DOI: 10.5846/stxb201611232387
石磊,陈伟强.中国产业生态学发展的回顾与展望.生态学报,2016,36(22): - .
Shi L, Chen W Q.Industrial ecology in China: retrospect and prospect.Acta Ecologica Sinica,2016,36(22): - .

中国产业生态学发展的回顾与展望

石 磊[1,*],陈伟强[2]

1 清华大学 环境学院,国家环境保护生态工业重点实验室,北京 100084

2 中国科学院城市环境研究所,城市环境与健康重点实验室,厦门 361021

摘要:作为一门探讨产业发展与生态环境之间相互关系的学科,产业生态学需要对我国生态化转型重大战略选择做出贡献。本文回顾与评述了产业生态学在我国的发展,指出产业生态学在我国的起源具有多源性,既有着中国传统哲学的传承,也有着多种工程学科的经验升华,还有着前苏联经验的烙印。在进入新世纪后,我国产业生态学的发展开始深受西方学术的影响,逐渐建立起较为系统的教育、研究和组织体系。这些成果体现在课程开设、学科建设、机构成立和研究发表等方面。本次专栏评述了其中的代表性领域并收录了相关成果,例如生命周期评价和产业共生等。在探讨产业生态学学科发展的现实性、理论性及政治性基础上,提出了需要进一步观察、总结和提炼过去的发展实践,需要关注中国根本性和战略性的核心问题,需要建构产业生态学的中国学派,需要加速建设产业生态学的教育和学科发展体系,并接受生态文明转型这一历史使命的挑战,为中国乃至世界产业生态学发展以及产业生态化做出贡献。

关键词:产业生态学(或工业生态学);生态文明;绿色发展;中国学派

Industrial ecology in China: retrospect and prospect

SHI Lei[1,*], CHEN Weiqiang[2]

1 *State Environmental Protection Key Laboratory on Eco-industry, School of Environment, Tsinghua University, Beijing* 100084, *China*

2 *Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen* 361021, *China*

Abstract: As a discipline of studying on relationship between industrial development and ecological environment, industrial ecology needs to make contributions to major strategies of sustainable transition and eco-civilization of China. This paper reviews and prospects the development of industrial ecology in China. The first finding is that China's industrial ecology has multiple origins, stemming from the inheritance of the traditional Chinese philosophy, the distillation of various engineering disciplines and experience from the former Soviet Union. After entering the new century, the development of industrial ecology in China has been greatly influenced by the western academic system. China has gradually established systems of education, research and institutionalization. These achievements are embodied in the curriculum design, discipline development, organization construction and research publication. Some representative themes and topics are reviewed and included in this column, such as life cycle assessment and industrial symbiosis, etc.. After exploring its realistic, theoretical and political bases, this paper presents the following suggestions. We need to further observe, summarize and refine the past experience on industrialization, urbanization and pollution prevention; we need to focus on and respond to the core issues concerning China's fundamental and strategic needs; we need to establish the Chinese school of industrial ecology and strengthen our influences; we need to accelerate the construction of industrial ecology education systems and attract more and more young people; we need to take the grand challenges brought by ecological civilization and accept this historical mission.

基金项目:清华大学学科交叉专项基金(20121088096);国家社会科学基金项目(13BJY030)

收稿日期:2016-11-23

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

Key Words: Industrial ecology; eco-civilization; green development; Chinese school 历经 30 多年的经济增长奇迹,我国已经成为世界工厂,正面临着前所未有的资源与环境挑战。在经济发展进入新常态之际,我国将绿色发展和生态文明建设明确为发展的主旋律。作为一门探讨产业发展与生态环境之相互关系的学科,产业生态学(Industrial ecology,也译作工业生态学)[1]需要对我国当前所面临的生态化转型重大战略选择做出贡献。为此,我们组织了本次中国产业生态学发展的回顾与展望专栏,以期回顾我国产业生态学发展的起源和历程,总结成就与问题,展望未来并为学科发展提出对策和建议。本文既是对本专栏的小结,也是一次对我国产业生态学发展的全面回顾与展望。

1 产业生态学的国际发展脉络

产业生态学可以看作一门研究产业与产业以及产业与环境之相互作用关系的学科。它要求人们不是孤立而是协调地看待产业系统与其周围环境的关系,提倡从产品全生命周期——原材料准备、产品加工、产品使用、废物管理——对流经社会经济系统的物质和能量加以优化利用[1]。产业生态学作为生态学领域的新兴学科分支,其确立还不到 30 年的时间,但发展迅速且前景广阔。

