

中国环境载荷与环境减压分析

王青, 顾晓薇*, 郑友毅

(东北大学资源与生态经济研究中心, 沈阳 110004)

摘要: 基于社会代谢的物质流核算和相关指标, 构建了表征国家环境压力总量的本国环境载荷指标, 并与经济总量结合得出环境效率指标, 建立了指标的计算模型; 对本国环境载荷进行了经济增长的反弹效应和效率提高的减量效应分解. 对中国 1990~2002 年的本国环境载荷、环境效率和反弹与减量效应进行了实证研究. 结果表明: 我国经济的环境效率在研究期总体上以较高的速度增长, 年均增长率为 5.6%, 表明本国环境压力实现了一定程度的相对减量; 但这一时期经济增长的反弹效应比效率提高的减量效应大许多, 导致环境载荷总量的较大幅度增加(年均增长率为 3.8%). 我国经济仍属于高环境压力型增长模式, 实现环境压力的绝对减量化有很高难度.

关键词: 环境压力; 本国环境载荷; 减量化; 分解

中图分类号: X171.1; F061.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)09-1916-05

China's Environmental Load and Environmental Depressurization Analysis

WANG Qing, GU Xiao-wei, ZHENG You-yi

(Resources and Ecological Economics Research Center, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Based on material flow accounting and related indicators, an indicator, domestic environmental load, is formulated to measure the aggregate environmental pressure of a nation. Combining this indicator with the gross national product, an indicator for environmental efficiency is derived. The domestic environmental load is then decomposed into the rebound effect caused by economic growth and the depressurization effect induced by the efficiency increase. A case study was carried out for the Chinese economy to investigate its domestic environmental load, environmental efficiency and the rebound and depressurization effects. Results show that the environmental efficiency of the Chinese economy increased during the study period with an annual rate of 5.6%, indicating that a certain degree of depressurization was achieved. However, the rebound effect caused by economic growth was much greater than the depressurization effect induced by the efficiency increase, resulting in a considerable increase in the domestic environmental load (the annual growth rate was 3.8%). The Chinese economy is characterized by high environmental pressure and it is hard to achieve absolute depressurization.

Key words: environmental pressure; domestic environmental load; depressurization; decomposition

工业革命以来, 人类依赖技术进步获得越来越强大的改造、利用自然的力量, 社会代谢(Societal Metabolism)规模不断扩大. 一方面, 人类从自然系统获取越来越多的再生和非再生资源, 即社会代谢的“吞量”增加; 另一方面, 经济系统向自然排放的废弃物也不断上升, 即社会代谢的“吐量”增加. 据估算, 狩猎社会的直接物质和能量投入分别约为每人每年 1t 和 10~20GJ, 农业社会分别上升为约 4t 和 65GJ, 工业社会分别剧增到约 20t 和 250GJ^[1]. 人类社会与自然系统之间巨大的物质和能量交换所伴随的种种生态环境问题, 使人类越来越清醒地认识到资源与环境对发展的日益显著的制约, 可持续发展应运而生并成为人类追求的共同目标.

对可持续发展的度量是实施可持续发展战略的一个重要前提: 没有度量, 就无法评价社会经济发展的可持续状况并监测其变化方向, 也就无法设定具体、实用的可持续发展目标, 制定有效的战略和政

策. 而社会经济的发展是否具有“可持续性”取决于人类活动造成的“环境压力”与自然系统之“承载力”的对比, 包括 2 个方面: ①发展对自然资源的消耗是否超越了自然系统的持续供给能力; ②人类活动对生态-环境系统产生的破坏和扰动是否超越了其吸纳和自我恢复能力. 因此, 环境压力的度量和监测成为度量可持续发展的重要内容.

在国家尺度上, 物质流分析方法及其指标被广泛用于研究社会-经济系统的代谢特征. 量化环境压力. 这一领域的研究主要集中于: ①国家层次的物质流的计算、分析和比较^[2~8]; ②物质(资源)效率和物质减量化趋势分析以及物质使用和经济发展阶段之间的关系^[9~15]. 然而, 这些研究都是针对一个

收稿日期: 2005-10-24; 修订日期: 2005-11-18

基金项目: 教育部优秀中青年骨干教师基金项目(1711)

作者简介: 王青(1962~), 男, 博士生导师, 主要研究方向为资源与生态经济、可持续发展的环境指标.

