态化发展中不同要素网络之间的相互作用提供了工具^[18-20]。

因此，本文提出产业集群生态化的本质是集群内具有“供应商-客户”关系的主体间为实现绿色资源流动（如绿色技术的推广及共享等）而构成绿色资源流动网络及集群内主体的价值活动构成的价值活动网络之间良性促进的过程，通过绿色资源的流动，中间产品、副产品、待资源化物质和废弃物的绿色加工，不仅使集群内部相关主体创造更多的经济价值（如产品附加价值，废弃物循环利用创造的价值等），还使集群生产活动与生态系统良性互动，从而最大化实现集群经济价值和生态价值协同创造的过程。在此基础上，本文采用超网络的思想和方法研究两个不同要素网络之间的相互作用，分析两个网络互动所构成的超网络对产业集群生态化的影响，得到超网络的均衡状态，这为产业集群生态化研究提供了新的思路 and 工具，有助于获得超网络视角下集群生态化发展的规律。

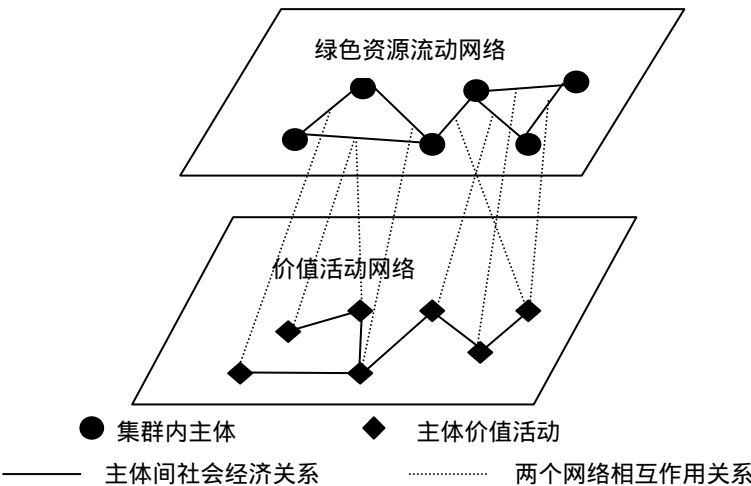
二、基于超网络的产业集群生态化发展机制

面向产业集群生态化发展的超网络由绿色资源流动网络和价值活动网络构成。其中，集群内主体通过经济与社会联系实现绿色资源在主体间的流动而形成绿色资源流动网络，其网络流是主体之间绿色资源流动水平；价值活动网络由集群内主体的价值活动通过主体间社会经济关系联接而成，其网络流是价值活动间经济资源（如中间产品、副产品、待资源化物质和废弃物）的流量。

绿色资源流动水平影响集群专业分工链条上主体价值活动的生态协作和竞争。一般来说绿色资源流动水平越高，绿色深加工会提高该集群系列产品的异质化程度，使集群内主体创造更高的产品附加价值。绿色资源流动水平越高，还使得价值活动对废弃物和待资源化物质循环利用能力越强，创造的经济价值越高，并促进集群生态架构体系效率提升及生态价值创造。同时，绿色资源的流动，中间产品、副产品、待资源化物质和废弃物的绿色加工会消耗一定的成本。成本和创造价值变化促使集群内主体改变彼此间绿色资源的流动水平，导致经济资源的流量也相应调整，进一步影响集群经济价值和生态价值的创造。

这一过程不断循环，当集群中主体间的绿色资源流动水平、经济资源的流量满足集群内所有主体最优目标的约束条件时，绿色资源流动网络和价值活动网络的流是洽合的，集群网络处于一种均衡状态，实现经济价值和生态价值协同创造的最大化。面向产业集群生态化发展的超网络模型，如图1所示。

