

生态文明

10.13358/j.issn.1008-813x.2018.03.07

循环经济的生态学理论基础分析

曾现来, 袁 剑, 李金惠*, 单桂娟

(清华大学 环境学院, 北京 100084)

摘 要: 为了维持人类社会的发展, 人类与生态环境进行着各种物质交换。协调人类社会发展和生态环境之间的关系是人类面临的永恒课题, 人类需要开创“生态文明”来延续人类的生存。发展循环经济是生态文明建设的内在要求, 循环经济的提出有着深刻的生态学理论基础。研究从系统生态学、食物链、生态系统的物质循环与能量流动等方面, 系统论述了循环经济的生态学理论渊源, 概述了由此衍生出来的循环经济的生态经济学与产业生态学理论。

关键词: 循环经济; 产业生态学; 生态经济学; 生态学; 物质循环

中图分类号: X196

文献标识码: A

文章编号: 1008-813X(2018)03-0026-05

Analysis on Ecological Theory Foundation of Circular Economy

Zeng Xianlai, Yuan Jian, Li Jinhui*, Shan Guijuan

(School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To maintain the human society development, the Anthropocene has to hunt resources and exchange materials from ecological environment. Balancing the relationship between human society and ecological environment is the permanent subject for human. Ecological civilization should be developed to sustain the whole society. To fulfill the circular economy is basic necessity to construct ecological civilization. Circular economy has the basis of ecology theory. Considering systemic ecology, food chain, material cycling and energy flow, this article addressed the origin of circular economy from ecology, ecological economic, and industrial ecology.

Key words: circular economy, industrial ecology, ecological economics, ecology, material cycling

1 背景

1.1 人类社会与生态环境

在一个漫长的历史时期, 人类社会的生产力

水平极低, 生产的需求甚小, 自然资源在某种程度上来看近乎是无限的。随着生产力发展的飞跃, 作为人类生存发展的物质载体, 自然环境的

收稿日期: 2018-04-02

基金项目: 国家社科基金重大项目《社会源危险废弃物环境责任界定与治理机制研究》(16ZDA071); 国家自然科学基金项目《基于闭环供应链分析的中国能源金属的资源承载力评估》(71373141); 中国博士后科学基金特别资助项目《短程高效回收废旧锂离子电池中有色金属的技术及机理研究》(2016T90104)

作者简介: 曾现来(1980-), 男, 山东泰安人, 毕业于清华大学环境科学与工程专业, 博士, 副研究员, 主要从事城市矿产与循环经济研究。

***通讯作者:** 李金惠(1965-), 男, 河北保定人, 毕业于中国科学院生态环境研究中心环境化学专业, 博士, 教授, 主要从事生态文明、循环经济与废物管理研究。

作用和地位由于诸多生态、环境、资源问题的突出而日益重要,人类社会与自然环境的关系开始有了新变化。我们当前处于环境污染最严重的历史时刻,生态严重破坏,资源短缺也成为影响上游产业健康发展的重要瓶颈^[1]。

人类必须从生态环境中开发各种资源,和生态环境交换各种物质,同时人类社会产生的各种废弃物又被投入至环境中,对生态环境产生严重影响。

1.2 经济(社会)系统的绿色化/生态化

如何协调人类社会发展和生态环境间的关系是人类面临的永恒课题。工业文明的主要特征是人类征服自然,而日益涌现的全球性生态危机说明地球支持工业文明继续发展的能力已达极限。为延续人类的生存,未来必须开创一个崭新的文明形态——“生态文明”。

经济的生态化或绿色化的理念,要求将生态理念贯穿到每一项经济工作中,运用生态理念指导发展经济。经济发展所需的一系列自然资源要素,是经济发展的必要条件。以生态理念发展经济的最大优势,就是能营造有利环境,增强一个地区的环境竞争力,也可以极大地提高产品竞争力。

2 循环经济的生态学理论概念及渊源

2.1 生态学——系统生态学的基本概述

生态学是研究生命系统与环境相互关系的科学。系统生态学是将种群、群落、生态系统等概念中的生物当作完整的统一体,并针对其动态系统运用系统分析的方法论,采用数量的生态学的一种观点。