* 通讯联系人, E-mail: xiaowei.gu@163.com

或几个物质流指标,如直接物质投入、物质总需求、国内物质消耗、生产排放等,分析和比较社会代谢或环境压力的不同侧面.迄今为止,对环境压力总量的度量还没有像对经济总量的度量那样,形成通用的指标和规范的核算体系,寻求这样一个指标并进行整体环境压力的减量化分析,是学术界研究的重点之一.

笔者基于社会代谢物质流核算方法和指标,构建了度量国家环境压力总量的指标——环境载荷,并对中国 1990~2002 年的环境载荷进行了计算^[16, 17].本文应用分解模型对中国的环境载荷进行反弹效应和减量效应分解,分析我国环境压力总量的减量化历史轨迹、现状和趋势.

1 环境载荷与环境效率

环境问题的根源是巨大的社会代谢规模.社会代谢指的是进入、流出社会-经济系统及滞留在系统内的所有物质和能量的总和^[1].社会-经济系统从自然环境摄取水、空气、生物质及非生物质,经过系统的代谢作用,把一部分物质留在系统内,把废弃的固体、水和气体排放回到自然环境.社会代谢规模一般以社会-经济系统的物质吞吐量(Material Throughput)为度量指标,代谢规模越大对环境的扰动范围和程度就越大,造成的环境压力也就越大.物质流分析是社会代谢数量研究的主要方法,它通过对代谢过程的物质流进行分类和核算来定量研究社会代谢特征.因此,在宏观层面上,环境压力指标可以基于物质流吞吐指标进行构建.本文用到的物质流指标及其基本关系见表 1^[4].

表 1 中的各物质流指标本身就是从不同的侧面对环境压力的一种度量.在投入面直接物质投入(DMI)可表征一个国家经济系统的直接物质消耗对自然环境造成的压力,物质总需求(TMR)表征直接物质消耗和间接扰动(即隐藏流的开挖与搬运)造成的环境压力;在排放面,国内生产过程排放(DPO)和国内总排放(TDO)可分别用于表征生产过程直接排放和总排放产生的环境压力.这些指标的度量单位是重量,因此称之为“环境载荷”.

一个国家的经济活动造成的环境总载荷(total environmental load, TEL)可以定义为投入面和排出面所有直接和间接的物质流量的总和,即:

$$\begin{aligned} \text{TEL} &= \text{TMR} + \text{TDO} \\ &= \text{DMI} + \text{DPO} + 2\text{HF} + \text{IF} \end{aligned} \quad (1)$$

环境总载荷的承受者包括本国环境和国外环境

表 1 国家层面上常用物质流指标及其计算

Table 1 Commonly used material flow indicators and their calculation at the national level

指标分类	指标名称	计算关系
投入	国内直接使用的原料开采(DE)	
	进口(I)	
	国内隐藏流(HF)	
	进口对应的非直接流(IF)	
	直接物质投入(DMI)	DMI= DE+ I
排出	物质总需求(TMR)	TMR= DMI+ HF+ IF
	出口(E)	
	国内生产过程排放(DPO)	DPO= 气体污染物+ 固体废物+ 液体废物
	国内总排放(TDO)	TDO= DPO+ HF

2 部分,本国环境承受的载荷称为“本国环境载荷”,记为 TELD;国外环境承受的载荷称为“环境载荷转嫁”,记为 TELE:

$$\begin{aligned} \text{TELD} &= \text{TEL} - \text{IF} - \text{I} \\ &= \text{DMI} + \text{DPO} + 2\text{HF} - \text{I} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{TELE} = \text{IF} + \text{I} \quad (3)$$

对一个给定国家,作用于该国环境的压力与其可持续发展状况直接相关.因此,本文只针对本国环境载荷进行分析.