图1： 面向产业集群生态化发展的超网络模型



三、面向产业集群生态化发展的超网络模型

(一) 模型描述

考察一个由 m 个主体组成的产业集群，由绿色资源流动网络 N_g 和价值活动网络 N_a 构成集群超网络 $S = (N_g, N_a)$ 。在集群绿色资源流动网络 N_g 中，定义如下变量：(1) 绿色资源流动水平 a_{ij} ，表示主体 i 和 j 之间的绿色资源的流动水平，设 $0 \leq a_{ij} \leq 1$ ；(2) 每个已有的绿色资源流动水平会创造一定的生态价值 $gv_{ij} = gv_{ij}(a_{ij})$ ；(3) 实现绿色资源流动水平 a_{ij} 需要付出相应的成本 $c_{ij} = c_{ij}(a_{ij})$ 。其中， $i = 1, 2, \dots, m$ ； $j = 1, 2, \dots, m$ 。

在集群价值活动网络 N_a 中，定义如下变量：(1) b_j 为主体 j 拥有的经济资源总量；(2) b_{ij} 为主体 i 从主体 j 获取的经济资源的流量；(3) 主体 i 从主体 j 获取经济资源的成本 $d_{ij} = d_{ij}(b_{ij})$ ；(4) 主体 i 对经济资源绿色加工的成本 $f_i = f_i(a_{ij}, b_{ij})$ ；(5) 主体 i 实施绿色生产创造的经济价值 $ev_i = ev_i(a_{ij}, b_{ij})$ 。

每个主体 i 涉及以下3个原则的多目标决策：(1) 生态价值最大原则： $\max \sum_j gv_{ij} = \max \sum_j gv_{ij}(a_{ij})$ ；(2) 经济价值最大原则： $\max \sum_j ev_i = \max \sum_j ev_i(a_{ij}, b_{ij})$ ；(3) 成本最小原则： $\min(\sum_j c_{ij}(a_{ij}) + \sum_j f_i(a_{ij}, b_{ij}) + \sum_j d_{ij}(b_{ij}))$ 。主体根据自己的偏好为3个原则设定不同的权重 σ_1 ， σ_2 和 σ_3 ，且满足 $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 1$ 。

对于网络中的主体 i ，它的目标函数为：

$$\begin{aligned} \max \quad & \sigma_1 \sum_j gv_{ij}(a_{ij}) + \sigma_2 \sum_j ev_i(a_{ij}, b_{ij}) - \sigma_3 [\sum_j c_{ij}(a_{ij}) + \sum_j f_i(a_{ij}, b_{ij}) + \sum_j d_{ij}(b_{ij})] \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 0 \leq a_{ij} \leq 1 \\ 0 \leq b_{ij} \leq b_j \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

(二) 模型求解

假定主体是在非合作博弈的环境里，遵循在他人给定策略的条件下选择自己的最优决策原则，确定自己的绿色资源流动水平和获取的经济资源流量。根据变分不等式理论，网络中所有主体需要满足的最优条件可由下列变分不等式表述：

$a^* = (a_{ij}^*) \in R_+^m$ ， $b^* = (b_{ij}^*) \in R_+^m$ ，满足

$$\begin{aligned} & \{ \sigma_3 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[\frac{\partial c_{ij}(a_{ij}^*)}{\partial a_{ij}} + \frac{\partial f_i(a_{ij}^*, b_{ij}^*)}{\partial a_{ij}} \right] - \sigma_2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial ev_i(a_{ij}^*, b_{ij}^*)}{\partial a_{ij}} - \sigma_1 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial gv_{ij}(a_{ij}^*)}{\partial a_{ij}} \} (a_{ij} - a_{ij}^*) + \{ \sigma_3 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[\frac{\partial f_i(a_{ij}^*, b_{ij}^*)}{\partial b_{ij}} + \frac{\partial d_{ij}(b_{ij}^*)}{\partial b_{ij}} \right] \right. \\ & \left. - \sigma_2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial ev_i(a_{ij}^*, b_{ij}^*)}{\partial b_{ij}} \} (b_{ij} - b_{ij}^*) \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

