

基于复杂网络的产业集群演化及其治理研究

范如国, 许 焱

(武汉大学 经济与管理学院, 武汉 430072)

摘 要:产业集群是当前世界各国经济发展的主要方式, 深入探讨产业集群的发展过程, 有助于为集群的发展提供新的理论指导。本文根据复杂网络理论, 运用扩展的 BA 网络模型来模拟产业集群的演化过程, 对产业集群网络演化的特点进行分析, 提出产业集群发展的初始、形成、成熟与平庸四阶段理论, 并根据 BA 网络模型的仿真结果提出了针对产业集群各个发展阶段的治理对策建议。

关键词:产业集群; 复杂网络; BA 模型; 治理; 演化

中图分类号: F401 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2008)09-0076-06

1998 年, 波特提出产业集群 (cluster) 的概念^[1], 指出产业集群是一群既独立自主又彼此依赖, 既有专业分工、资源互补, 又维持着一种长期的、非特定契约的企业、专业化供应商、相关产业的厂商, 以及相关的辅助机构 (如大学、制定标准化的机构、产业工会) 在一定地域范围内聚集, 形成强劲、持续竞争优势的经济现象。产业集群是一种基于社会关系、地缘、产业技术、信任和共享互补资源的, 在竞争与合作中由多种要素、多种主体、多种联系协同形成的复杂社会网络。当代区域竞争优势的形态, 大都是以产业集群的形式出现的。产业集群的演化机制以及演化过程中的集群状态研究, 是目前产业集群研究的重要问题。这些研究对政府如何采取政策以引导产业集群的发展、提高区域竞争力具有很大的帮助。目前, 复杂网络在生态学、物理学、计算机科学、经济学、管理学等领域都有广泛的应用, 对复杂网络的研究已经成为 21 世纪最受瞩目的一门科学^[2,3]。产业集群本质上是一个动态的、开放的复杂网络系统, 是以资本、技术、合作的契约与协议、企业信誉、人际关系、传统习惯等为纽带联结而成的关系系统。将复杂网络理论应用于产业集群的研究中, 可以抽象出产业集群内部各个主体间的复杂联系, 能够更清晰地分析产业集群的演化过程与特征。

1 复杂网络理论

复杂系统理论认为, 世界是由多种因素相互交

叉构成的一个网络式的反馈环路和非线性的不可逆过程所结构化的复杂网络系统, 如计算机网络、通信网络、电力网络、生物网络、交通网络、经济网络、社会网络等^[4]。如果将系统内部的各个元素作为节点, 元素之间的关系视为连接, 那么系统就构成了一个网络。复杂系统是一个由节点组成的复杂关系网络, 每一个节点本身也是一个关系网络, 它由更低层次的节点所组成, 节点之间依据一定的规则相互作用并因此而维系着系统整体的存在。如果用图论的语言来表述, 复杂网络 (complex networks) 是指具有复杂拓扑结构和动力学行为的大规模网络, 是一个由大量的节点 (点集 $V(G)$) 通过边 (边集 $E(G)$) 的相互连接而构成的图 $G(V, E)$ 。 $E(G)$ 中的每条边 e_i 由 $V(G)$ 中的一对点 (u, v) 与之对应。网络的顶点数即个体数为 $N(V)$, 个体之间相互作用数即边数, 记为 $L(E)$ ^[5,6]。在复杂网络中, 节点可以是任何具有特定动力和信息内涵的系统的基本单位, 而边则表示这些基本单位之间的关系或联系。

用网络的观点描述客观世界起源于 1736 年德国数学家 Euler 解决哥尼斯堡的七桥问题。复杂网络理论的研究始于 20 世纪 60 年代的 Erdős-Rényi 随机图模型^[7,8], 在其后的 40 年里随机图模型一直是复杂网络研究描述的基础。长期以来, 科学家一直认为随机网络是描述真实系统最适宜的网络, 只是到了最近几年, 由于计算机数据处理及运算能力的迅速提高, 科学家们才发现大量真实网络既不是