1.1 学科创立及其渊源

国际产业生态学会(International Society for Industrial Ecology)将产业生态学的学科发端归属于 1989 年发表在《科学美国人》上的文章“制造业的策略”[2]。该文作者美国通用汽车实验室的罗伯特·福罗什(Robert Frosch)和尼古拉斯·加罗布劳斯(Nicolas Gallopoulos)在文中指出:“在传统的工业体系中,每一道制造工序都独立于其他工序,消耗原料,产出将销售的产品和将堆积起来的废料;我们完全可以运用一种更为一体化的生产方式来代替这种过于简单化的传统生产方式,那就是工业生态系统……”。

事实上,产业生态学的思想和术语的诞生早于该文。追根溯源,产业生态学的学科起源主要有两大脉络。一是发端于工业代谢以及后来内涵更为扩展的社会经济代谢。所谓工业代谢,是指在稳态条件下将原材料、能源和人类劳动转变为最终产品和废弃物的物理过程的集合,实质是指运用物质和能量守恒原理来对工业系统的物质/能量的流动和存储进行输入、输出和路径分析,旨在揭示工业活动所涉及的物质/能量的规模与结构,提供给我们关于工业系统运行过程和机制的一个整体图景和理解[3]。描述能量物质守恒的热力学第一定律是伴随着工业革命逐渐明晰确立的,利用守恒定律开展工业过程的分析、设计和优化也是顺理成章的事情。随着工业规模的不断扩大尤其是二战后现代化工业的迅速崛起,工业生产与资源环境的矛盾越发突出,在探究环境污染成因的过程中,人们逐渐认识到物质和能量守恒定律有助于定量化揭示工业环境污染的历史与变化过程。例如,通过进行氮元素的代谢分析可以考察水体富营养化问题的根源[4],通过镉元素的代谢分析可以追踪莱茵河流域镉污染的来源及路径[5]等。基于对工业系统中特定元素或物质的追踪考察,Robert Ayres 等人提出了工业代谢的概念[3]。在经历一段时间的研究积累后,国际产业生态学会第一任主席、耶鲁大学教授 Thomas Gradel 在 2000 年前后提出了 STAF(stock and flow)框架将元素流分析逐渐标准化,形成了针对单一物质的物质流分析方法体系[6]。另一方面,人们也注意到城市、区域、流域甚至国家物质代谢的重要性,针对区域经济系统也形成了类似的物质代谢方法[7-9]。这两大类方法最终拓展成为社会经济代谢的全谱系[10]。

产业生态学的第二大发端是对产业共生现象的观察以及对工业生态系统与自然生态系统的类比。工业大发展导致工业废弃物在种类上的急剧增加和规模上的迅速扩大,废物的综合利用和循环利用成为工业发展必须解决的重要问题,不同工业和企业之间的联系因为废物交换的行为而密切起来,这些现象颇类似于自然生态中的共生行为,因此产业共生在这个过程中逐渐显化出来。1989 年,丹麦卡伦堡产业共生体系如童话般地被发现,终于引发了产业生态学领域的大讨论[11],并进一步从产业共生延伸到产业生态学与自然生态学的全面类比。个体、种群、群落和生态系统等不同尺度上的对比与隐喻为产业生态学的诞生和发展提供了直接的洞察和方向指引[12]。

1989 年《科学美国人》上美国人所认为的奠基之作发表后,产业生态学由学科发展的自发阶段转入自觉阶段。1991 年,美国国家科学院召开产业生态学专题研讨会,并于 1992 年在《美国国家科学院院刊》上组织了一期专刊讨论产业生态学的概念、工具与发展方向[13];其后,美国可持续发展委员会开始了生态工业园区的建设试点[14]。1995 年,T.E. Graedel 和 B.R. Allenby 出版了第一本教科书。1997 年,《产业生态学杂志》作为产业生态学领域的专业杂志正式创刊。1998 年,产业生态学领域召开了第一次高登研究会议,此后每两年举办一次,历届研讨主题如表 1 所示。

表 1　历届产业生态学高登研究会议

Table 1　Gordon Research Conferences on Industrial Ecology

届次 Congress	时间 Time	地点 Location	大会主题 Theme
第一届 1st	1998	美国新伦敦(New London)	无
第二届 2nd	2000	美国新伦敦(New London)	无
第三届 3rd	2002	美国新伦敦(New London)	无
第四届 4th	2004	英国牛津(Oxford)	主要技术转型
第五届 5th	2006	英国牛津(Oxford)	无
第六届 6th	2008	美国新伦敦(New London)	转变能源、材料、水和废物的使用模式
第七届 7th	2010	美国新伦敦(New London)	从分析到设计
第八届 8th	2012	瑞士莱迪亚布勒雷(Les Diablerets)	产业生态学对解决迫在眉睫可持续发展问题的作用
第九届 9th	2014	意大利卢卡(Lucca)	转变产业代谢
第十届 10th	2016	美国斯托(Stowe)	关键十年的机会——将福利与环境压力和影响脱钩

