

# 循环经济:理念与创新

金涌<sup>1</sup>, 冯之浚<sup>2</sup>, 陈定江<sup>1</sup>

(1. 清华大学化学工程系, 北京 100084; 2. 国务院参事室, 北京 100006)

[摘要] 我国从开始关注循环经济理念,到今天把循环经济定为国家发展的基本国策之一,已经历了十余个年头。从理论探索到工程实践,在多学科共同交叉研究中,许多专家学者提出了诸多基本理念。为了承上启下,笔者试图对这方面的创新思想进行总括,作为进一步以工程科技创新推进循环经济发展的指导思想。

[关键词] 循环经济;循环经济学

[中图分类号] F120.3 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)01-0004-08

## 1 前言

30年来,我国奉行改革开放政策,使社会和经济发展取得了举世瞩目的成就。21世纪之初,国际上关于“经济”与“自然生态关系”,以及社会经济可持续发展的讨论产生了越来越大的影响,人们开始注意到我国经济增长所付出的资源和环境代价过大。

如何鉴借自然生态发展规律,研究社会生态发展规律成为国内外学术界热门议题。2002年198次香山科学会议<sup>[1]</sup>首次聚集了数十位专家与院士,从多学科、多视角探讨了资源利用生态化和生态工业系统的理念范畴、科学规律和技术内涵。

中央领导及有关部门则从战略全局的高度,及时发出了“建设资源节约型的发展模式,努力发展循环经济”的号召。国家环保局(现环保部)也提出了环保需要推进污染源头防止和建设生态经济示范园区的政策。全社会的响应使循环经济社会建设成为全民共识。2004年国家发展与改革委员会召开了第一届国家循环经济工作会议,提出贯彻党的十六大和十六届三中全会精神,以科学发展观为指导,以优化资源利用方式,提高资源生产率和降低废弃物排放,实现人与自然和谐发展,走有中国特色的新型工业化道路。

如果从1998年国内学者<sup>[2]</sup>借鉴德国循环经济法将循环经济概念引入国内算起,至今我国的循环经济发展已超过了10个年头,在理论探索和实践创新两方面做了大量的工作,逐渐走出了一条有中国特色的循环经济发展之路,为全世界发展中国家的社会经济进步提供了有益的鉴借。

近年来有一大批关于“循环经济”的各类著作和论文发表。据不完全统计和分类,成书200余册,其中理论研讨类46册,专题领域类12册,行业产业类25册,区域发展类22册,案例论述类21册,法律法规类12册,政策管理类13册,年鉴类3册,教材类8册,科普类16册,综合知识类29册。

2005年以后中国期刊网收录的循环经济相关学术论文每年均在数千篇以上。论文标题中含有“循环经济”关键词的篇数(总量>11 000篇)近两年虽有回落(见图1),但论文摘要中含有“循环经济”关键词的论文篇数(总量>24 000篇)仍维持高位。与循环经济相关领域交叉的中文学术论文分布可参考图2。社科类循环经济相关论文排前五的选题领域为:a.宏观经济管理与可持续发展;b.工业经济;c.经济体制改革;d.农业经济;e.企业经济。科学与技术类循环经济相关论文排前五的选题领域为:a.环境科学与资源利用;b.矿业工程;c.冶金工业;d.有机化工;e.无机化工。

[收稿日期] 2009-12-01

[作者简介] 金涌(1935-),男,北京市人,清华大学教授,中国工程院院士,博士生导师,研究方向主要为化学工程及生态化工研究;  
E-mail: jiny@mail. tsinghua. edu. cn

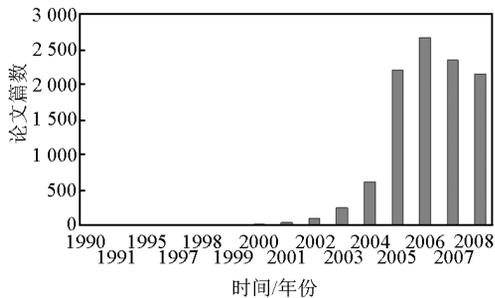


图1 循环经济相关中文学术论文发表情况统计

Fig. 1 Statistics of circular economy related papers in Chinese

注:数据来源及说明取自中国学术期刊网络出版总库,论文全文中含“循环经济”关键词

网络关键词一般可以反映出相关概念的社会关注程度。从 google 搜索引擎上检索到的循环经济相关关键词命中数量及时间分布见图 3。纵观这些理论研究的发展历程,前半期属于理念推广、概念澄清的阶段,主要解决为什么要发展循环经济,什么是循环经济的问题,后半期随着循环经济实践在政府的推动下不断铺开和深入,主要解决如何发展循环经济的问题。