收稿日期: 2008-07-10

基金项目: 国家社会科学基金项目 (07BJY007) 资助

作者简介: 范如国 (1965—), 男, 湖北潜江人, 武汉大学经济与管理学院教授, 博士, 主要研究领域: 演化经济学、博弈论、复杂系统管理; 许焱 (1985—), 男, 福建人, 武汉大学经济与管理学院硕士研究生, 主要研究领域: 复杂系统管理。

规则网络,也不是随机网络,而是具有与这两者皆不同的统计特征的网络。科学家们把这样一些网络叫做复杂网络。1998年,Cornell大学的Watts和其导师Strogatz在《自然》(Nature)杂志上发表的论文给出了小世界网络模型,复杂网络研究迅速引起了许多领域中科研工作者的兴趣^[3]。1999年,美国Notre Dame大学的Barabasi和其学生Albert在《科学》(Science)杂志上发表的论文指出,许多复杂网络的度服从幂率分布,即无标度网络,并给出了一个偏好连接的模型^[2]。这些发现促进了人们对复杂网络的研究^[2]。

2 复杂网络的BA模型及其扩展

2.1 BA网络模型

以往复杂网络在构建的过程中总是基于节点数量固定不变、节点间的连接与节点的度无关这两个假设,这与现实中的情况极不相符,由此限制了复杂网络在经济社会科学当中的应用。BA网络模型突破了这两个假设,提出了节点增长与择优连接两个网络演化机制,拓宽了复杂网络的应用。节点增长与择优连接的算法分别如下^[2]。

节点增长。网络开始时有较少的节点数(m_0)。在每个演化的时间间隔,网络增加一个具有 m ($m < m_0$)条边的新节点,在网络已存在的节点中选择 m 个节点与新产生的节点发生连接。

择优连接。在选择新节点的连接节点时,假设新节点连接到节点 i 的概率 $\pi(k_i)$ 取决于节点 i 的度数: $\pi(k_i) = k_i + 1 / \sum_{j=1}^N (k_j + 1)$,其中 N 为网络中的节点总数。

2.2 BA网络模型的缺陷及其扩展形式

BA网络模型虽然能够很好地描述许多现实网络中的演化情况,但是在现实的产业集群网络的演化过程中,不仅具有节点增长和择优连接两种演化机制,还有网络节点间的自增强与重连接机制,即集群内部企业合作关系的建立与重新调整。因此,本文在BA网络模型演化算法的基础上,对BA模型进行扩展,在模拟产业集群网络的演化过程中,增加了自增强与重连接机制。

自增强:在每个演化的时间间隔内,以给定概率 p 随机选择一个节点作为起始节点,以概率 $\pi(k_i)$ 在网络中选择 m 个终止节点。

重连接:在每个演化的时间间隔内,以给定的概率 p 随机选择一个节点 i 和连接到 i 的边 $l_{i,j}$,断

开 $l_{i,j}$,在网络中重新选择节点 j' ,并在 i 和 j' 之间以概率 $\pi(k_i)$ 建立新的连接,重连接机制在演化的每个阶段重复 m 次^[7]。

3 产业集群网络演化模拟与仿真研究

3.1 产业集群网络生成及演化模拟

运用扩展后的BA模型对产业集群网络的生成及演化进行模拟。假设某工业园区内部开始时拥有13家企业,它们之间没有合作关系。在以后的每一个演化阶段内:

1) 园区新增加一家企业,该新企业选择园区内的5家企业进行合作;

2) 在园区内已有的企业中,以0.4的概率随机选择一家企业,并且使它分别以 $\pi(k_i)$ 的概率与其他5家企业进行合作;