来源:http://www.grc.org/conferences.aspx? id=0000386

1.2　国际产业生态学会成立及其发展

2000 年,国际产业生态学学会(ISIE)成立,这是产业生态学发展的里程碑事件。2001 年,第一届产业生态学国际大会在荷兰召开,其后每两年举办一次,历届大会举办地点和主题如表 2 所示。

表 2　历届产业生态学会国际大会

Table 2　The International Conferences of ISIE

届次 Congress	时间 Time	地点 Location	大会主题 Theme
第一届 1st	2001	荷兰莱顿(Leiden)	产业生态学的科学和文化
第二届 2nd	2003	美国安娜堡(Ann Arbor)	可持续交通与可持续消费
第三届 3rd	2005	瑞典斯德哥尔摩(Stockhlom)	为可持续未来的产业生态学
第四届 4th	2007	加拿大多伦多(Toronto)	为可持续未来的产业生态学
第五届 5th	2009	葡萄牙里斯本(Lisbon)	向可持续性的转变
第六届 6th	2011	美国伯克利(Berkeley)	科学、系统和可持续性
第七届 7th	2013	韩国蔚山(Ulsan)	产业生态学:绿色经济的策略
第八届 8th	2015	英国萨里(Surrey)	盘点产业生态学
第九届 9th	2017	美国芝加哥(Chicago)	支持可持续及弹性社区的科学

来源:http://www.is4ie.org/pastevents

在 2007 年前后,产业生态学在学科内部开始出现社群化的现象,至今成立了生态工业发展、社会经济代谢、可持续城市系统、可持续消费与生产、环境投入产出分析和生命周期评价共 6 个分会。这些分会都会不定期举办研讨会等活动。同时,区域性会议或国家性组织也开始出现。2008 年,以日本、韩国和中国代表的群体召开了第一届产业生态学亚太地区会议,此后每两年召开一次。2018 年的亚太会议将于中国举办,如表 3 所示。

2 中国产业生态学的起源与发展

2.1 中国产业生态学的起源

与西方类似,我国产业生态学的发端也是与现代工业体系的建设和发展密切相关的。建国后,新中国迅速启动了现代工业体系的建设,但对于环境问题的关注则迟至 70 年代。1972 年,我国派代表参加了在瑞典举行的人类环境大会,开始意识到社会主义建设也会产生环境问题。1978 年,我国制订了环境保护基本法。其后,陆续确立了老三项和新五项环境保护制度,开始制度化推动末端治理、无废工艺和清洁生产的发展[15]。

表 3 历届国际产业生态学会亚太地区会议

Table 3 The Asia-Pacific Meetings of ISIE

届次 Congress	时间 Time	地点 Location	大会主题 Theme
第一届 1st	2008	日本川崎(Kawasaki)	环境创新的可持续管理,理论与实践之间的共生
第二届 2nd	2010	日本东京(Tokyo)	加强亚太地区的产业生态学
第三届 3rd	2012	中国北京(Beijing)	亚太地区走向生态工业发展
第四届 4th	2014	澳大利亚墨尔本(Melbourne)	亚太世纪的产业生态学:建立可持续产业系统和人类住区的交叉科学
第五届 5th	2016	日本名古屋(Nagoya)	无
第六届 6th	2018	中国青岛(Qingdao)	待定

在对工业环境问题进行治理的思考过程中,我国生态学学科的奠基人马世骏先生在 1983 年前后明确提出了经济生态学的概念,他认为经济生态学是经济学和生态学相互渗透所形成的边缘学科,既需要用经济学的观点和方法论研究生态学问题,也需要研究经济高速发展过程中所出现的生态学问题,同时还需要把经济学原则和生态学原则结合起来,构成经济生态学原则,作为工农业建设等应遵循的原则[16]。其后,马世骏和王如松等在经济生态学的基础上明确提出了产业生态学的定义,这一概念与此前他们所提出的人工复合生态系统、生态工程等一同构成了产业生态学的哲学思考及理论框架体系[17]。这一体系带有明显的中国传统哲学色彩,致力于从“天人合一”的中国哲学传统去阐释产业生态学的内涵,并从中梳理出桑基鱼塘农业生态体系、无废工艺工业生态体系和城市生态体系等[18-19]。