科学的理论对实践具有巨大的指导作用。实践基础上的理论创新是社会发展和变革的先导,必将对社会发展和变革产生巨大的推动作用。当前对我国学者近 10 年在循环经济理论探索和创新过程中所关注过的议题进行梳理是非常必要的。一方面是对成熟的见解进行归纳积累,另一方面对尚没有形成共识的问题希望引发进一步的讨论,并在我国的实践过程中不断检验,使得有中国特色的循环经济得到更全面深入的发展。下面对若干有重要影响的循环经济基本理论或观点进行一些讨论。

## 2 重要的循环经济基本理论或观点

### 2.1 关于循环经济内涵的讨论

大多数学者把“循环经济”定义为在自然生态规律(系统论、物质循环论)指导下的一种经济发展模式。德国、日本的循环经济重点放在消费后废弃物的资源化,国内学者冠名以“垃圾经济”<sup>[3]</sup>或“狭义循环经济”。中国的循环经济有着更为广阔的内涵,涉及产品生命周期各环节,需要生产方式和生活方式的整体变革,被冠名以“广义循环经济”。

党的十七大提出“建设生态文明”以后,近年关

于生态文明的讨论十分活跃。“自然”与“文明”的关系,在历史上发展是起自“崇拜自然的原始文明”,经过“依赖自然的农业文明”和“征服自然的工业文明”,正在转化为“效法自然的生态文明”。“效法自然的生态文明”是当前地球自然生态条件下人类文明发展的必然道路。西方主流文化习惯强调与自然的竞争和索取。文艺复兴运动后,形成大规模利用自然资源追求利润和效率最大化的思想,工业社会的迅速扩张,造成今天严重局面。而东方传统的宇宙观主张“天人合一”、“道法自然”等,这与当前倡导的生态文明更为接近。

生态文明与循环经济关系密切。一般认为生态文明的建设涵盖循环经济,但有更深层次的内涵,更广泛的命题要求从“人与自然的关系”,“人与人的关系”两个哲学概念去研究。

### 2.2 关于循环经济 3R 原则的讨论

1996 年生效的德国《循环经济与废物管理法》,对待废物问题的优先顺序为避免产生,反复利用和最终处置。这一框架被提炼为清洁生产的 3R 原则,即减量化(Reduce)、再利用(Reuse)和再循环(Recycle),并进一步被循环经济所采用。各原则的作用为:

减量化是尽量减少“生产—消费—再生”流程中的物质消耗量和污染排放量,从源头节约资源,而不降低社会的生活质量,这由科技水平所决定。我国现阶段工业生产是大、中、小规模并存,先进与落后技术并存,所以当前通过创新淘汰落后技术,实现减量化应作为推进循环经济的最大着力点。

再利用是在生产过程中做到原料和中间废物套用,共生资源的综合利用,能量梯级利用,中水回用等,在消费过程做到可修复产品的再利用,装置的模块化,易损零件的更换和修复,提倡租赁业、信托业、修理业的发展,使资源利用率提高。

再循环是指在物品完成使用功能后,分解熔炼,重新在生产中使用,如废纸张、塑料、钢铁等的回收利用,又称为再资源化,在发达国家这一过程受到重视。

毫无疑问,3R 原则对国内发展循环经济的影响很大,它是 2009 年生效实施的《循环经济促进法》的核心框架。国内曾提出再思考(Rethinking)、再修复(Repair)、再制造(Remufacture)等 4R,5R,6R 原则,但仔细思考,他们或不反映循环经济的本质特性,或已经是再利用、再循环内容的细化。