生态系统理论的14条规律包括^[2]:物质和能量守恒;具有物质为完全循环,能量为部分循环的特点;所有过程都不是不可逆的、熵增的,并且消耗自由能;相同的基本生物化学性质是生态系统中所有生物组分中具有的;生态系统是开放系统,以输入自由能来维持其功能;假如输入自由能超出了生态系统维持自身功能的需要,超出的自由能将推动系统更大程度地远离热力学平衡;生态系统存在众多远离热力学平衡的可能性,系统会选择其中最远的那条途径;具有生物量增长、网络增强和信息量增加三种生长模式;结构特点是层级结构;每一个层级都具有高度的多样性;具有较强的应对变化的缓冲能力;所有组分在一个网络中协同工作;具有庞大的信息

量;显示出系统的特征。

2.2 食物链(网)

生态系统中各种生物通过一系列捕食,层层传导将化学能贮存于有机物中。这种生物间以食物营养关系彼此联系起来类似链条的序列,称为食物链。根据各类生物在生态系统中在能量和物质运动中的作用,分为生产者、消费者和分解者。生产者指能运用光合作用将无机物制造营养物质的自养生物和一些化能细菌,其从环境中获取二氧化碳和水,在太阳光能或化学能作用下合成碳水化合物。太阳辐射能只有通过生产者,才能不断输入到生态系统中,转化为化学能即生物能,成为消费者和分解者生命活动中唯一的能源。

在生态系统中,物种间搭建成食物链和食物网,物质在生产者、消费者和分解者之间不断循环利用,不会产生任何废弃物。产业生态系统则是在特定的区域或范围内,将制造业企业和服务业企业组成一个整体,通过企业间物质循环和能量流动的相互作用和联系形成的生态产业体系。其中一个企业产生的废物作为下一个企业的原料,形成企业“群落”。

2.3 物质循环

生态系统中的物质循环和能量流动时刻都在发生,其功能包括生物生产、能量流动、物质循环和信息传递。物质循环表现包括生态系统内部和外部的物质流动两类。外部的主要依靠地质的、气象的和生物学的作用引起。能量存在形式主要为辐射能、化学能、机械能和生物能等。食物链各营养级的生物数量会影响到能量流动,随着传递层次越多,耗散到环境中的能量也越多。

3 循环经济的生态/环境经济学与产业生态学理论概念

3.1 生态经济学/环境经济学

3.1.1 生态经济学及鲍尔丁的《宇宙飞船经济学》

生态经济学是一门研究和解决生态经济问题、探究生态经济系统运行规律的经济科学,以实现经济生态化、生态经济化和生态系统与经济系统之间的协调发展,最终使生态经济效益最大化。

1966年,美国经济学家肯尼斯·鲍尔丁在《宇宙飞船经济学》一文中提出“生态经济”时,以宇宙飞船作比喻分析地球经济的发展,由此联想到循环经济^[3]。宇宙飞船是一个独立系统,孤立无援、与世隔绝,假设依靠不断消耗自身资源

来生存,必将因资源耗尽而毁灭。所以,延长飞船寿命的唯一方法,就是将飞船内的资源循环利用,最大限度减少废物排出。地球经济系统就好比一艘宇宙飞船,尽管地球资源系统相对大得多,地球的生命也相对长得多,但社会经济也会伴随着资源耗尽而崩溃。因此,必须改变经济增长方式,从“消耗型”转变为“生态型”;从“开放式”转变为“闭环式”。只有采用对资源循环利用的循环经济,地球才能得以长存。这暗示着人类的经济活动将从效仿以线性为特征的机械论规律转向服从以反馈为特征的生态学规律。

3.1.2 克尼斯和阿瑞斯:《经济学与环境》

1970年,美国学者克尼斯和阿瑞斯出版《经济学与环境》,结合物理学物质守恒原理与经济学一般均衡原理,提出了著名的物质平衡模型^[4]。人类经济活动不能产生新的物质,只能从环境中获取所需物质,尽管在生产过程中转化了物质形态,但终将要回归到环境中。当代经济系统是由物质加工、能量转换、残余物处理和最终消费等部门构成的物质流动关系。假如此经济系统为封闭系统,就没有物质净积累,那么在相当一段时间内,从经济系统排出的残余物的物质质量大致等于进入经济系统的物质质量。但对于开放系统,且有物质积累的现代经济系统,其分析和计算就更为复杂。现代污染控制技术没有消除也不可能消除污染物,只能改变其存在形式,且各种残余物之间存在相互转化关系。因此只有提高物质和能量的利用效率和循环使用率,才是减少经济系统对环境污染的根本办法,才能减少自然资源的开采量和使用量,降低污染物的排放量。