与此同时,在环境、冶金、化学和材料等诸多工程学科领域,产业生态学的理念也悄然生根发芽。1992 年里约联合国环境与发展大会之后,清华大学钱易就开始推进可持续发展的相关研究。1997 年,中国环境与发展国际合作委员会成立了清洁生产工作组以及其后的循环经济课题组,先后邀请了国家清洁生产中心段宁、东北大学陆钟武、同济大学诸大建等中外专家对清洁生产、生态工业和循环经济展开了系统探讨和政策研究[20]。陆钟武在冶金工程研究中认识到需要站在工业系统高度上寻求冶金与环境的平衡之道,从而明确提出了工业生态学的学科发展思路[21],并直接推动建设了我国产业生态学领域的第一个省部级重点实验室,国家环境保护生态工业重点实验室。清华大学金涌[22]、中国科学院过程工程研究所张懿以及北京工业大学左铁镛等也分别从化工、冶金和材料等学科的角度倡导和引领了产业生态学的发展,为我国产业生态学学科做出了重要贡献。

同时,我国产业生态学的发展也有着前苏联的烙印。我国早期的工业化实践基本是在学习借鉴前苏联的发展模式。清华大学席德立从前苏联留学经历中得到启发,于 1990 年出版了《无废工艺-工业发展的新模式》[23],首次提到“工业生态学”,并系统阐述了产业生态学的内涵,根据工业本身的功能从工业生产和环境关系的角度考察了自产业革命以来工业发展的三种模式,指出采用无废工艺乃是工业发展的最新模式是谋求合理利用自然资源和有效保护环境的根本措施。特别地,该书中提到的无废工业园区实际上就是当前的生态工业园区。

可以看出,我国产业生态学的起源带有显著的多源性,既有着强烈的中国传统哲学的色彩,更有着扎根于各行各业工程学科的独立思考,也有着前苏联传统的烙印。

2.2　中国产业生态学的发展

学科的发展往往与其研究对象存在着协同演进的关系。2000 年前后,我国在历经 20 余年改革开放后,已经确立了工业的主导地位,以开发区/高新区为代表的工业园区发展体系已经成形,同时也痛感工业发展所带来的资源环境问题。例如,我国环保部门在当时发展形势下提出了 2000 年“零点行动”和“一控双达标计划”。我国决策部门已经开始认识到应从工业发展模式的高度来审视工业发展所带来的资源环境问题,这就需要新的视角、理论和政策体系来支撑。在这种背景下,产业生态学就成为我国学术界、政界和实业界的共同选择。

同时,对西方学科发展的吸收和借鉴大大加速了产业生态学在我国的发展进程。1993 年,耶鲁大学 Graedel 等发表在《IEEE Technology and Society》上的文章被翻译成中文,系统介绍了产业生态学的定义及发展历程[24]。1996 年,《产业与环境》中文版有多篇文章介绍了产业生态学在西方的发展,包括“产业生态学:私有部门的新机会”[25]和“创造工业生态系统:一种可行的管理战略?”[26]。1997 年,《产业生态学杂志》创刊,其后不久就推出了中文摘要。1998 年,杨建新和王如松发表《产业生态学的回顾与展望》,系统介绍了产业生态学的早期历程及其西方进展[27]。1999 年,Suren Erkman 科普著作《产业生态学》中文版出版[28]。2004 年,世界上第一本《产业生态学》教材由施涵翻译成中文出版。这些著作资料对于我国产业生态学的传播起到了积极的作用。

在学科教育方面,2002 年清华大学和东北大学等高校首次在本科或研究生层面开设了产业生态学的专门课程[29]。2004 年,耶鲁大学在 Luce 基金支持下与清华大学联合举办了产业生态学教育研讨班,共有来自 20 余所高校的 40 多名学员参加。其后,更多高校纷纷开设产业生态学课程,据不完全统计,开设产业生态学及相关课程的高校至今超过 30 余所。更进一步,东北大学于 2012 年依托“动力工程及工程热物理”、“冶金工程”和“管理科学与工程”三个一级学科自主设置了工业生态学的交叉学科博士点和硕士点。2012 年前后,教育部批准设立了资源循环科学与工程专业,至今已经有 20 余所高校开设了该专业。

在组织机构建设方面,2001 年清华大学化学工程系在国内率先成立了生态工业研究中心。2002 年,由东北大学、中国环科院和清华大学共同成立了国家环境保护生态工业重点实验室。其后,大连理工大学、北京工业大学、北京科技大学、中国科学院生态环境研究中心、中国科学院过程工程研究所、中国科学院城市环境研究所和中国科学院沈阳应用生态研究所等也陆续成立了相关的研究机构或研究组。

2006 年,中国生态经济学会工业生态经济与技术专业委员会成立,并于当年在清华大学召开了产业生态学会议,其后该会议变成年会每年召开,迄今已经召开了第 11 届,如表 4 所示。

