

基于结构洞理论的产业生态群落关联度赋值方法

王 政^{1,2}, 石 磊^{1,*}, 贾小平²

(1. 清华大学 环境科学与工程系 国家环境保护生态工业重点实验室, 北京 100084, 2. 青岛科技大学化工学院, 青岛 266042)

摘要: 产业生态系统稳定性的度量是工业生态学研究领域的热点和难点问题。在生态群落关联度的基础上, 借鉴社会网络理论中的“结构洞”思想, 构造了考虑权重的产业生态群落关联度。对卡伦堡和安阳高新区生态工业园区的案例研究表明, 与不考虑权重的关联度指标比较, 考虑权重的关联度能够更好地体现节点和链接重要性的不同, 由此可以为生态工业园区规划提供了更好的量化指标。

关键词: 工业生态系统; 关联度; 稳定性; 工业群落; 结构洞

文章编号: 1000-0933(2009)02-0810-05 中图分类号: F40, Q146, Q147 文献标识码: A

Weighted connectance for industrial communities based on structural holes theory

WANG Zheng^{1,2}, SHI Lei^{1,*}, JIA Xiao-Ping²

1 SEPA Key Laboratory of Eco-industry, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2 School of Chemical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0810 ~ 0814.

Abstract: Stability is one of the key issues for industrial ecosystems and industrial communities. By introducing the “structural holes” thinking in social networks theories, a weighted connectance is proposed for industrial communities. Compared with non-weighted connectance, the weighted connectance can reflect different levels of importance to different nodes and connections. Cases study of the Kalundborg and Anyang industrial ecosystems illustrate that the weighted connectance can serve as a quantitative indicator for evaluating industrial ecosystems or eco-industrial parks.

Key Words: industrial ecosystem; connectance; stability; industrial community; structural holes

与自然生态系统一样, 工业生态系统也总是处在发展变化中, 受资源供给、市场波动、技术变化、企业结构等内外部因素影响, 其结构会发生变动、功能会发生变迁甚至整个区域系统会坍塌等。同样, 工业生态系统的结构和功能也会在一定发展阶段保持相对的稳定性。事实上, 生态工业园区建设和生态工业发展的主旨就是要加强工业系统的稳定性与抗干扰能力, 使之演进并保持在一个相对高效、协调和环境友好的状态^[1]。

由此, 工业生态系统的稳定性一直是学术探讨的热点和难点。在借鉴自然生态研究领域的基础上, 有些研究试图采用生态群落关联度来建立工业生态系统稳定性与内在结构的关联^[2,3]。所谓生物群落关联度, 是指群落食物网中实际观察到的食物链数与最大可能的食物链数的比值^[4], 这一比值可以表征生物群落内物种间相互作用、相互影响和相互依存的关系。关联度愈大, 物种间联系愈密切; 反之, 联系愈松散。研究结果表明, 大多数工业生态系统的关联度为 0.5 ~ 0.6, 表现了与自然生态系统较好的一致性(其中值在 42% 左右)^[2]。然而, 与自然生态系统一样, 表征系统结构的关联度与系统稳定性或效率并不具有显著的相关性。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(No. 40601037), ALCOA(美铝基金)资助项目

收稿日期: 2007-08-28; 修订日期: 2008-06-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: slone@qust.edu.cn

换句话说,关联度高的工业生态系统其稳定性并不一定好^[5]。这一缺陷实际上根源于关联度的定义,即只考虑了物种之间的链接数目,而没有考虑链接相互之间的差异性,或者说忽视了不同成员或链接对于系统稳定性贡献不同的基本事实。

事实上,在工业系统中,节点企业的重要性是不同的。有的企业对于其它企业的链接较多、较紧密,对于整个系统的稳定性相对重要,一旦断裂对于整个生态工业系统的存在可能是致命的;而有的企业,基本处于系统中的网络末端,没有输出链接,对于整体系统稳定性的贡献较小。由此,在系统层面上,工业体系大致分异为主导型、平等型和依附型3种类型^[6]。一个好的工业生态系统稳定性指标需要考虑到节点及其链接的差异性。本文正是基于这种差异性的考虑,借鉴社会网络理论中的“结构洞”思想,将权重引入产业群落关联度的计算中,对工业园区工业共生体系稳定性进行案例分析探讨。

1 考虑权重的产业生态群落关联度

为考虑工业系统中各链接重要程度的不同,本文提出如下假设:

(1) 一个链接的重要性只取决于其两端节点的重要性。当然,现实中链接的重要性还取决于其本身所附带物质的规模、种类和性质。本研究重在探讨考虑权重的产业群落关联度方法的有效性,因此作如此假设并不影响方法有效性的探讨;