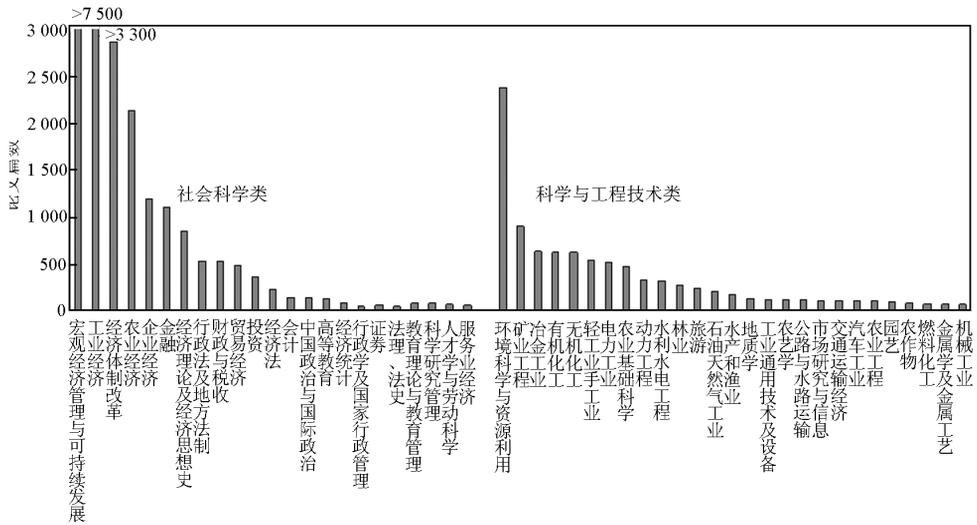


图2 循环经济相关中文学术论文研究领域分布情况统计

Fig. 2 Distribution of circular economy related papers in Chinese by research areas

注:数据来源及说明取自中国学术期刊网络出版总库,论文全文中含“循环经济”关键词,检索时间范围1990—2008

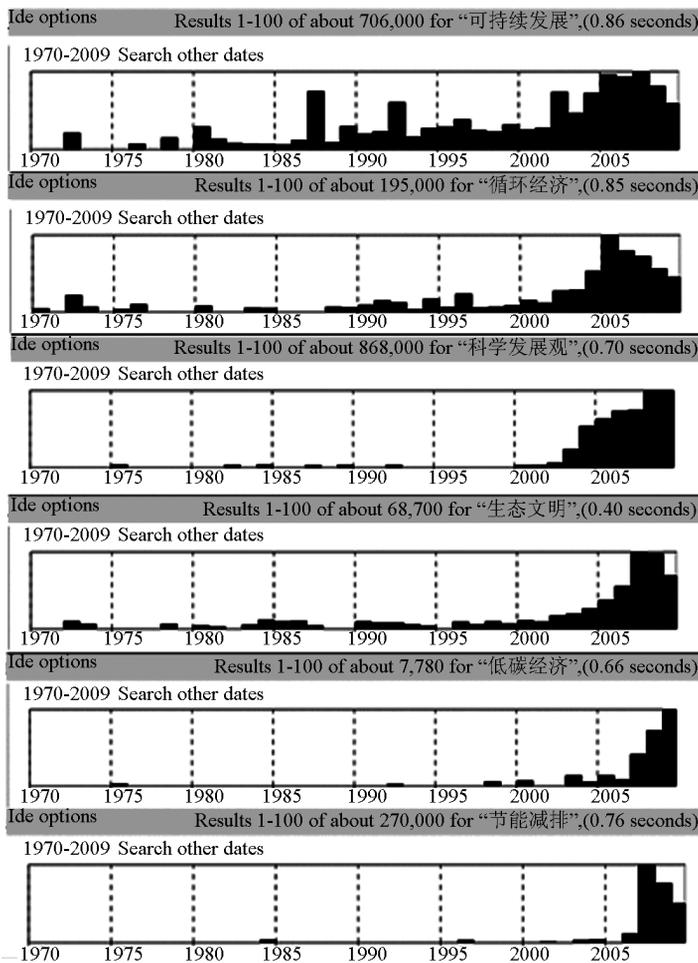


图3 循环经济相关互联网关键词趋势

Fig. 3 Circular economy related keywords in google trends

注:数据来源于 google 搜索引擎, <http://www.google.com>

日本提出的“静脉产业”概念<sup>[4]</sup> (如图4)也普遍得到认同,在资源加工的各个环节(动脉产业)都可以与再利用、再资源化各环节相衔接,形成一个动脉—静脉运动的循环产业。