3) 在园区内已有的企业中,以0.4的概率随机选择一家企业,终止与另外一家企业的合作关系,然后以 $\pi(k_i)$ 的概率重新选择一家企业进行合作。

上述步骤一共重复5次。经过19次演化模拟,可以得到该工业园区内总共32家企业的合作关系网络。通过Pajek软件绘出该园区内企业合作关系网络图,如图1所示。

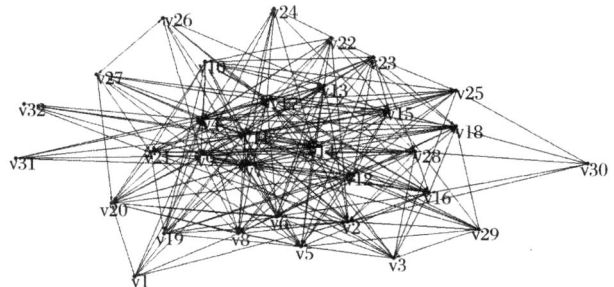


图1 产业集群模拟网络

3.2 产业集群网络模拟的分析指标

本文主要借助复杂网络理论的分析方法来对产业集群网络进行分析。复杂网络理论的分析主要是通过分析网络节点的紧密程度、中心势、结构对等性等网络特征指标,来分析网络结构及其演化特点。本文对产业集群复杂网络的分析也是采用以上指标来进行。

衡量网络的密集程度的指标有网络密度、集聚程度、平均距离。密集的产业集群网络,有利于集群内部的企业和机构形成共同的行为预期和目标,有利于集群内部分工和协作的加深和资源的整合与共享,有利于集群规范、权威和制裁机制的建立和维持^[8]。创新是一个信息与知识在企业之间运用和流

动的过程。密集的集群网络由于企业之间联系的紧密性有助于加深彼此的信任,因此更加有利于创新活动的开展。但是过度密集的产业集群网络同样存在着风险,它可能导致网络的“锁定”效应,影响集群内部的企业与集群外部进行资源和信息的流动,使集群变成一个保守和封闭的系统。企业过度“嵌入”集群网络,会造成对外部技术创新的忽视,从而对产业集群的升级具有抑制作用。

衡量网络中心程度的指标有网络中心势。产业集群网络具有较高的中心势,说明集群内部的权力分配不平等。集群内部有对集群发展起决定性作用的核心企业。从我国产业集群发展的状况看,核心企业是产业集群发展的一个助推器,因为核心企业都是一些资源丰富、技术先进、管理完善的企业。集群内部的中小企业与核心企业进行合作,有利于自身的发展。核心企业在与集群外的大型企业竞争的过程中,自身的技术创新和管理变革会带动整个集群向前发展。但是产业集群权力的不均匀分布,可能造成集群网络的脆弱性。一旦中心节点迁出,将造成集群整体实力大幅下降,甚至崩溃^[6-8]。通过 Pajek 软件分析,得到如表 1 所示的产业集群模拟网络的密集程度、中心程度指标数据。

表 1 产业集群网络演化模拟的网络密集程度和网络中心程度指标

演化阶段	网络密集程度			网络中心程度	
	网络密度	集聚系数	平均距离	网络中心势	中心节点
0	0	0	0	0	0
1	0.082	0.275	1.983	36.69 %	14
2	0.095	0.270	1.926	35.71 %	14
3	0.188	0.397	2.274	44.00 %	11
4	0.202	0.465	2.174	48.24 %	11
5	0.212	0.447	2.066	46.02 %	11
6	0.205	0.453	2.052	45.83 %	11
7	0.197	0.436	2.049	45.71 %	11
8	0.214	0.337	1.948	43.13 %	11
9	0.206	0.335	1.947	43.31 %	11
10	0.208	0.336	1.985	47.21 %	11
11	0.226	0.369	2.072	44.42 %	11
12	0.217	0.348	2.042	40.36 %	11
13	0.215	0.356	2.077	42.08 %	11
14	0.214	0.371	2.035	43.71 %	11
15	0.231	0.397	2.019	41.29 %	11
16	0.320	0.435	1.724	37.12 %	11 和 7
17	0.305	0.411	1.734	34.48 %	11 和 7
18	0.290	0.420	1.740	35.44 %	11 和 7