(2) 节点的重要性取决于其链接数目的多少。也就是说,如果一个节点的链接数越多,则其对整个系统的重要性就越大。节点的链接数可以通过链接矩阵计算获得。在该链接矩阵中,如果两个节点之间有链接,则元素赋值为1;否则赋值为0。本假设没有考虑链接的方向性,也忽略了链接的多重性,即两个节点间不论存在几条链接,只要有链接,都计为1。

(3) 链接权值的赋予对于该方法至关重要,直接影响到关联度结果的大小。本研究采用如下权重赋值方法:

$$\alpha_i = 1 - \frac{1}{(m+n+2)} \quad (1)$$

式中, α_i 为第*i*个链接的权值,*m*和*n*分别为该链接两端节点的链接数。根据该权重赋值方法,如果两个都没有链接的节点相连,其 α_i 为0.5;两端节点的链接度越高,则该链接的权值越大。

之所以这样设定是借鉴社会网络研究中的“结构洞”理论。该理论由罗纳德·伯特(Ronald Burt)提出^[7]。所谓“结构洞”是指两个节点之间因缺少联系而在关系网络结构上形成一个空缺,举例而言,在一个网络中B与C都和A有联系,如果B和C之间缺少更直接的连接,而必须通过行动主体A才能形成联系,那么行动主体A就在该人际网络中占据了一个结构洞。显然,A在人际网络中的结构洞越多,其地位就越重要,他调动人际关系为自己服务的能力就越强。

(4) 由此,考虑链接重要性的产业生态群落关联度计算如下:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^L \alpha_i}{S(S-1)/2} \quad (2)$$

式中, C_s 为考虑权重的产业生态群落关联度;*S*为产业生态群落的物种(节点)数;*L*为产业生态群落的链接数; α_i :链接权值。

2 案例分析

2.1 卡伦堡工业共生体系

以2001年卡伦堡生态工业系统为例进行本模型方法的计算和讨论,其节点链接如图1所示^[8]。

依据所建模型式(2),计算基础情况和3种假设情景的产业生态群落关联度指标。其中,情景1为在基础案例上增加新的链接(图1中红色链接1,假设在炼油厂和酶制剂厂之间增加一条链接),而不增加新的节点;情景2(新增节点链接到Asnaes电厂)与情景3(新增节点链接到酶制剂厂)分别在重要度不同的节点加入新的节点和链接。计算结果如表1所示。表1同时也示出了不考虑权重的群落关联度的计算结果。

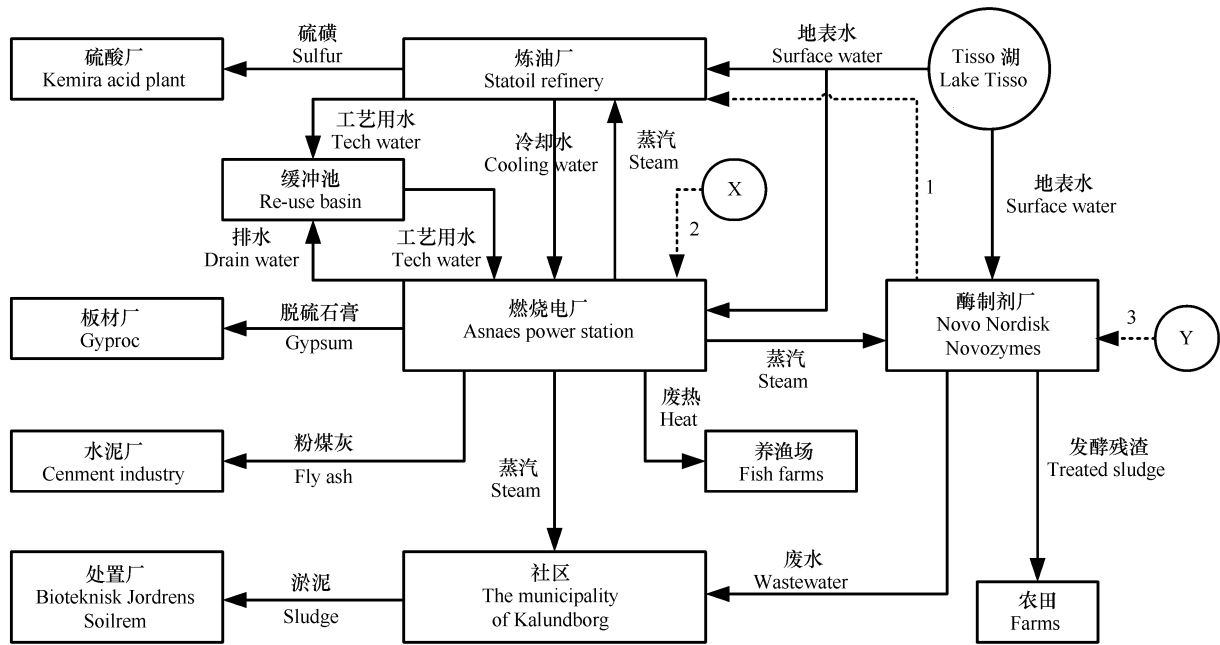


图1 2001年卡伦堡工业共生体系链接图^[8]