表 4　历届中国生态经济学会工业生态经济与技术专业委员会年会

Table 4　Annual meeting of the Industrial Ecological Economics and Technology Professional Committee

届次 Congress	时间 Time	地点 Location	大会主题 Theme
第一届 1st	2006	清华大学	生态工业工程与循环经济
第二届 2nd	2007	南京大学	技术创新与发展循环经济
第三届 3rd	2008	武汉大学	生态产业·循环经济与“两型”社会建设
第四届 4th	2009	中国科学院沈阳应用生态研究所沈阳农业大学	生态工业、循环经济和生态环境建设
第五届 5th	2010	天津理工大学	循环·绿色·低碳与生态工业发展
第六届 6th	2011	山西大学	资源·循环·低碳·绿色·可持续发展
第七届 7th	2012	中国科学院过程工程研究所	绿色过程·循环型生产·循环型社会
第八届 8th	2013	北京大学	技术创新推动资源循环,经济转型促进生态文明
第九届 9th	2014	华南理工大学	协同创新技术推动蓝色海洋经济,钢铁石化产业循环促进生态文明建设
第十届 10th	2015	福州大学	生态工业提升中国制造,循环经济推进一带一路
第十一届 11th	2016	武汉循环经济研究院华中科技大学	绿色制造

2014 年,中国环境科学学会生态产业分会获批成立。2015 年,在第八届产业生态学国际大会召开之际,参会的近 80 名海内外华人在历经两年的酝酿之后成立了华人产业生态学会(Chinese Society for Industrial Ecology,CSIE)。2016 年,在第 15 届生态学大会上首次召集举办了产业生态学专题研讨会,旨在筹备成立生态学会产业生态专业委员会。由此,产业生态学在国内全面进入组织化推动发展阶段。

可以看出,在进入新世纪后,中国产业生态学的发展深受西方的影响,开始建立较为系统的教育、研究和组织体系。在这个过程中,国际产业生态学学会和耶鲁大学对于中国产业生态学的发展起到了非常重要的推动作用。同时,中国也开始深度参与国际事务,在国际上做出贡献。例如,清华大学于 2012 年组织了第三届产业生态学亚太会议,并与韩国和日本共同组织召开了第 7 届产业生态学国际大会等。

3 产业生态学作为学科出现的必然性

产业生态学的出现及其在我国的蓬勃发展有其必然性,这种必然性源自于现实性、理论性及政治性三重逻辑的互动中。正如黑格尔所说,“一个定义的意义和它的必然证明只在于它的发展里,也就是说定义只是从发展过程里产生出来的结果”[30]。

产业生态学具有无可争议的现实性。在很大程度上,产业生态学是带着“枷锁”的工业“原罪”而来的必然结果。工业革命开启了人类社会的潘多拉魔盒,工业作为一种新的社会发展秩序,全面、深刻和彻底地改变了人类社会及其所依存的生态环境,正如电影《指环王》的台词所言,“工业之火将吞噬一切”。问题在于,这一秩序是一种毁誉参半的秩序,既带来了巨量的物质财富,也留下了斑驳的生态烙印,形形色色的资源环境问题纷纷出现。实际上,人类在工业革命之始也同时开启了与环境问题的抗争,从无所作为的逃避到反应式的末端治理,从生产过程的清洁生产到产品的生态设计,从全生命周期管理到循环经济、低碳经济和绿色经济,人们在为这些环境问题寻求着各自不同的现实解决方案。与此同时,人们也从各自不同的视角来对工业与环境的关系进行观察、界定并力图改善,慢慢建造出一座包含林林总总环境术语的“森林”。久而久之发现,我们已经迷失在这座森林里,“只见树木,不见森林”,希望出现一门关于工业发展与生态环境关系的整合性学科的要求就呼之欲出[31-32]。因此,产业生态学的出现就成为必然。

在理论性方面,产业生态学作为学科应该成为一个由一系列概念、判断和推理表达出来的关于产业生态化本质及其规律性的知识逻辑体系。产业生态学有两大理论渊源,一是源于与自然生态系统的隐喻,“师法自然”,颇具有东方哲学传统;二是源于工业系统与环境系统的解析,“工业代谢”,颇具有西方哲学传统。在解构传统下,产业生态学领域已经发展出生命周期分析、物质流分析、材料流分析和投入产出分析等一系列的理论和方法,利用这些方法解析了社会经济系统与自然生态系统在企业、园区、城市、区域、国家乃至全球尺度上的物质代谢联系,给出了工业革命以来经济增长与资源投入和污染产出的耦合图景;在隐喻传统下,我们的工业系统需要向自然生态系统学习,将废物消纳在工业链网中。类似的隐喻不仅发生在生态系统层面,而且发生在个体、种群、群落等各个层面,由此创造出产业共生、工业生态系统和生态工业园区等术语来表征工业生态化进程中所出现的新的事物和现象。解构传统和隐喻传统的汇流,成为当前产业生态学理论体系建构的核心任务,然而任重而道远。