一个国家的社会-经济系统的环境效率(EE)在这里定义为:产生单位本国环境载荷所创造的经济产出(GDP),即:

$$\text{EE} = \text{GDP} / \text{TELD} \quad (4)$$

环境效率的倒数为环境冲击强度(EI),即创造单位经济产出(GDP)所产生的本国环境载荷:

$$\text{EI} = \text{TELD} / \text{GDP} \quad (5)$$

2 环境减压与环境载荷分解

环境减压指的是经济系统对环境所产生的压力的绝对或相对减少.绝对环境减压是指环境压力总量的下降.在经济增长的前提下,绝对环境减压也意味着经济系统的环境效率的提高或环境冲击强度的降低.然而,环境效率的提高并不一定导致绝对环境减压.相对环境减压是指创造单位经济产出对环境所造成的压力的减小,即环境效率的提高或环境冲击强度的降低.文献中许多研究者认为:实现相对环境减压说明经济发展具备了“弱可持续性”,实现绝对环境减压则说明经济发展具备了“强可持续性”.实质上,从环境的角度看可持续发展问题,经济发展是否具备可持续性取决于环境压力是否保持在环境

承载力之内. 如果一个国家的环境压力已远远超出其环境承载能力, 那么即使实现了绝对环境减压, 在环境压力总量减到环境承载力以下之前, 其环境状况在整体上仍有进一步恶化的趋势, 只是恶化的驱动力在减弱. 所以实现了绝对环境减压并不一定说明经济发展已具备了可持续性, 只能说是在向可持续轨道靠拢.

实现绝对环境减压是十分困难的. 一方面, 随着技术的进步、资源管理水平的提高和环境保护的强化, 经济系统的环境效率会提高, 驱使环境压力减小, 这一作用称为“减量效应”; 另一方面, GDP 总量的增长驱使环境压力总量增加, 这一作用称为“反弹效应”. 在经济快速增长的工业化阶段, GDP 增长的反弹效应通常要大于环境效率提高的减量效应. 因此, 经济增长通常伴随着环境压力的总量增加.

一个时期内本国环境载荷的变化 (ΔTELD) 可分解为反弹效应和减量效应. 假设某一基年 (时间 0) 的本国环境载荷为 TELD_0 、经济产出为 GDP_0 、环境冲击强度为 EI_0 , t 年后的本国环境载荷、经济产出和环境冲击强度分别变为 TELD_t 、 GDP_t 和 EI_t . 基年到 t 年间环境压力的增量为:

$$\begin{aligned}\Delta\text{TELD} &= \text{TELD}_t - \text{TELD}_0 \\ &= \text{GDP}_t \times \text{EI}_t - \text{GDP}_0 \times \text{EI}_0\end{aligned}\quad (6)$$

通过简单推导, 可得出时间 t 内环境载荷的反弹效应和减量效应, 分别用 G_{eff} 和 I_{eff} 表示:

$$G_{\text{eff}} = \text{EI}_0 \times \Delta\text{GDP} + \frac{\Delta\text{EI} \times \Delta\text{GDP}}{2}\quad (7)$$

$$I_{\text{eff}} = \text{GDP}_0 \times \Delta\text{EI} + \frac{\Delta\text{EI} \times \Delta\text{GDP}}{2}\quad (8)$$

环境载荷增量为:

$$\Delta\text{TELD} = G_{\text{eff}} + I_{\text{eff}}\quad (9)$$

3 中国环境载荷分解与环境减压分析

根据公式 (2) 和 (4), 计算出中国 1990~2002 年的本国环境载荷和环境效率. 计算中, 国内直接使用的物质开采包括 5 大类: 燃料、金属矿物、生物质、工业原料和建筑材料, 燃料包括原煤、原油和天然气, 金属矿物包括铁、铜、铝、锌、铅、镍、锡、镭、镁、钛等 10 种, 生物类物质包括了国际粮农组织统计的中国国内生产的生物类物质 (不包括人工养殖生物), 工业原料仅考虑了原盐, 建筑材料仅考虑了水泥; 进口物质中包括了海关统计的各种物质的实物进口量; 国内隐藏流包括: 国内金属开采、化石燃料开采、非金属开采以及生物质的生态包袱, 铁、铜、铝原料的