3.1.3 皮尔斯等:《自然资源和环

境经济学》

英国环境经济学家大卫·皮尔斯和图奈于1990年首次使用循环经济(Circular Economy)一词,将其作为《自然资源和环

境经济学》一书第二章的标题。他们试图依据可持续发展原则建立资源管理规则与物质流动模型。废物既可以是循环的——对资源的可获得性有正影响,也可以直接对自然同化能力产生压力,即超过自然同化能力的废物排放量对直接的效用或资源的可获得性均产生负面影响。根据广义的包括同化能力在内的资源概念,皮尔斯等提出自然资源管理的规则:一是可再生资源的开采速率不大于其可再生速率;二是排放到环境中的废物流要小于或等于环境的同化能力。针对资源存量的特点,他们还

提出:可耗竭资源减少应当由可再生资源的增加来补偿;达到一定的生活标准就要减少可耗竭资源或可再生资源存量。

循环经济模型由自然循环和工业循环组成。这两种循环都为消费和再生产提供物质基础,并产生超过消费的直接效用。自然循环主要作用就是自然环境吸收消纳废物,所吸收的废物被假定为资源重新进入经济系统;而工业循环则有助于减少自然同化能力的压力,同时产生额外的资源。然而,工业循环需要大量资金投入,还对同化能力产生额外的压力,即产生了二次污染,同时导致同化能力降低。

循环经济是物质闭环流动型经济,以资源高效利用和循环利用为终极目标,以“减量化、再利用、资源化”为根本原则,以物质闭路循环和能量梯次使用为特征,依据自然生态系统物质循环和能量流动方式运行的经济模式^[5]。循环经济的本质内涵分为三个进程:将以转变增长方式为支撑的循环经济的实质归结为新型工业化;将其内容归为以结构生态重组转型为核心的产业生态化以及相应制度创新;以不断改进人类传统经济生态功能的生态功能质量,实现人类系统与生态环境的协调统一^[6]。

3.2 产业生态学

3.2.1 概述

1989年9月,罗伯特·福布斯和尼古拉斯·加罗布劳斯正式提出工业生态学的概念^[7],提出要建立工业生态系统这一新的工业形态,将自然生态系统作为人类工业活动的模仿对象,将工业系统和谐地融入到自然生态系统物质循环和能量流动的大系统中。

美国国家科学院于1991年定义产业生态学为对各种产业活动及其产品与环境间相互关系的跨学科研究。1995年,Braden Allenby等指出产业生态学的主要研究目的是协调产业系统和自然环境的关系,该学科是在人类经济、文化和技术不断发展的前提下,对整个物质周期过程加以优化的系统方法^[8]。《Journal of Industrial Ecology》于1997年指出,产业生态学分别从局部、地区和全球三个层次系统地研究产品、工艺、产业部门和经济部门中的物流和能流,产业界如何降低产品生命周期过程中的环境影响是其主要研究焦点。

3.2.2 共生与代谢

共生是指在自然生态环境中的两个物种间的

关系,可能对其中一个有利或双方都有利。产业共生则是指不同企业间相互合作,彼此利用对方生产过程中产生的废弃物或副产品,最终实现经济与环境的双赢。产业共生既可能通过规划而形成,也可能在某种条件下自发形成。产业共生的要素包括共生单元、共生环境和共生模式等。按系统产业的相互关系及共生单元间的利益关系,共生模式分为共栖、互利型、寄生型、偏利型、附生型和混合型。由以上六种共生类型组成的系统即生态工业园。

生态工业园建设的核心是产业共生网络,它重视通过企业间合作,将传统工业发展的“资源—产品—废物”线性模式转变为“资源—产品—再生资源”循环模式。该理论范畴中去除了“废物”概念,以自然生态系统中的“共生”为借鉴对象,模拟工业系统中一个生产过程的“副产品”成为另一生产过程的原材料,以便将整个工业体系形成各种资源循环流动的闭环系统,达到提高经济效益与保护生态环境的双赢^[9]。