在政治性方面,产业生态学作为学科的发展也必然是一个政治过程。西方人坚持将 1989 年发表在《科学美国人》上的文章和发生在欧洲的关于工业共生系统的发现看作产业生态学发展的里程碑事件,这虽看似偶然,实则是政治性使然。尽管美国的历史很短,但它的工业地位显赫,占据世界工厂地位长达近两百年;另一方面,欧洲老牌的工业化国家与美国人具有高度的同根性和认同感,因此尽管他们相互竞争,但也会彼此合作并维护这一领域的发现权和话语权。与之相反,前苏联尽管在产业生态学方面很早就有相关的表述甚至是系统实践,但在当前的国际产业生态学发展中几乎没有了声音。

4 中国产业生态学的研究领域分析

在中国知网全文数据库以“产业生态学”或“工业生态学”为关键词检索,检索结果呈现先升后降的变化

趋势,如图 1 所示。文献解析发现,2006 年之前,产业生态学文献主要侧重于理念传播和概念探讨,之后便进入到细分领域的发展阶段,产业生态学领域发表的文章以“产业生态学”或“工业生态学”为关键词的就越来越少。

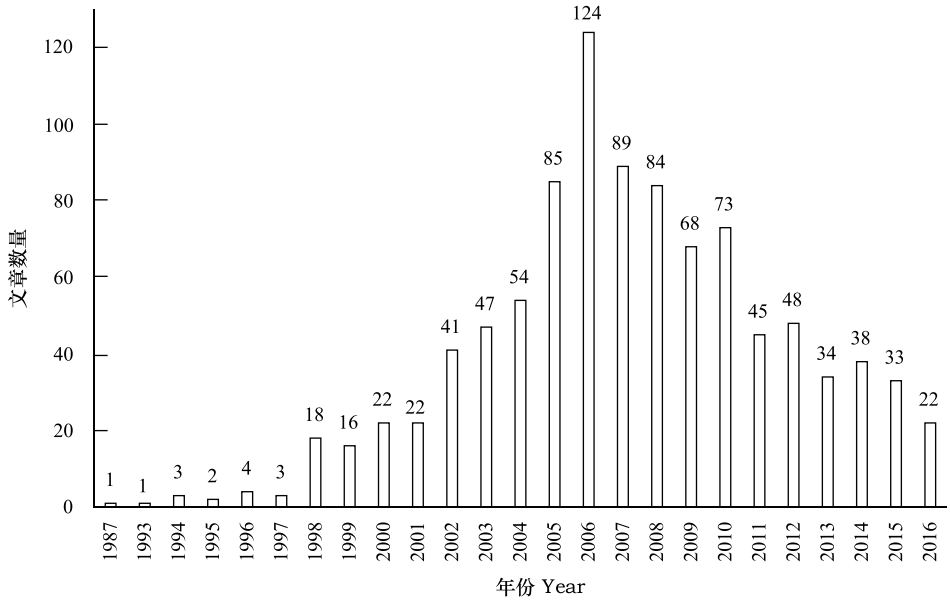

图 1　中国产业生态学期刊文献发表情况

Fig.1　Publications of industrial ecology in China

在学科分布方面,中国知网给定的八大学科类别中,经济与管理科学近乎一枝独秀,占据 68.8%的份额;工程技术居次席,占 23.6%;其余所有只占 7.6%的份额。在细分领域中,宏观经济管理与可持续发展、环境科学与资源利用、工业经济位居前三,合计占 59.3%,如表 5 所示。

表 5　工业(产业)生态学中文文章在各学科门类中的分布

Table 5　The distribution of industrial ecology articles published in Chinese journals in different discipline categories

学科门类(文章数量) Discipline categories (Quantity of articles)				
经济与管理科学	工程技术	社会科学	基础科学	其他
宏观经济管理与可持续发展(419)	环境科学与资源利用(184)	高等教育(8)	资源科学(22)	林业(11)
工业经济(144)	建筑科学与工程(21)	行政法及地方法制(5)	生物学(16)	出版(5)
经济理论及经济思想史(120)	工业通用技术及设备(16)	体育(4)	数学(9)	预防医学与卫生学(3)
经济体制改革(59)	矿业工程(12)	社会学及统计学(3)		美术书法雕塑与摄影(3)
企业经济(57)	无机化工(11)	人才学与劳动科学(2)		人物传记(3)
旅游(24)	轻工业手工业(11)			无线电电子学(2)
农业经济(15)	有机化工(10)			
贸易经济(8)	冶金工业(8)			
会计(6)	汽车工业(8)			
金融(5)	动力工程(6)			
科学研究管理(4)	机械工业(5)			
信息经济与邮政经济(3)	石油天然气工业(3)			
投资(3)	电力工业(2)			