生态包袱系数取作者所在研究中心的研究成果数据^[18~20], 多数原料的生态包袱系数借用由德国 Wuppertal Institute 的 Helmut Schuetz 提供的数据, 水利工程开挖量由水利基础建设和农田水利灌溉 2 大部份组成, 由于没有系统的关于每年水土流失量的记载, 根据报告^[21, 22]: 目前中国每年流失的土壤约为 $50 \times 10^8 \text{t}$, 取 $50 \times 10^8 \text{t}$ 为每年的水土流失估计量; 由于可获取数据的限制, 进口对应的非直接流未包括进口非金属矿物的生态包袱; 国内生产过程排放包括: 工业固态废弃物和排放到空气、水中的污染物以及耗散性物质, 其中, 排放到空气中的污染物包括二氧化碳、二氧化硫、烟尘和粉尘, 排放到水中的污染物包括重金属、砷、氰化物、酚、石油、悬浮物和硫化物, 耗散性使用只包括化肥一项. 环境效率计算中的 GDP 为 2000 年不变价格.

图 1 所示为中国 1990~2002 年的本国环境载荷与环境效率. 可见, 我国经济的环境效率在研究期总体上以较高的速度增长, 2002 年比 1990 年提高了 92.8%, 年均增长率为 5.6%, 说明单位经济产出对本国环境产生的压力在减小, 本国环境压力实现了一定程度的相对减量. 但环境压力总量也有较大幅度的增长, 12a 间增长了 56.7%, 年均增长 3.8%.

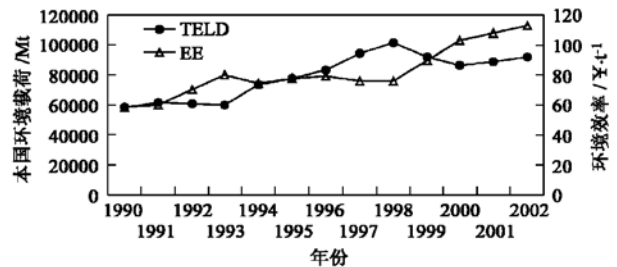


图 1 中国 1990~2002 年本国环境载荷与环境效率

Fig. 1 Domestic environmental load and efficiency of China for 1990~2002

对中国 1990~2002 年的本国环境载荷进行反弹效应与减量效应分解, 结果如图 2 所示. 反弹效应和减量效应都是增量, 二者的代数和即为每年本国环境载荷的实际增量.

由 GDP 增长引起的环境载荷反弹效应在研究期变化不大, 平均每年增加 $70 \times 10^8 \text{t}$ 左右, 12a 共增长了 $850 \times 10^8 \text{t}$, GDP 每增加 10^4 元带动本国环境载荷平均增加约 120t; 由环境效率提高带来的环境载荷减量效应在研究期内波动较大, 总体上可分为 3 个阶段: 1990~1993 年减量效应增强, 1994~1998

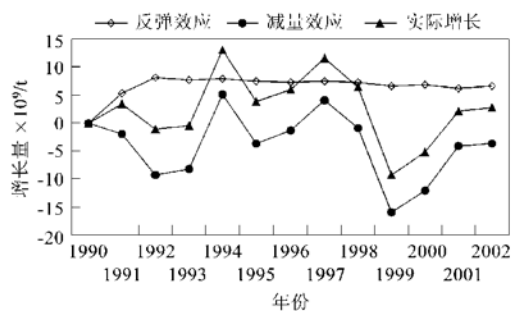


图2 中国1990~2002年本国环境载荷的反弹效应和减量效应

Fig. 2 Rebound and depressurization effects of China's domestic environmental load for 1990~2002

年减量效应在0线上下徘徊且波动较大,1999~2002年减量效应逐年减弱。12a间,减量效应使本国环境载荷平均每年降低约 $43 \times 10^8 \text{t}$,共减量约 $520 \times 10^8 \text{t}$ 。可见,在总体上,这一时期经济增长的反弹效应比效率提高的减量效应大,导致环境载荷总量的较大幅度增加。

减量效应在1994~1998年间接近0甚至为正值(即出现增量),这是由于这几年的环境效率没有增长甚至出现下降(图1)。1992年的中国经济走上快车道,从1992~1997年东南亚金融危机之前,GDP的年均增长率达到近11%。但经济的快速增长并没有伴随着环境效率的提高,1994~1998年的本国环境载荷与GDP几乎是同步增长,经济发展是以巨大的资源消耗和环境冲击为代价的。值得关注的是,2001年中国经济开始了新一轮快速增长,环境效率的增长却出现放缓趋势,减量效应减弱。