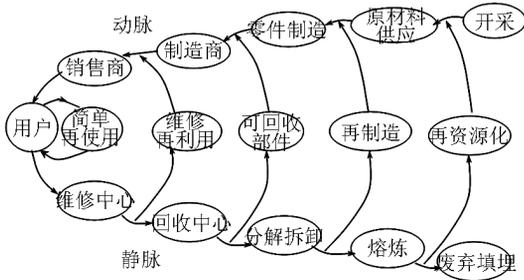


图4 动脉产业与静脉产业示意图

Fig. 4 Demonstration of artery industries and vein industries

### 2.3 关于循环经济建设层次的讨论

循环经济建设是十分复杂的系统工程,非一朝一夕可以完成,需要3个平台作为支撑:a. 循环经济理论平台的建设;b. 相应工程实践平台的建设;c. 生态法律、规章、教育、道德平台的建设。

出于领导部门推进循环经济实践、组织循环经济试点的需要,在操作层面上,循环经济的建设层次被概括为3个循环:小循环(在企业内部组织循环经济),中循环(在企业间或生态园区内组织),大循环(在全国、全社会内组织)。

在企业层次要求每个企业都应该力争做到清洁生产,绿色生产,既能充分实现物料、能源的高效利用,并从源头防止污染和保护生态,又可以提高生产的利润和效率,这当然也必须有先进的科技来支撑。

在企业集群层次建设生态工业产业园区,在此界区内实现物流、能流、信息流、资金流等的最佳配置,这个厂的废物可以在另一个厂内得到利用,这需要系统工程,软科学的支撑。

在社会层次要求建设循环经济型社会则必须有相应的法律法规、制度机制、宣传教育、道德养成的建设来支撑加以维护。

循环经济建设平台支撑与层次之间的关系如图5所示。

近来在3个循环外再补充进一个“国际大循环”<sup>[5]</sup>(在不同国家之间组织)的呼声很高。以我国钢材为例,假定它的平均使用寿命为25年,25年前(1983年)中国钢铁产量只有 $4\,000 \times 10^4$  t,即使全部在25年后回炼,还是不能满足要求,只有通过进

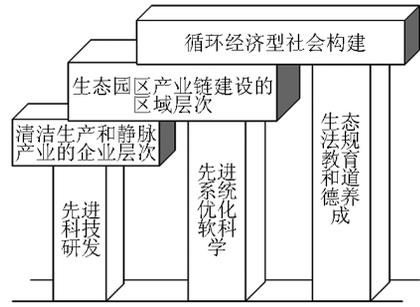


图5 循环经济建设3个平台支撑与3个层次

Fig. 5 Levels and supports for constructing circular economy

口废钢,才能达到一定的回炼比,如图6。

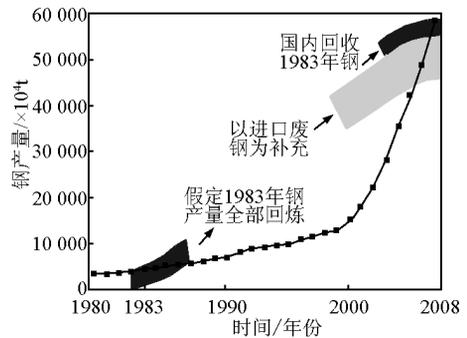


图6 进口废钢弥补国内资源不足

Fig. 6 To import waste iron and steel to compensate the domestic resource deficiency

我国矿产资源不足,每年大量进口矿石,而发达国家有大量废旧机电产品、电器电子产品、废塑料等再生资源,由于人工成本高,回收利用竞争优势不大,进口再生资源应成为我国重要的资源补充渠道。

### 2.4 关于实现循环经济转型模式的讨论

莱斯特·布朗对社会经济可持续发展的论述中提出“A”“B”两种模式<sup>[6]</sup>。“A”模式中物耗、能耗增长是与GDP增长成同步,GDP增长一倍,物耗能耗也增长一倍,这种增长是不可持续的。他建议的“B”模式是要求保持物耗、能耗增长一倍,寻求GDP增长四倍的方案,才能可持续发展。这对科学技术提出了十分苛刻的要求可能一时难以做到。国内学者经分析提出了“C”模式的发展道路<sup>[7]</sup>,即物耗能耗增加一倍,使GDP增加两倍,这是当前及可预见的技术条件下我国有可能实现的方案。