易得，不等式的可行集 $K = \{a_{ij}, b_{ij} \mid 0 \leq a_{ij} \leq 1, 0 \leq b_{ij} \leq b_j\}$ 是闭凸集。令

$$F_1(X) = \sigma_3 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[\frac{\partial c_{ij}(a_{ij}^*)}{\partial a_{ij}} + \frac{\partial f_i(a_{ij}^*, b_{ij}^*)}{\partial a_{ij}} \right] - \sigma_2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial ev_i(a_{ij}^*, b_{ij}^*)}{\partial a_{ij}} - \sigma_1 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial gv_{ij}(a_{ij}^*)}{\partial a_{ij}} \quad (3)$$

$$F_2(X) = \sigma_3 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[\frac{\partial f_i(a_{ij}^*, b_{ij}^*)}{\partial b_{ij}} + \frac{\partial d_{ij}(b_{ij}^*)}{\partial b_{ij}} \right] - \sigma_2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial ev_i(a_{ij}^*, b_{ij}^*)}{\partial b_{ij}} \quad (4)$$

则式(2)可表达为

$$\langle F(X^*), X - X^* \rangle \geq 0$$

$X^* = (a^*, b^*)$ ， $F(X) = (F_1(X), F_2(X))$ 。其中， $\langle, \rangle$ 表示同维向量上的欧拉空间乘积。

(三) 模型结果分析

由变分不等式理论可知,该变分不等式存在唯一解^[21]。式(2)左边第1部分表明:当绿色资源流动的边际成本 $\partial c_{ij}(a_{ij}^*)/\partial a_{ij}$,经济资源绿色加工的边际成本 $\partial f_i(a_{ij}^*,b_{ij}^*)/\partial a_{ij}$ 与其相应权重乘积之和等于绿色资源流动所创造的边际生态价值 $\partial gv_{ij}(a_{ij}^*)/\partial a_{ij}$,边际经济价值 $\partial ev_i(a_{ij}^*,b_{ij}^*)/\partial a_{ij}$ 与相应权重乘积之和时,绿色资源流动网络中的流是洽合流。式(2)左边第2部分表明:当经济资源绿色加工的边际成本 $\partial f_i(a_{ij}^*,b_{ij}^*)/\partial b_{ij}$,获取经济资源的边际成本 $\partial d_{ij}(b_{ij}^*)/\partial b_{ij}$ 与相应权重乘积之和等于边际经济价值 $\partial ev_i(a_{ij}^*,b_{ij}^*)/\partial b_{ij}$ 与相应权重乘积时,价值活动网络中的流是洽合流。

当绿色资源流动网络 N_g 和价值活动网络 N_a 中的流分别取洽合流 a_{ij}^* 和 b_{ij}^* 时,网络中每个主体创造的经济价值和生态价值达到最大化,集群超网络 $S=(N_g, N_a)$ 处于均衡状态。对于集群整体而言,集群在当前状态下创造的经济价值和生态价值最大,实现了集群的生态化发展。

四、案例分析——以山东新汶产业集群为例

山东新汶产业集群依托于山东能源新汶矿业集团有限责任公司,因经营地域主要集中在潘西、赵官、龙固矿井形成的三角区域内,将该区域的新汶集团所属企业群界定为新汶产业集群。该集群构建贯穿煤炭产业上下游“全产业链竞争”的商业模式,按照“黑色煤炭、绿色开采、高碳经济、低碳运行”的绿色发展理念,发展以煤炭产业为基础、多种非煤产业协同发展的经济格局,间接引致该产业集群的生态化。