3.3 产业集群网络模拟结果分析

依据产业集群网络指标数据演化的趋势,可将产业集群网络的演化过程分为初始阶段、形成阶段、成熟阶段与平庸阶段,如图 2 所示。图 2 中各分图的横坐标表示演化的次数,纵坐标分别表示网络密度、集聚系数、平均距离和网络中心势。

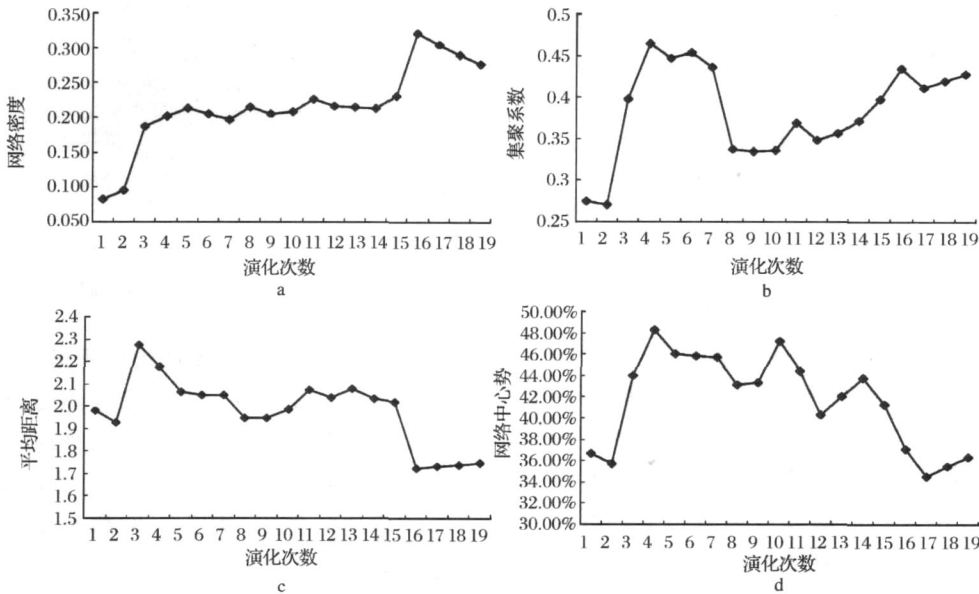


图 2 产业集群网络演化相关指标的变化趋势

网络演化初始阶段(0):由于自然禀赋、市场禀赋、政府扶持、人文条件等因素的影响,企业与相关中介机构集聚在同一地理区域内,但是它们各自完成自身的活动,相互之间的联系很少。产业集群此时处于最初级的阶段,为一种相对无序的状态。在

这个阶段,网络的各种指标数据均为 0,集群内部的企业基本上没有集群优势。此时,集群的形成与演化更多地表现为自组织过程。

网络演化的形成阶段(1~5):在该阶段,网络密度大幅上升,这意味着集群内部企业间的合作关系

得到不断的发展,集聚效应有了很大的提高。产业集群改变了以前“集而不群”的状态,向真正意义上的集群方向发展。此时,企业数量迅速增加,产业集群产品的市场占有率虽然还不是很大,但是增长率较快。核心产业在集群中的重要性迅速提高,产业集聚程度提升较快,地理范围也会扩大,成为产业发展的新兴地区,网络的集聚系数也随着网络的演化而上升,产生了强大的吸引力,开始出现极化作用。这表明由于地理接近、文化相同等原因,集群内部出现了“小集团”现象,即在整个产业集群中,企业与所处集团内的企业的合作关系比与集团外的企业的合作关系更紧密。网络合作的权力分配出现了集中化的现象,造成网络中心势急剧上升,集群中的企业的重要程度出现分化,核心企业对集群发展的重要作用已经开始凸显出来。