表 1 中国发展的三种模式

Table 1 Three patterns of China's development

“A”模式	“B”模式	“C”模式
$\frac{\text{GDP 增量}}{\text{资源消耗增量}} = \frac{1}{1}$	$\frac{\text{GDP 增量}}{\text{资源消耗增量}} = \frac{4}{1}$	$\frac{\text{GDP 增量}}{\text{资源消耗增量}} = \frac{2}{1}$
不可持续, 现状	可持续, 理想	准可持续, 现实

另外一个关于中国实现循环经济转型模式的讨论是如何翻过“环境高山”<sup>[8]</sup>。一般在人均 GDP 较低的国家, GDP 的上升伴随着资源消耗的大量增加; 在人均 GDP 较高的国家, 人均 GDP 的增长主要依靠高科技的灵巧产品制造及第三产业的增长, 它的资源消耗反而呈下降趋势。这一人均 GDP 与资源消耗的关系被概括为倒 U 型的库兹涅茨曲线, 称为“环境高山”, 如图 7 所示。

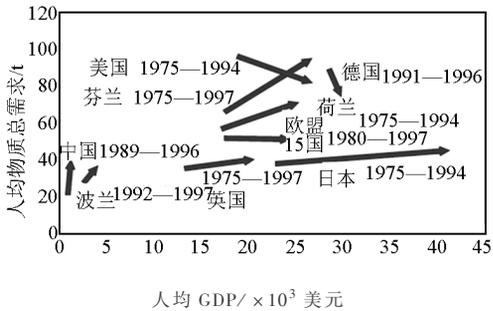


图 7 总物质需求量与经济增长的关系

Fig. 7 Trends of total material requirements and economic growth

注: 数据来源于 Wuppertal Institute, Germany, 2001

对于如何翻越高峰值, 国内学者曾提出“隧道”方案, 水平穿过环境高山, 进入良性发展, 但这在当前技术条件下也难以达到。笔者提出“爬坡”方案 (见图 8), 即考虑到科技发展水平越高, 必然使曲线峰值越低, 所以可在 GDP 和科技水平同时增加的条件下, 使经济发展轨迹能够较平稳的爬过山坡, 进入良性发展阶段。

### 2.5 关于循环经济与工程科学关系的讨论

自然科学原理告诉我们全宇宙、太阳系、地球万物的构成和运行是属于和遵循耗散结构基本原理的, 至今没有可循环往复的根据, 所以自然科学是没有自发支撑循环经济运行的根据的。只有工程科学, 或者说工程是在以能量付出为代价, 可以在一定界区内, 一定时间范围内构造物质的循环运行 (如图 9 所示)。循环经济并不是挑战耗散结构等自然科学规律, 而是可以在一定技术条件下和一定范围内实施的生产和生活模式, 是有代价的。因此物质

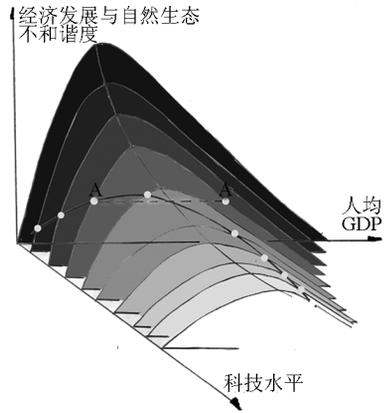


图 8 环境高山的“爬坡”理论

Fig. 8 Cross over the environmental Kuznets' reversed U curve with the development of economy and technology

循环利用必须是经济的, 追求完全循环的思想是不经济的, 更不是循环经济。

前述的无论中国采用“C”模式还是翻越“环境高山”, 科技是推动循环经济发展的根本动力。如发展再制造, 就需要废旧零部件的再制造性评价技术、再制造零部件寿命评估与预测技术、环保高效地绿色清洗技术、纳米表面工程与再制造毛坯加工技术、再制造零件快速成形技术、再制造质量控制技术、再制造逆向物流及供应链技术等各项技术有机组合。工程科学需要形成与循环经济相应的各类绿色工程的理论和技术体系。自然科学的发现及新理论的形成与原有体系一定是兼容的, 而工程科学创新一般总是以创新来毁灭旧的体制, 毁灭性创造是主张以立新破除前者。因此在循环经济领域, 广大的工程科技工作者有广阔的创新空间。