新汶产业集群不断推动煤炭产业的生态化发展。例如,矿井利用浅槽重介煤矸分离系统,将矸石在井下进行分选,同时利用“煤矸石似膏体充填”和矸石充填液压支架等“以矸换煤”技术,将采掘的矸石充填到采空区,基本实现了“矸石不升井”,减少了矸石运输提升费和矸石山土地使用费,还回收大量的煤炭资源。集群成立技术服务公司,致力于“以矸换煤”技术推广,让集群煤矿受益。此外,矿井将遗弃的煤炭资源以及开采井工难以开采或开采经济性、安全性较差的薄煤层、深部煤层等利用煤炭地下气化技术转化为地下气化煤气。地下气化煤气不仅可作为燃气直接民用和发电,而且还可以用于提取纯氢或作为合成油、二甲醚、氨、甲醇等化工产品的原料气。而在精煤-焦炭产业链上,洗选企业选用高频振动筛、增配煤泥压滤机、更换精煤脱水脱介系统来提高精煤回收率。焦炭企业则通过提升精煤的燃烧值和发热量赋予焦炭产品更高的经济价值,进而不断推动洗选企业相关工艺设备的改进。为实现资源优化配置,集群内水煤浆生产企业还自发地实施多项技术转移和设备共享方案。

新汶产业集群中煤炭产业和与其具有密切供应和分销关系的企业之间实现生态对接以分销其副产品、副产品和废弃物,从而形成包括热电产业、建材产业、化工产业、农业、养殖业以及钢铁冶炼企业和净水厂在内的非煤产业。热电产业主要采用煤矸石、煤泥综合利用发电技术,以煤矸石和杂次煤泥为燃料,同时还采用水源热泵技术从矿井水地热和矿井乏风废热资源中提取热量资源,将产生的电、热用于集群内企业生产和居民生活。为了提高杂次煤泥的发热量指标,煤炭企业采用煤泥烘干技术通过火力干燥的方式对煤泥进行深度脱水处理,使之各项指标满足商品动力煤的要求,大大提高热电企业的经济效益。建材产业利用粉煤灰综合利用技术将干灰用于地砖生产,灰渣制成建筑用切块,这些建材在城市园林、住宅小区、人行道、广场建设中得到广泛应用。建材产业还对粉煤灰进行高附加值和大掺量利用,包括支持发展技术成熟的大掺量粉煤灰新型墙体材料,鼓励利用粉煤灰用作商品混凝土掺和料等。矸石砖厂采用全硬塑矸石制砖机成套设备,建成现代化煤矸石产砖生产线,年产标砖约8.1亿块。集群还成功地利用煤矸石、粉煤灰替代粘土,生产配制水泥熟料,用于水泥的生产。化工产业的形成一方面取决于集群内廉价的热电资源;另一方面也对粉煤灰进行高附加值和大掺量利用,如支持发展高铝粉煤灰提取氧化铝及相关产品,同时还充分利用地下气化煤气中含有的合成油、二甲醚、氨、甲醇等化工产品的原料气。钢铁冶炼企业有效利用集群内的焦炭、精煤和硫铁矿,并广泛采用低碳钢铁冶炼新技术、氢冶炼工艺、碳捕获和碳收集技术,实现低碳生产。由于地理接近性,这些矿产的运输成本和库存成本大大减小,大幅度提高钢铁冶炼企业的经济效益。此外,净水厂利用矿井水井下转化和净化技术将矿井水分级处理,广泛应用于矿区生产、生活、灌溉和绿化,还解决了矸石热电厂的用水问题。某些净水厂还引入矿泉水生产线,将煤炭开采的伴生物矿井水变成矿泉水。农业和养殖业的发展是针对煤炭长期开采造成的矿区土地塌陷问题,将处理后的矿井水作为一种优势而因势利导,深部变成池塘,从事养鱼、栽藕及其他淡水养殖业,浅处则将挖出的表土与分层压实的矸石一起垫到底部整平可覆土造地,使其变成农田和苗圃。

根据上述分析，提炼出面向新汶产业集群生态化发展的超网络模型，如图 2、3 所示。在新汶产业集群生态化发展过程中，由于主体之间推广和共享绿色技术（设备）程度的不同，形成了一个具有差序特征的绿色资源流动水平分布。同时，价值活动网络也具有类似差序结构特征的分布，偏好绿色资源流动的主体对经济资源的绿色加工能力较强，创造的价值较高。差序结构的存在使得这两种网络有可能进行相互匹配，达到最优效果。每个主体就通过平衡和协调自身绿色资源流动水平和经济资源流量使其创造的经济价值和生态价值达到最优，间接带动新汶集群的生态化发展。当新汶产业集群中主体间的绿色资源流动水平和经济资源的流量较为接近洽合流，集群网络处于一种均衡状态，实现集群经济价值和生态价值协同创造最大化。