Fig. 1 Industrial food web for the Kalundborg industrial symbiosis system(2001)^[8]

表1 卡伦堡工业共生体系(2001年)关联度计算结果

Table 1 Connectance results for the Kalundborg industrial symbiosis system(2001)

情景 scenarios	计算基准 node number	不考虑权重的关联度 the non-weighted connectance result	考虑权重的关联度 the weighted connectance result
0 基础情况 original condition	节点数为 12 node number is 12	0.227	0.205
	节点数为 13 node number is 13	0.192	0.174
1 假设加入链接 1 adding connection 1	节点数为 12 node number is 12	0.242	0.219
	节点数为 13 node number is 13	0.192	0.174
2 假设加入链接 2 adding connection 2	节点数为 13 node number is 13	0.205	0.186
3 假设加入链接 3 adding connection 3	节点数为 13 node number is 13	0.205	0.185

可以看出：

(1) 与不考虑权重比较,考虑权重的关联度普遍较小,这是因为链接所能赋予的权重区间为 $[0.5, 1]$,最大不会超过1。

(2) 在节点数保持不变的情况下,无论是否考虑权重,在基础系统中增加链接数都将使关联度增大,这很好地体现了关联度定义的本意,也就是体现了一个生态系统内物种之间的关联程度。

(3) 在基础系统中增加新的节点和一条链接数,无论是否考虑权重,都将使关联度减小。这是由于随着节点数的增加,系统的最大可能链接数也相应增加,且增加幅度远远大于1。为此,只增加一条链接必然导致关联度指标的减小。为了对比节点增加前后的系统关联程度变化情况,建议在新增节点数下重新计算基础系统的关联度,例如在考虑权重的情况下,基础系统的关联度在增加一个节点的情况下,其值由0.205减少到0.174。由此,新增节点和链接后的关联度将大于基础系统的关联度。

(4) 对于情景2和3,分别在不同的节点增加新的节点和链接,如果应用文献^[3]的方法,计算结果是相同的,均为0.205;而根据本文提出的计算方法,计算结果分别为0.186和0.185。尽管差别很小,但也体现出了不同链接对于整个系统关联度变化的不同,达到了本文探讨链接重要度的目的。

2.2 安阳高新区工业共生体系

卡伦堡案例初步表明了本文所提方法的有效性,为了进一步验证本方法在实际中的应用,本文采用安阳高新区生态工业系统规划的实际案例进行比较计算。图2示出了安阳高新区生态工业系统规划前后的工业共生体系。按照规划,该共生体系需要引入印染模块,由此在电厂、纺织厂、水泥厂、废水处理厂之间形成更为紧密的共生关系,可以达到印染废水和粉煤灰等废物优化处理回用的目的。同时,该规划方案也考虑了废水回用,增加了水回用的链接数。