### 2.6 关于“循环经济学”的讨论

“循环经济学”是关于循环经济这一经济发展模式的经济学。经济学家所关注的研究一般是以稀缺而且有实用价值的要素为对象, 关注的是生产要素组成与关系分析, 要素之间的优化配置, 产品的分配机制和要素供给的持续性、稳定性分析。随着社会生产力的发展人类社会经历了可耕地资源稀缺时代、劳动力稀缺时代、资本稀缺时代、高科技稀缺时代, 直至 21 世纪的自然资源稀缺时代。循环经济学, 特别是在中国, 要研究如何把资源和环境的制约因素纳入有中国特色的市场经济 (也就是在政府和社会群众组织指导下的市场经济) 基本规律, 使资源和环境问题不再被边缘化, 使之形成一个符合现代中国国情的经济学体系。

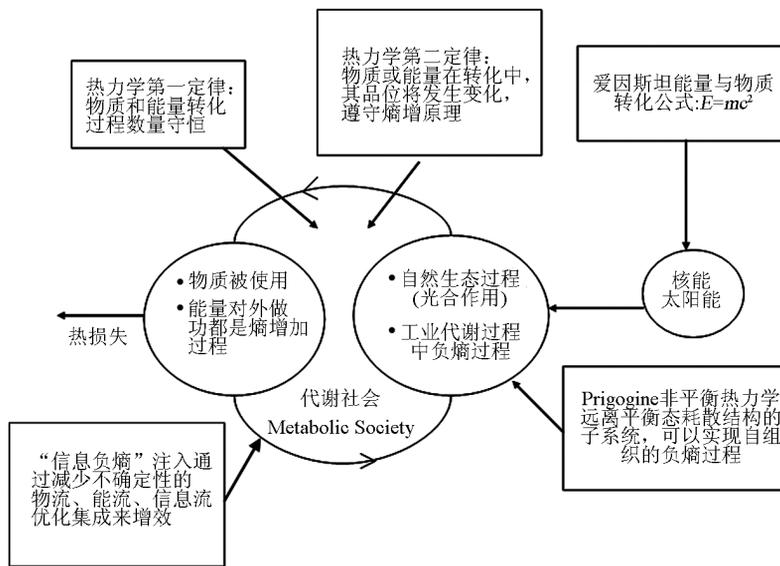


图9 循环经济学的科学基础

Fig. 9 The scientific principles of circular economy

循环经济学需要解决循环经济活动如何实现“效率”和“公平”两大核心问题。前者要研究相应的经济制度和经济政策,通过有效的市场调节机制和手段,使得循环经济的发展成为企业与个人等的自发行动;后者要研究如何保证在环境和资源利用方面的代内和代际公平。近年来对循环经济学的研究正从生态经济学,环境经济学,资源经济学,演化经济学等非主流经济学中汲取养料,并积极融入主流经济学<sup>[9,10]</sup>。

生态经济学:地球上数亿年来自然生态规律形成了物质在植物(制造者)—动物(消费者)—微生物(分解者)之间循环利用,不但消除了物质资源的枯竭和环境污染的问题而且仅依靠能量密度十分稀薄的太阳光就可以驱动这一循环。这种资源和能源的运行方式为人类社会经济建设,解决能源资源枯竭、生态恶化和环境污染提供了范例,自然生态系统的高度稳定性、和谐性和可持续发展性为新的社会生态形成和社会经济的可持续发展提供了范例。

环境经济学:罗纳德·H·科斯(诺贝尔经济学奖得主)认为环境污染问题根本的解决办法是明晰产权前提下的污染权交易,是对产值最大化的判定。如:污染产品的有害后果是鱼类死亡,就需要判断“产品”与“污染损失”之间的价值孰大孰小。这种只注重于新经济自由主义的强调和拓展是危险的。环境污染问题的独特性与一般意义上的经济行为极