图2：新汶产业集群主体的经济资源、绿色资源和价值活动间的关系图

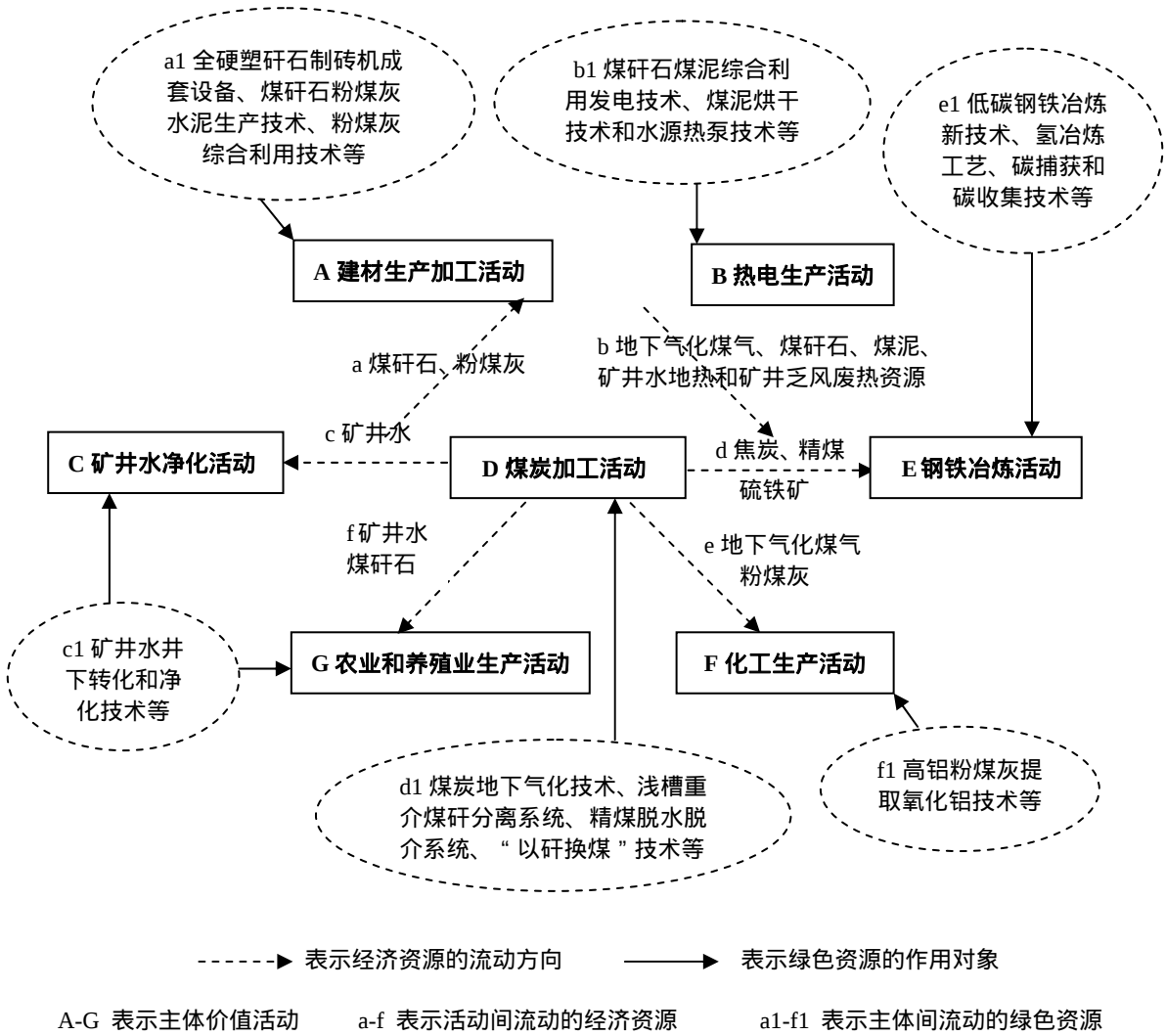
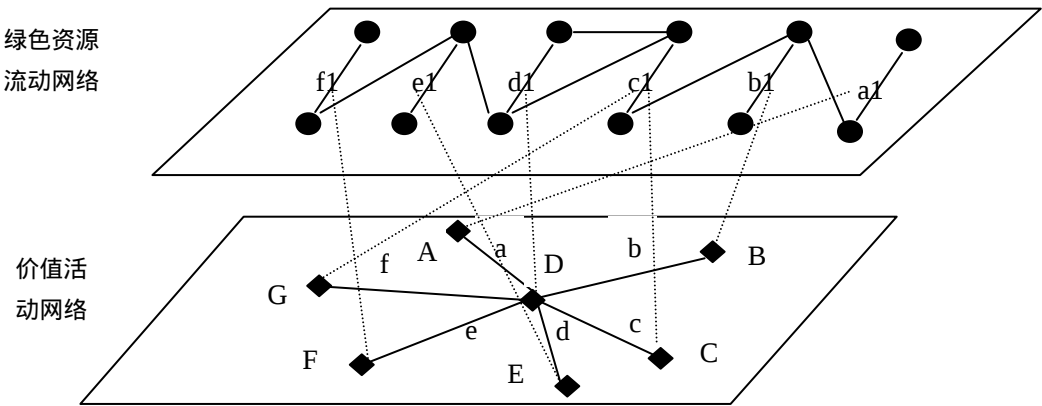