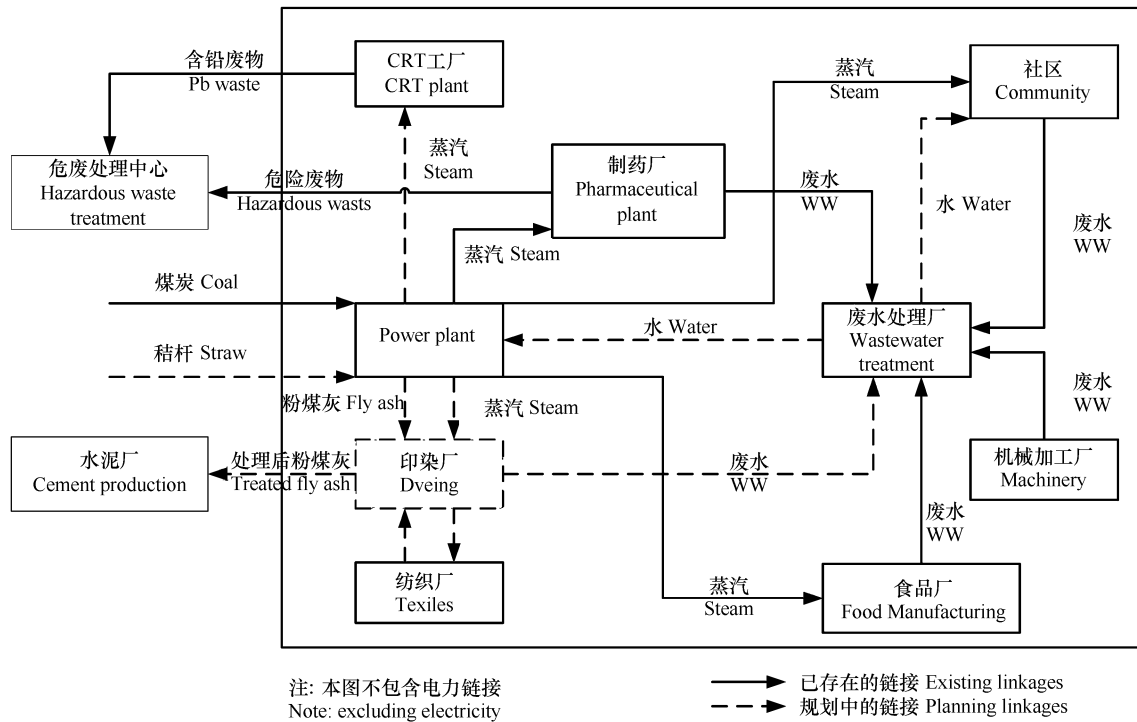


图2 安阳高新区工业共生体系
Fig.2 The industrial symbiosis system in Anyang High-tech Park

表2 安阳高新区工业共生体系关联度计算结果

Table 2 Connectance results for the industrial symbiosis system in Anyang High-tech Park

情景 Scenarios	计算基准 Node number	不考虑权重的关联度 The non-weighted connectance result	考虑权重的关联度 The weighted connectance result
1 实际情况 original condition	节点数为 11 node number is 11	0.200	0.174
	节点数为 13 node number is 13	0.141	0.123
2 规划建议方案 After planning of the industrial symbiosis system	节点数为 13 node number is 13	0.244	0.219

从计算结果可以看出:当加入印染模块后,不考虑权重的关联度由0.141增加到0.244(节点数同为13),考虑权重的关联度由0.123增加到0.219(节点数同为13)。尽管节点数只增加了2个,但由于链接数增加了9条,因此规划后的共生体系关联度大大增加。由此,关联度指标为生态工业园区规划提供了较好的量化指标,以表征工业共生体系的关联程度。

3 结论与建议

(1) 与不考虑权重的关联度比较,考虑权重的关联度指标要小,这是由于权重的设定方法所致。

(2) 对于同一工业生态系统,节点的增加一般会导致关联度的降低,这点与不考虑权重的关联度一致。为了使节点增加前后的产业群落更具可比性,建议以新增群落的节点数来重新计算原有群落的关联度,并进行两者之间的比较。

(3)与不考虑权重的关联度指标比较,考虑权重的关联度能够更好地体现节点和链接重要性的不同,由此可以为生态工业园区规划提供了更好的定量化指标。

(4)考虑权重的关联度同样也难以表征工业生态系统的稳定性,其解释需要依赖于特定的工业系统及新增节点性质。可以借助于复杂网络的小世界性来更好地表征工业生态系统的稳定性,目前探讨工作正在进行中。

Reference:

- [1] Wu C Y, Deng H, Duan N. Review on the Study of the Stability of Industrial Ecosystem. *China Population, Resources and Environment*. 2005, 15(4): 20–25.
- [2] Hardy C T E, Graedel. Industrial ecosystems as food webs. *Journal of Industrial Ecology*, 2002, 6(1): 29–37.
- [3] Dai T J, Lu Z W. Two indices for quantitative evaluation of eco-industrial park area. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 632–636.
- [4] Paine R T. Food webs: Road maps of interactions or grist for theoretical development. *Ecology*, 1988, 69(6): 1648–1654.
- [5] de Ruiter P C, Neutel A M, Moore J C. Energetics, patterns of interaction strengths, and stability in real ecosystems. *Science*, 1995, 269: 1257–1260.
- [6] Mao Y R, Sun Q H, Qiao Q. Empirical study on symbiosis pattern in coke oven plants. *Modern Chemical Industry*, 2006, 26(2): 6–13.
- [7] Ronald S Burt. *Structural Holes: the Social Structure of Competition*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1995.
- [8] Ernest A Lowe. *Eco-industrial park handbook for Asian developing countries* [EB/OL]. www.indigodev.com, 2001-10-03.

参考文献:

- [1] 武春友,邓华,段宁. 产业生态系统稳定性研究述评. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(4): 20~25.
- [3] 戴铁军,陆钟武. 定量评价生态工业园区的两项指标. *中国环境科学*, 2006, 26(5): 632~636.
- [6] 毛玉如,孙启宏,乔琦,沈鹏. 焦化企业工业共生模式实证研究. *现代化工*, 2006, 26(2): 6~13.