网络演化的成熟阶段(5~15):在该阶段,网络密度与平均距离均有起伏变化,但总体保持平稳状态,说明集群中的企业总体联系趋于稳定,企业均有较稳定的合作伙伴。在网络成熟阶段,随着企业间合作的继续加深,集群内部的小集团效应会随着集群的发展而降低,网络的集聚系数呈现下降后稳定的趋势。网络中心势也随着网络的演化振荡下降,

集群合作网络权力分配不均的现象减轻,这表明由于其他企业的发展,核心企业对集群合作的重要性程度相对下降,使得整个集群企业间的关系更加融合。在该阶段,整个网络的中心节点没有发生变化,一直为节点 V11,说明网络结构相对稳定。

网络演化的平庸阶段(15~19):在该阶段,网络密度高于成熟阶段的网络密度,但平均距离低于成熟阶段的平均距离,这反映了集群网络密集程度具有继续加大的趋势。过高的网络密集程度意味着集群内的企业过度地“嵌入”产业集群内,这阻碍了它与集群外企业的信息交流与合作,制约了企业的创新能力,进而影响了整个集群的产业创新氛围和产出效率。此时,产业集群经济增长缓慢或负增长,企业经济效益下降、亏损增加,有些企业开始迁出,投资停滞,甚至创新中心转移等。核心产业投资回报率降低,市场份额减少,甚至产值下降^[10]。集聚系数呈现上升趋势,而网络的中心势却急剧下降,说明网络的“小集团”化程度增加,原本融合的产业集团被分割成一个个的“小集群”。如图3所示,网络的中心节点由一个变成为两个,说明集群合作网络的中心已经产生分化,若彼此之间产生对立,网络将面临解体的风险。

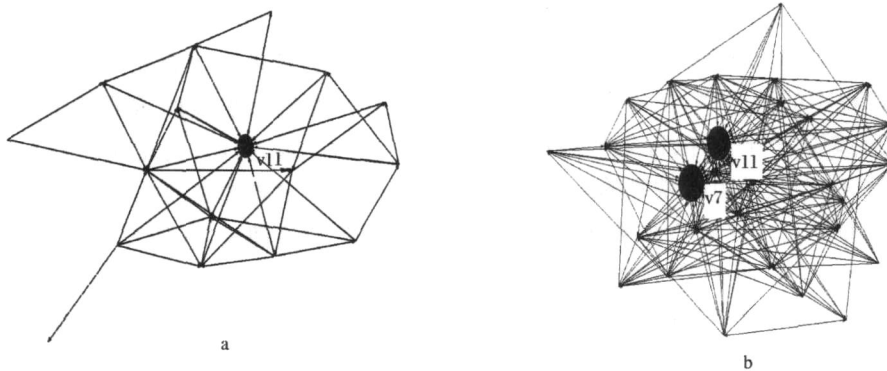


图3 集群网络中心节点演化图

3.4 美国 128 公路地区演化发展实例

在 20 世纪 50 年代,美国 128 公路地区依靠政府资金投入和军方订单,逐渐成为电子工业的聚集区,各类电子工业企业如雨后春笋般的出现,聚集了数以千计的企业与研究机构。60 年代,该区内企业之间的合作加强,各种创新活动活跃,发明层出不穷,如晶体管、半导体芯片、电子计算机都是这一时期的成果。70 年代,经过持续的发展,128 公路地区也成为了世界电子工业的创新中心,其创新能力与经济增长成为世界关注的焦点。但自 80 年代开始,

128 公路地区的创新能力却出现严重滑坡,许多重要的企业纷纷迁出该地区,128 公路地区的发展开始走向衰败,其全球电子工业的创新地位被硅谷所取代^[8]。总结 128 公路地区在产业集群发展过程中由盛转衰的原因如下:网络密集程度高。128 公路地区的发展迅速,使企业的合作伙伴大多位于集群内部。“过度性嵌入”使企业忽略外部环境变化,由于缺乏民用电子工业的发展,当军方订单减少时,集群开始走向衰落。中心程度高。由于 128 公路地区长期接受军方的订单,企业必须注意保密性,由