图3：面向新汶集群生态化发展的超网络模型



五、结论与启示

本文在分析集群绿色资源流动网络和价值活动网络之间互动机制的基础上,建立由这两个不同要素网络构成的超网络模型,并运用变分不等式方法得到满足所有主体经济价值和生态价值协同创造最大化的约束条件的流,并以山东新汶产业集群为例,佐证了所提出的模型和分析结果。研究表明,绿色资源流动网络中的绿色资源流动水平影响集群经济价值和生态价值创造,主体根据获得的经济价值和生态价值的变化,改变其绿色资源的流动水平。在这种动态的作用条件下,绿色资源流动网络和价值活动网络存在洽合的流,使得多目标偏好主体的经济价值和生态价值协同创造最大化条件均得到满足,实现产业集群的生态化发展。

在实践中,这一研究可以为产业集群优化其绿色资源流动网络及价值活动网络以实现生态化发展提供理论依据。当绿色资源流动网络中的绿色资源流动水平严重偏离均衡解时,可以通过制定行业标准、政府补贴等方式促进企业间推广和共享绿色资源,调节企业间的绿色资源流动水平;当价值活动网络中的经济资源流量水平严重偏离均衡解时,可以通过对企业丢弃废弃物行为征收高税费,加强研发投入以提高绿色技术处理经济资源的效率等方式,调节企业间经济资源的流量,进而影响集群经济价值和生态价值协同创造能力。

[注 释]

本文案例由作者根据相关资料分析整理而成,主要资料来源:山东能源新汶矿业集团门户网站<http://www.xwky.cn/>。

[参考文献]