造成这一分布特征的主要原因除了不同学科的发展热度不同外,还在于不同学科对于产业生态学的研究尺度不同。对于经济与管理学科而言,更倾向于将产业生态学作为一个整体概念进行探究,关键词分析验证了这一点,知网给出的前 5 个高频关键词依次为:循环经济(219)、工业生态学(133)、可持续发展(117)、生态

工业园(98)和产业生态学(92)。对于资源环境和工程技术领域而言,在经历初期的概念辨析后,就迅速转入细分行业和方法工具的研究阶段,此时再以“产业生态学”或“工业生态学”检索就难以呈现学科发展的真实面貌。

事实上,采用自主开发的产业生态学文献检索平台 IEMiner,对 Journal of Industrial Ecology/Journal of Cleaner Production/Resources Conservation, and Recycling/Ecological Economics/International Journal of Life Cycle Assessment 共 5 个期刊进行关键词检索表明,国际范围的关键词频度分布与国内显著不同,如图 2 所示。

图 2 国际期刊中产业生态学的关键词热度示意图

Fig.2 The schematic diagram of high frequency keywords of industrial ecology in the international journals

本专栏根据 ISIE 社群分布以及我国学科发展特点,设定了 10 个方面的类别:1)工业(产业)生态学的学科发展与教育;2)我国生态工业、清洁生产与循环经济的发展;3)产业共生与生态工业园区的理论与实践;4)国家尺度的资源与物质代谢;5)区域与城市尺度的资源与物质代谢;6)可持续城市与基础设施;7)可持续的生活与消费方式;8)生命周期评价及碳足迹、水足迹或生态足迹分析;9)工业生态系统复杂性及政策;10)其他工业(产业)生态学领域的重要议题。

本专栏在约稿、会议论文和自由投稿基础上共收到上百篇论文来稿,经同行评议遴选出 21 篇文章在本专栏刊出。其中,综述或评述文章 8 篇,研究性文章 13 篇。按照领域划分(有多重计数),生命周期评价及碳足迹、水足迹或生态足迹分析 12 篇,产业共生与生态工业园区的理论与实践 6 篇,区域与城市尺度的资源与物质代谢 4 篇;工业(产业)生态学的学科发展与教育 2 篇。显然,生命周期评价和产业共生是我国当前研究的两大热点。国际文献以及国际会议报告分析[33-34]均显示的另外一个热点“资源与物质代谢”和技术、消费及政策三个领域研究成果也将在其它相关期刊陆续报道。

5 中国产业生态学发展对策

我国过去 30 多年的工业化增长奇迹和进入新世纪后丰富多彩的生态工业实践为产业生态学的发展提供了绝佳的观察对象和实验舞台。在决策层面,我国已经明确树立起生态文明和绿色发展的旗帜;在实践层面,我国全方位地开展了产业生态化实践。在经济发展新常态的形势下,产业生态学能否发挥其应有的理论指导

和决策支撑作用,国内产业生态学群体能否在这一重要历史阶段发挥作用,是值得认真思考的事情。

如前所述,产业生态学仍将在现实性、理论性和政治性三重交互作用中继续前行,也会在“问题”与“主义”的两端持续振荡。我们不能在问题的纷纷扰扰中迷失学科方向,也不能在主义的诉求中过于形而上。为此,

(1)需要进一步观察、总结和提炼过去的发展实践,并在下一步产业生态化实践中遵从问题导向、逻辑导向和经验导向;

(2)需要关注关系中国根本性和战略性的核心问题,包括国家资源战略问题、环境安全问题、产业竞争力问题等,需要对这些核心问题给予回答,来指导和引领我国的产业生态化发展;

(3)需要建构产业生态学的中国学派,建构产业生态学的理论体系、方法体系、数据体系和话语体系;

(4)需要加速建设产业生态学的教育和学科发展体系,教育和吸引更多的年轻人进入和从事这一领域;

我国中国产业生态学群体需要接受生态文明转型这一历史使命的挑战,为中国乃至世界产业生态学发展以及产业生态化做出贡献。

致谢:感谢密西根大学徐明、香港城市大学施涵和南丹麦大学刘刚对本次专栏的共同组织;感谢中国科学院生态环境研究中心刘晶茹、山东大学王玉涛、北京大学童昕、东北大学王鹤鸣、清华大学胡山鹰和朱俊明的意见和建议;感谢清华大学孙明星和任亚楠对资料的整理。

参考文献(References):

[1] Graedel T E, Allenby B R. 施涵 译. 产业生态学(第2版). 清华大学出版社, 2004.