此造成了几个供应链上的企业相互之间合作紧密,而较少与其他企业合作的“企业小集团”现象。这种小集团的集群网络结构,由于密度大,虽然在一定程度上有利于企业间的学习与创新,但是若任其发展,集群会由于新信息不易流入集团内而造成网络僵化,滞后于环境变化,最终导致衰败。网络结构脆弱。128公路地区的企业集群是一种多轮轴式结构,即许多小企业围绕大企业进行合作。这种多轮轴结构造成了网络结构的“脆弱性”,一旦大企业出现危机,网络整体结构就会发生松动,甚至崩溃。

4 产业集群演化中不同阶段的治理对策

对产业集群进行治理的目的是为了整合整个产业集群内部的资源力量,优化资源的配置,实现与保持集群的竞争优势,促进创新能力的提高。本文根据上述仿真的结果,针对产业集群演化中不同阶段的特点,提出具体的治理对策。

在产业集群的初始阶段,依靠区域自身的比较优势,依据产业链及其价值链之间内在的联系,有选择地吸引企业进入产业集群内部,只有相关的企业集聚在一起才能产生集群效应。因此,政府应运用调控政策与价格机制相结合的方法控制入群企业的类型,完善基础设施建设^[9],制定产业集群的标准规范,培养产业集群内部互相信任的文化氛围,为集群内企业之间将来的合作提供必要的初始条件,防治集群在未来的演化过程中的低效率“锁定”。

在产业集群的形成阶段,严格执行集群的标准规范,坚决打击假冒伪劣等扰乱市场秩序的行为,维持集群合作关系的良好发展。注重产业集群内部各种协会、金融、标准制定、法律服务等中介机构的建设与发展,使产业集群内部的合作关系更加融洽,提高企业对集群的“嵌入性”。此时,产业集群网络的网络密集程度得到了较大提高,这有助于加强集群内企业间的合作及创新能力的提升。因此,政府和银行应该为企业提供良好的贷款、融资政策,完善风险投资、风险分担和化解机制,促进“产学研”合作,为企业创新成果的实现提供保障条件。适当扶持具有发展潜力的企业,促进其参与到国内或国际竞争中去,提高自身的能力,进而带动整个集群发展。

在产业集群的成熟阶段,要通过公平合理的利益分享机制使集群产业价值链上的利益在集群中的企业之间得到合理分配,防止由于利益分摊不均所导致的集群风险。同时,要规避核心企业对产业集群合作网络“脆弱性”的影响以及对产业集群创新能

力抑制的风险。可以通过集群内部的定期研讨、创新论坛、信息披露、合作研究来加强非核心企业间的合作关系。建立集群内部信息流动与共享、培育共同文化、提倡合作创新精神,以保持集群的持续竞争力。

在产业集群平庸阶段,关键是要防治集群因为绩效的平庸而走向解体。此时在集群的治理上要引导企业加强与产业集群网络外部企业的交流合作,并提供最新的产业发展状况以促进集群内外信息的流动,这样可以避免产业集群网络由于密度过大而破坏集群内企业的创新能力。同时,通过改善集群内外部环境条件,吸引外部企业进入到集群中,以增强内部企业的创新能力,培养集群新的核心企业。此时,恶性的价格竞争可能会对产业集群的竞争优势造成毁灭性的打击,同时,集群内部一些企业的“搭便车”行为将破坏集群内部的合作创新。这两种现象在产业集群平庸阶段很容易发生,因此能否有效遏制企业的这些行为,是产业集群能否继续发展、能否进行升级的关键。此时,集群的结构已经产生松动,要预防企业“小集团”的整体外迁对集群带来的打击,同时也要及时地清理集群中对集群升级失去价值的企业。