- [1] POWELL W W,KOPUT K W,DOERR L S.Interorganizational collaboration and the local of innovation networks of learning in biotechnology[J].Administrative Science Quarterly,1996,41(1):116-145.
- [2] 蔡彬清,陈国宏.复杂网络视角下链式产业集群竞争优势分析——以柳州市低压电器产业集群为例[J].经济地理,201232(10):83-88.
- [3] 耿勇.工业生态学和生态工业园[M].北京:化学工业出版社,2003:8-15 .
- [4] PARK H S,RENE E R,CHOI S M,et al.Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan,South Korea——From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis[J].Journal of Environmental Management,2006(12):1-13 .
- [5] 陈柳钦.产业发展的集群化、融合化和生态化分析[J].中州学刊,2006(1):36-39.
- [6] 格雷德尔·艾伦比.产业生态学[M].施涵,译.北京:清华大学出版社,2004:5-8.
- [7] 武春友,吴荻.产业集群生态化的发展模式研究——以山东新汶产业集群为例[J].管理学报,2009(8)1066-1071.
- [8] 吴荻,武春友.生态型产业集群的运作模式研究[J].科研管理,2010,31(4):156-162.
- [9] 黎继子,左志平,孙林夫,等生态工业园集群式供应链生成机理与运作模式[J].科研管理,2010,31(4):163-171.
- [10] 陆辉,赵敏.产业生态观视域下产业集群生态化对策探讨——以江苏省南通市为例[J].科技管理研究,2013(7):189-194.
- [11] 赵云君.基于循环经济模式的产业集群生态化转型研究[J].经济纵横,2010(2):58-61.
- [12] 肖华茂.循环经济下产业集群生态化发展理论研究[J].商业研究,2010(5):38-40.
- [13] CHARLES MBOHWA,PETER RWAKATIWANA,STANLEY FORE.The impact of industrial clusters in greening manufacturing industry practices in small and medium scale enterprises:the case of the Old Ardbennie Industrial Cluster in Harare,Zimbabwe[J].International Journal of Business and Emerging Markets,2010,2(1):91-108.
- [14] ALLEN BLACKMAN,ARNE KILDEGAARD.Clean technological change in developing country industrial clusters: Mexican leather tanning[J].Environmental Economics and Policy Studies,2010,12(3):115-132.

- [15] 黎继子,刘春玲.集群式供应链:产业集群和供应链的耦合[J].现代经济探讨,2006(5):5-9.
- [16] GORDON I,MCCANN P.Industrial clusters:complexes, agglomeration and social networks[J].Urban Studies,2000,37(3):513-532.
- [17] 蔡宁,吴结兵,殷鸣.产业集群复杂网络的结构与功能分析[J].经济地理,2006,26(3):378-382.
- [18] NAGURNEY A,DONG J.Supernetworks: decision-making for the information age[M].Cheltenham:Edward Elgar Publishing,2002:10.
- [19] 王众托,王志平.超网络初探[J].管理学报,2008(1):1-8.
- [20] 沈秋英,王文平.基于社会网络与知识传播网络互动的集群超网络模型[J].东南大学学报(自然科学版),2009,39(2):413-418.
- [21] NAGURNEY A,ZHANG D.Projected dynamical systems and variational inequalities with applications[M].Boston:Kluwer Academic Publishers,1996:53.

Study on Ecological Development of Industrial Cluster from the Perspective of Supernetworks: The Case of Xinwen Industrial Cluster in Shandong

HUANG XINHUAN^{1,2}, WANG WENPING¹

(1. School of Economics and Management , Southeast University , Nanjing , 211189,China ;

2. School of Economics , Fujian Normal University , Fuzhou , 350108,China)

Abstract: The positive interaction mechanism between green resources flow network and value activities network is analyzed in this paper. On the basis of the mechanism, supernetworks model is constructed for ecological development of industrial cluster. Theory of variational inequality is applied to solve confluence flow of the network and equilibrium of supernetworks, which makes the cluster maximize synergy creation of economic value and ecological value. The practice of ecological development of Xinwen industrial cluster in Shandong is used to verify the established supernetworks model and conclusions.

Key words: Industrial cluster; Ecological development; Green resources flow network; Value activities network; Supernetworks

本文推荐专家：

陈国宏，福州大学管理学院，教授，研究方向：产业集群、技术经济及科技管理。

陈衍泰，浙江工业大学经贸管理学院，教授，研究方向：产业生态和技术创新管理。