不同,表现在污染的跨地区、跨域性,其污染规模、范围、程度和持续时间难于计量。治理污染的成本巨大,所以最佳的对策是污染的源头防止和生态保护。但对环境容量的价值和环境资源价值恰当的评估,甚至货币化、可贸易、可跨越时空交换和补偿也是重要的。

资源经济学:由于地球资源的有限性和不完全复原性,为解决人类对改善自身生活品质愿望的无限性与资源有限性之间的矛盾,对于自然资源的分析开采、节约和人均资源享用趋同的研究是资源经济学的重要内容。

演化经济学:广泛使用生物学隐喻,讨论创造性在经济学中的核心角色。由于环境经济学与资源经济学提出的重大问题都需要科技创新才能推进,所以要把科技创新引入经济学主体。

主流经济学基本原理曾被概括为以下 10 条:(1)交替关系原理,即“黄油、大炮”不可兼得;(2)机会成本原理,“选择”或“放弃”都需付出成本;(3)边际决策原理,外部条件改变时,需做调整时要以“短板”决策;(4)激励反应原理,提高单位效率时,由于利益反馈,总消耗反而上升;(5)比较优势原理,各国条件不同,优势产业不同,可导致双赢;(6)“看不见的手”原理,个体无序可导致整体有序;(7)“看得见的手”原理,政府公众对市场经济的约束;(8)生产率差异原理,由于技术转移受阻,产生

地区间生产率差别化;(9)通货膨胀失业短期交替原理,失业率下降使购买力上升,导致通胀加大,反之亦然;(10)收益递减原理。即时间使资本边际效益递减。

这 10 条基本原理没有涉及到资源日渐短缺和环境逐日恶化对经济的制约,所以循环经济学应适当增加若干基本原理,如:自然资本的稀缺必导致总量的节约和人均消费趋同的原理;生态成本分析、考量、补偿和修复原理;科技推动的“点石成金的手”原理,科技是推动循环经济发展的根本动力;不完全循环原理,循环经济不是挑战耗散结构等自然科学规律,但循环经济是工程师可以在一定条件下和一定范围内实施的生产和生活模式,所以物质循环利用必须是经济的,追求完全循环的思想是不经济的,更不是循环经济。循环经济学所需要补充的基本原理尚在讨论确定过程中。

总之,循环经济学应该是生态经济学,环境经济学,资源经济学,演化经济学内涵的集合,并积极融入主流经济学(政府和社会组织指导下的市场经济)后的总构成(见图 10)。循环经济学作为在进入 21 世纪自然资源稀缺的新形势下对主流经济学的补充和完善,要求企业角色在做“理性经济人”的同时也成为“社会责任人”,这样也才能在市场经济规律的运作下使资源、环境、生态得到最有效的利用和保护,使得社会经济得到可持续的发展。

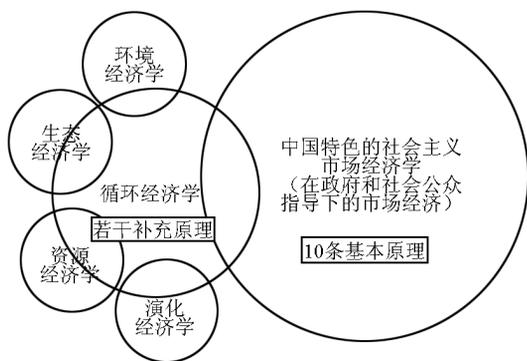


图 10 循环经济学与主流经济学及非主流经济学之关系

Fig. 10 Relations among circular economics, neoclassic economics, environmental economics, ecological economics, resource economics and evolution economics

### 2.7 关于消费社会与循环经济社会关系的讨论

循环经济的理论研究还需要与时俱进。如为应

对当前金融危机需要扩大内需,要提高警惕,避免走向“消费主义”。消费主义作为一种“社会达尔文主义”,主张刺激、强化的是人的竞争性消费欲望和需要,压抑的是人的自发性的生产、创造的欲望和需求,消费型社会与循环经济型社会从根本上存在着明显差异。