[2] Frosch R A, Gallopoulos N E. Strategies for manufacturing. Scientific American, 1989, 261(3): 144-152.

[3] Ayres R U, Ayres L W. Material flow analysis. In: Ayres RU, Ayres L W. Industrial Ecology: Towards Closing the Materials Cycle. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2002. 79-90.

[4] Commoner B. 封闭的循环: 自然、人和技术. 长春: 吉林人民出版社, 1997.

[5] Stigliani W M, Anderberg S. Industrial metabolism at the regional level: the Rhine Basin. In: Ayres R U, Simonis U K eds. Industrial Metabolism. United Nations University Press, 1994. 119 -162.

[6] Gordon R B, Bertram M, Graedel T E. Metal stocks and sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(5):1209-14.

[7] Wolman A. The metabolism of cities. Scientific American, 1965, 213(3): 179-190

[8] Matthews E. The Weight of Nations - Material Outflows from Industrial Economies. World Resources Institute, 2000.

[9] Fischer-Kowalski M, Krausmann F, Giljum S, et al. Methodology and indicators of economy-wide material flow accounting. Journal of Industrial Ecology, 2011, 15(6): 855-876.

[10] OECD. 2008a. Measuring material flows and resource productivity: Volume 1. The OECD guide. Paris: OECD.

[11] Ehrenfeld J, Gertler N. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. Journal of industrial Ecology, 1997, 1(1): 67-79.

[12] Graedel T E. On the concept of industrial ecology. Annual Review of Energy and the Environment, 1996, 21(1): 69-98.

[13] Jelinski L W, Graedel T E, Laudise R A, et al. Industrial ecology: concepts and approaches. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1992, 89(3): 793-797.

[14] Chertow M R. “Uncovering” industrial symbiosis. Journal of Industrial Ecology, 2007, 11(1): 11-30.

[15] Shi H, Moriguichi Y, Yang J. Industrial ecology in China, part I. Journal of Industrial Ecology, 2003, 6(3-4): 7-11.

[16] 马世骏. 现代化经济建设与生态科学—试论当代生态学工作者的任务, 生态学报, 1981 1(2): 176-178.

[17] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.

[18] 马世骏. 经济生态学原则在工农业建设中的应用. 农业经济问题, 1983(1): 3-5.

[19] 吕永龙, 赵泰涛, 王如松. 马鞍山市工业持续发展的生态对策. 青年生态学者论丛 (一), 1991.

[20] 钱易. 清洁生产与可持续发展, 节能与环保, 2002, 7: 10-13

[21] 陆钟武. 工业生态学基础. 北京: 科学出版社, 2010.

[22] 金涌, 李有润, 冯久田. 生态工业:原理与应用. 北京: 清华大学出版社, 2003.
[23] 席德立. 无废工艺:工业发展新模式. 北京: 清华大学出版社, 1990.
[24] Graedel T E, Allenby B R, Linhart P B. Implementing industrial ecology. IEEE Technology and Society Magazine, 1993, 12(1): 18-26.
[25] Karamanos P. 工业生态学: 私有部门的新机会. 产业与环境, 1996(4):38-39.
[26] Ayres R U. 创造工业生态系统: 一种可行的管理战略?. 产业与环境 (中文版), 1997, 4: 002.
[27] 杨建新, 王如松. 产业生态学的回顾与展望. 应用生态学报, 1998, 9(5): 555-561
[28] Erkman S. 工业生态学: 怎样实施超工业化社会的可持续发展. 北京: 经济日报出版社, 1999.
[29] Lei Shi. Industrial ecology education at Tsinghua University, Journal of Industrial Ecology, 2016, DOI: 10.1111/jiec.12445t
[30] 黑格尔. 小逻辑. 北京: 光明日报出版社, 2009.
[31] 王如松, 胡聃. 弘扬生态文明深化学科建设. 生态学报, 2009, 29(3):1055-1067.
[32] 石磊. 工业生态学的内涵与发展,生态学报,2008, 28(7): 3356-3364
[33] 石磊. 可持续性转型——第五届工业生态学国际大会综述. 生态学报, 2009, 29(8): 4426-4430.
[34] 石海佳, 梁赛, 王震, 等. 科学, 系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评. 生态学报, 2011, 31(21): 6641-6644.