1989年,美国环境生态学家 R. A. Frosch 指出产业代谢分析是一种系统分析方法,主要应用在模拟生物和自然生态系统代谢功能方面^[10]。产业生态系统通过分析系统结构的变化,进行功能模拟和分析产业流来研究产业生态系统的代谢机能和控制方法。分析人类社会的物质基础、产业系统内部及与环境之间的物质和能量交换是产业代谢的研究目的。

产业代谢的研究内容包括:在有限区域内追踪某些污染物,通过产业代谢分析追踪特征污染物的迁移、转化;分析研究一组物质,特别是某些重金属,还包括一些合成的有机物,如多氯联苯或二噁英;产业代谢研究也可以仅限于某种物质成分,以确定其不同形态的特性及其与自然生物地球化学循环的相互影响,如硫、碳等的工业代谢分析。

3.2.3 物质代谢分析方法

物质代谢分析方法主要包括物质流分析和生命周期分析。

3.2.3.1 物质流分析

人类社会经济系统与自然环境之间是依靠各种物质流联系起来的,产业代谢分析实质上是对这些物质流的研究与分析。

物质流分析的科学依据是质量平衡定律,通过量化对社会经济或环境系统中的物质输入和输

出,建立物质流账户,进行以物质流为基础的优化管理。物质流分析的主要贡献是通过分析控制有毒有害物质的投入和流向,分析物质流的使用总量和使用强度,为环境政策提供新的方法和视角。

随着人们发现经济活动中物质流动与自然环境的紧密关联,物质流分析主要应用于研究物质的流动规律及其对环境产生的影响,包括两个部分:一部分是针对那些能够引起特定环境影响物质或原料的分析和研究,这些分析哈研究一般以元素的质流分析为典型;另一部分是整体物质的分析,主要研究特定经济部门或区域的物质数量和结构是否可持续。

3.2.3.2 生命周期分析

生命周期分析或生命周期评价是评价产品从摇篮到坟墓的整个生命周期过程中对环境产生的影响的系统方法。这种方法首先通过辨识和量化整个生命周期能量的消耗及环境释放,其次评价这种消耗和释放对环境的影响,最后辨识减少这些影响的机会。目前生命周期评价作为一种产品环境特征分析和决策支持工具技术上已经日趋成熟,并得到较广泛的应用。生命周期评价通过对产品整个生命周期中的间接物质流进行计算,可以发现不易引起的隐藏流,可以评价产品整个生命周期中的物质输入,包括“生态包袱”。它是指那些不会进入经济系统、产生经济效益,却是产品整个生命周期中必不可少的物质,根据定义“生态包袱”等于生命周期中总的物质输入减去产品本身质量。

基于生命周期分析的物质流分析方法主要适用于对生物物质或非生物物质原材料以及初级加工产品的研究。而在进行成品、半成品分析时,由于需要每个生产阶段的物质输入数据,工作量会比较大,并且系统边界的定义也相当困难。生命周期评价是指从产品最初的原材料采掘到产品使用后的最终废弃物处理进行全过程的跟踪、定量分析和定性评价,具体就是通过编制某一系统相关投入与产出的清单,找出与这些投入与产出有关的潜在环境影响,对清单和存在的环境影响进行分析,以指导产品开发和应用。

参考文献

- [1] LIU J.G.China's road to sustainability[J].Science,2010,328(5974): 50.

(下转第 49 页)

究期间具有明显的波动变化,由2007年的0.359 6上升至2009年的0.395 7,而后下降至2010年的0.362 4,2010—2016年其生态承载力指数由0.362 4增加至0.610 5。总体看来,西吉县生态承载力指数呈现出上升的变化趋势。生态承载力指数由生态弹性力、承载媒体的支撑力和承载对象的压力三部分构成,其中承载媒体的支撑力和承载对象的压力所占比重都较大,对研究区生态承载力的大小起着决定性作用。近年来,西吉县结合自身发展特点,注重改善和提升生态环境功能,不断提高生态系统支撑力,并想方设法降低社会经济发展对生态环境的压力,并取得了显著的成果。总的来看,西吉县生态系统承载能力逐年提高,整体呈现出较好的发展趋势。