消费型社会的恶性表现之一是奢侈品的消费。虽然 2008 年中国人均 GDP 只有 2 770 美元,但奢侈品年消费额却占全球的四分之一,超过美国而仅次于日本。从表面上看似乎意味着非必要性奢侈消费的大众化,造成一种平等主义神话。但认真分析,西方消费主义是建立在非西方贫困基础上,其实践恰恰是制造着等级差异。中国国内的消费主义现象则多源于青年一代中幼稚的胡乱攀比、财产来源不明者“不花白不花”的赌徒心态,和社会暴富户的非理性病态心理,是对社会人力、物力、财力的暴殄。

市场经济的发展,必然导致物流在生产和消费中高速运转。全面的循环经济型社会建设,必须包含生产结构和消费结构两个层面。作为社会最稳定的中产阶段追求的消费,应是物质与精神享受的完美结合,实际上赋予物质以精神和艺术的内涵是消费的最高层次。循环经济型社会中第三产业的发展要追求消费的减量化和非物质化,在舒适与节约之间达到完美平衡,避免奢侈,才是中国所追求的可持续发展的富裕境界。

### 3 结语

上述议题集中在过去十多年间我国学者对循环经济基本理念、理论的一些讨论,挂一漏万。循环经济和循环经济学正处于蓬勃发展期,对此的基本理念的研究既是十分迫切的,又是十分有价值的工作。在此期间,我国学者在循环经济的研究方法上也有长足进步,如:重要化学元素(硫、磷、氯、铜、铁、碳等)的工业代谢分析,物质生产与消费过程的全生命周期分析,虚拟水、隐含能贸易分析物质流投入产出分析、循环经济发展的评价方法等。

循环经济被中央确定为建设有中国特色社会主义国家的基本国策之一,也是向国际宣布为实现中国复兴所要走的道路。在世界进入了自然资源紧缺的时代,中国实现现代化不会对任何国家构成威胁。希望涉及到哲学、经济学、生态学、环境学、工程科学、管理学、伦理学、教育学等诸学科在内的循环经济学科群蓬勃发展,并在实践过程中,最终发展成

完整的、符合我国国情和发展需要的循环经济理论体系。

#### 参考文献

[1] 资源利用生态化和生态工业系统. 香山科学会议第 198 次学术讨论会[EB/OL]. [2002-12-10]. [http://www.xssc.ac.cn/Web/List\\_Confs/ConfBrief.asp?rno=452](http://www.xssc.ac.cn/Web/List_Confs/ConfBrief.asp?rno=452)

[2] 诸大建. 可持续发展呼唤循环经济[J]. 科技导报, 1998, (9): 39-42

[3] 诸大建. 循环经济不是垃圾经济[J]. 有色金属再生与利用, 2006, (3): 50

[4] 静脉产业”在日本悄然兴起[J]. 世界科技研究与发展, 2001, (5): 48

[5] 尤麟. 再生资源进口与国际大循环经济——访环境保护部

科技委员、原国家环保局副局长 王扬祖[J], 再生资源与循环经济, 2008, (7): 1-2

[6] 莱斯特·R·布朗. 林自新, 暴永宁等译. B 模式: 拯救地球延续文明[M]. 北京: 东方出版社, 2003

[7] 诸大建, 臧漫丹, 朱远. C 模式: 中国发展循环经济的战略选择[J]. 中国人口. 资源与环境, 2005, 15(6): 8-12

[8] 陆钟武, 毛建素. 穿越“环境高山”——论经济增长过程中环境负荷的上升与下降[J]. 中国工程科学, 2003, 5(12): 36-42

[9] 周宏春, 刘燕华. 循环经济学[M]. 北京: 中国发展出版社, 2005

[10] 杨雪锋. 循环经济运行机制研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2008

## Circular economy: ideas and innovation

Jin Yong<sup>1</sup>, Feng Zhijun<sup>2</sup>, Chen Dingjiang<sup>1</sup>

(1. Chemical Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Counselor's Office of the State Council, Beijing 100006, China)

[Abstract] It has been over a decade since China paid close attention to the concept of circular economy. During this period the country made promoting circular economy as one of the basic national development strategies. There are many ideas and theories which have been brought forward and explored by experts and researchers from multi disciplines. As a connecting link between the preceding and the following, this paper summarizes and comments one of those most important ideas and theories, which could be used as general guidelines for innovation to boost the circular economy.

[Key words] circular economy; circular economics