5 总结

企业集群是介于企业与市场之间的组织形态,是当今产业组织发展的重要特征。在我国,发展较为突出的广东、浙江、湖北等省的企业集群现象已引起政府和学术界的高度关注。探索出适合我国国情的产业集群治理机制,以提升我国的区域竞争力与自主创新能力,是理论界和产业界广泛研究和探讨的问题。本文通过运用复杂网络的相关理论知识,模拟分析了产业集群的演化过程,并对产业集群网络的演化进行了仿真演化分析,划分出4个产业集群演化阶段,并针对每一个阶段提出了相应的政策治理建议。

参考文献

- [1] PORTOR M E. Competitive Strategy[M]. New York: The Free Press, 1995: 61-72.
- [2] BARABÁSI A L, ALBERT R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286: 509-512.
- [3] WATTS D J, STROGATZ S H. Collective dynamics of small-world networks[J]. Nature, 1998, 393: 440-442.
- [4] STROGATZ S H. Exploring complex networks[J]. Nature, 2001, 410: 268-276.

- [5] GOLDSTEIN J. Emergence as a construct: history and issues[J]. Emergence, 1999, 1(1): 49-72.
- [6] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 25-78.
- [7] 章忠志. 复杂网络演化模型研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [8] 李金华. 基于复杂网络理论视角的产业集群网络特征浅析[J]. 江苏商论, 2007(1): 46-47.
- [9] 陈文华. 产业集群治理研究[M]. 北京: 经济管理出版社, 2007: 159-161.
- [10] 陈柳钦. 产业集群的制度风险[J]. 南京行政学院学报, 2007(5): 48-51.

Study on Evolution and Governance of Industry Cluster Based on Complex Network

Fan Ruguo, Xu Ye

(Economics and Management School, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Industry cluster is one of the most important means of economic development in the world. This paper improves the BA network model and simulates the development of industry cluster based on the complex networks theory. Then, it uses the analysis method of complex networks to analyze the evolution of industry cluster and divides the development of industry cluster into four stages: initial stage, developmental stage, mature stage and trite stage. Finally, it provides governance policies for each stage of industry cluster.

Key words: industry cluster; complex network; BA network model; governance; evolution

(上接第 37 页)

平;支持生物质发电设备和辅助设备在国内的自主研究开发和制造。

5) 建立设备检测认证体系,制定技术标准和规范规程。

研究生物质发电产业的技术标准和设备检测认证体系,按照相关法律、法规和技术标准对生物燃料锅炉等特种设备组织实施安全监察和检验检测工作;制定规范规程,加强项目管理,完善技术标准、检测和认证体系;严格市场准入制度,提高市场进入的技术和资金门槛,强化技术监督,优化产业结构。

6) 推行绿色电力配额制度和认购制度。

借鉴国外发达国家绿色电力配额制度的成功经验和做法,结合我国电力市场的实际情况,加快建立并不断完善我国的“绿色电力证书”和“绿色电力证书交易制度”,通过合理的配额制度,扩大可再生能源发电的市场空间,提升生物质发电项目的盈利能力。如借鉴荷兰等发达国家的绿色电力认购制度的成功经验和做法,总结上海所推行的绿色电力认购做法,尽快出台全国性的或可在经济发达地区推行的绿色电力认购办法,鼓励有社会责任感的企业以及居民认购绿色电力。

Biomass Direct Combustion Power Generation in China :Present Situation, Problems and Policy Suggestions

Li Zhijun

(The Development Research Center of the State Council, Beijing 100010, China)

Abstract: The biomass power generation industry in China is still at the initial stage. The degree of industrialization and commercialization of this industry is low, and the support of policies and measures to this industry need be enhanced. Currently, the policy support should be strengthened from aspects as follows: regulating that the generated power of all clean energy should be fully purchased by power grid enterprises, and opening the biomass power generation field to state and non-state owned enterprises; adjusting on-grid electricity price; strengthening the resource survey and evaluation, and establishing development programs of biomass power generation industry; strengthening financial input and tax preference; supporting technology research and development and equipment manufacture; establishing detection and authentication system for equipments, and making technology criterions and rules; implementing green power portfolio standards and purchasing system.

Key words: biomass; biomass direct combustion power generation; policy