4 结论与讨论

(1) 研究期间西吉县生态弹性力指数呈现出波动上升的变化趋势,表明贫困山区城市生态系统稳定性较差,脆弱性特征明显,而水资源储量及其供需冲突是制约西吉县社会发展的重要因素。(2) 支撑力指数呈逐年上升的变化趋势,且增长幅度较大。支撑力指数的不断上升,为生态系统提供了强有力的支撑作用,但由于其独特的地理位置和自然条件的限制,该区域发展缓慢。(3) 承载对象的压力变化较为明显,但整体上呈现出波动下降的变化趋势,生态移民过程的实施、生态环境质量的改善以及环保投资比重的增加极大地减轻了研究区生态压力。(4) 西吉县生态承载力在研究期间具有明显的波动变化,但总体来看其生态承载力指数呈现出上升的

变化趋势,整体发展状况较好。

参考文献

- [1] CONSTANZA R. Economic growth, carrying capacity, and the environment[J]. *Ecological Economics*, 1995, 15(2): 89-90.
- [2] 范小杉,何萍.生态承载力环评:研究进展·存在问题·修正对策[J]. *环境科学研究*, 2017, 30(12): 1869-1879.
- [3] 高鹭,张宏业.生态承载力的国内外研究进展[J]. *中国人口·资源与环境*, 2007(2): 19-26.
- [4] 刘东,封志明,杨艳昭.基于生态足迹的中国生态承载力供需平衡分析[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(4): 614-624.
- [5] 朱玉林,李明杰,顾荣华.基于压力-状态-响应模型的长株潭城市群生态承载力安全预警研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(12): 2057-2064.
- [6] 程超,童绍玉,彭海英,等.滇中城市群水资源生态承载力的平衡性研究[J]. *资源科学*, 2016, 38(8): 1561-1571.
- [7] 施开放,刁承泰,孙秀锋,等.基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究[J]. *生态学报*, 2013, 33(6): 1872-1880.
- [8] 翟羽佳,王丽娟,郑丙辉,等.基于系统仿真模拟的三峡库区生态承载力分区动态评价[J]. *环境科学研究*, 2015, 28(4): 559-567.
- [9] 黄剑彬,戴文远,黄华富,等.基于景观指数和生态足迹的平潭岛生态承载力研究[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 33(1): 75-81.
- [10] 熊建新,陈端吕,谢雪梅.基于状态空间法的洞庭湖区生态承载力综合评价研究[J]. *经济地理*, 2012, 32(11): 138-142.
- [11] 彭资,谷成燕,刘智勇,等.东江流域1989—2009年土地利用变化对生态承载力的影响[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(7): 675-686.
- [12] 程超,童绍玉,彭海英,等.滇中城市群水资源生态承载力的平衡性研究[J]. *资源科学*, 2016, 38(8): 1561-1571.

(编辑:周利海)

(上接第29页)

- [2] JORGENSEN SVEN ERIK. 系统生态学导论[M]. 陆健健,译.北京:高等教育出版社,2013.
- [3] 曹彩虹.现代循环经济研究理论述评[J]. *管理世界*, 2014(12): 176-177.
- [4] KNEESE A.V, AYRES R.U, ARGE R.C.D. Economics and the environment: a materials balance approach[M]. New York: Routledge, 2015.
- [5] 张嘉兴,刘瑞芳,崔东阁,等.北京市循环经济发展现状、问题及对策分析[J]. *工程研究——跨学科视野中的工程*, 2016, 8(4): 374-382.
- [6] 沈镛.资源的循环特征与循环经济政策[J]. *资源科学*, 2005, 27(1): 32-38.
- [7] FROSCHE R.A, GALLOPOULOS N.E. Strategies for manufacturing[J]. *Scientific American*, 1989, 261(3): 144-152.
- [8] ALLENBY B.R, GRAEDEL T.E. *Industrial Ecology*[M]. 北京:清华大学出版社,1995.
- [9] 王如松.转型期城市生态学前沿研究进展[J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 830-840.
- [10] 王兆华.循环经济:区域产业共生网络——生态工业园发展的理论与实践[M].北京:经济科学出版社,2007.
- [11] FROSCHE R A. Industrial ecology: a philosophical introduction[J]. *Proceedings of the national academy of sciences*, 1992, 89(3): 800-803.
- [12] MORIGUCHI Y. Recycling and waste management from the viewpoint of material flow accounting[J]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1999, 1(1): 2-9.

(编辑:周利海)