如果经济运行的环境效率保持历史值,那么实现每年本国环境载荷零增长的GDP增长轨迹和实际增长轨迹的对比如图3所示。如果要在历史环境效率的条件下实现本国环境载荷的绝对减量,我国GDP在这一时期的年均增长率应控制在5.6%以



图3 中国1990~2002年本国环境载荷零增长的GDP轨迹和实际GDP轨迹

Fig. 3 China's GDP profiles corresponding to 0-TELD increase and actual GDP growth rates for 1990~2002

下,实际年均增长率为9.65%。从另一个角度看,如果GDP增长速度保持历史值,那么要实现这一时期本国环境载荷的绝对减量,环境效率在同期的年均增长率应高于9.65%,实现3倍数以上革命。

4 结论

(1) 我国经济在1990~2002年间的环境效率总体上以较高的速度增长,实现了一定程度的相对减量。但这一时期的经济增长率远高于同期的环境效率增长率,经济增长的反弹效应比效率提高的减量效应大,导致环境载荷总量的较大幅度增加。

(2) 要实现环境载荷的绝对减量,必须大力提高环境效率,使其增长速度高于经济增长速度;或是控制经济增长速度,使之不超过环境效率的增长率。

(3) 我国经济的快速增长时期(如1992~1997年和2001年以后)的环境效率增长变缓,说明我国经济增长方式粗放,经济的高速增长是以资源的大量消耗和环境压力的增加为代价的。2001年以后的环境效率增长变缓和环境载荷较明显的增长趋势,预示着我国环境压力总量将继续以较高的速度增加。

参考文献:

- [1] Marina Fischer-Kowalski. Material Flow Accounting [M]. Vienna: Information Package, 1999.
- [2] European Communities. Material use in the European Union 1980-2000: Indicators and Analysis [M]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002.
- [3] Adriane A, Bringeu S, Hammond A, et al. Resource flows — The material basis of industrial economies [M]. Washington DC: World Resources Institute, 1997.
- [4] Matthews E, Amann C, Bringeu S, et al. The Weight of Nations — Material Outflows from Industrial Economies [M]. Washington DC: World Resources Institute, 2000.
- [5] Ambiental G. Total Material Requirement of the Basque Country [EB/OL]. <http://www.ihobe.net/publications/descarga/Fmateriales.cpv.pdf>, 2003.
- [6] Schandl H, Schulz N. Using Material Flow Accounting to Operationalize the Concept of Society's Metabolism [EB/OL]. A Preliminary MFA for the United Kingdom for the period of 1937-1997, <http://www.iser.essex.ac.uk/pubs/workpapers/pdf/2000-03-1.pdf>, 2000.
- [7] Hammer M, Hubacek K. Material Flows and Economic Development — Material Flow Analysis of the Hungarian Economy [EB/OL]. <http://www.seri.at/Data/seri/events/quovadis/Hammer.Hubacek.MFA-Hungary.pdf>, 2002.
- [8] Isacson A, Jonsson K, Linder I, et al. DMI and DMC for Sweden 1987-1997 [EB/OL]. <http://www.scb.se/statistik/MI/M11202/2000102/MIFT9905.pdf>, 2000.

- [9] Bringezu S, Schutz H, Steger S, *et al.* International Comparison of Resource Use and Its Relation to Economic Growth[J]. *Ecological Economics*, 2004, **51**: 97~ 124.
- [10] Huttler W, Schandl H, Weisz H. Are Industrial Economies on the Path of Dematerialization? Material Flow Accounts for Austria 1960– 1996: Indicators and International Comparison [A]. Paper Presented for the Third ConAccount meetings, Amsterdam, 1998.
- [11] Canas A, Ferrao P, Conceicao P. A New Environmental Kuznets Curve? Relationship Between Direct Material Input and Income Per Capita: Evidence from Industrialized Countries [J]. *Ecological Economics*, 2003, **46**: 217~ 229.
- [12] Moll S. Reducing Societal Metabolism —A Sustainable Development Analysis [A]. Paper Presented for the Conference “Nature, Society and history”, Vienna, 1999.
- [13] Bartelmus P, Bringzu S, Moll S. Dematerialization, Environmental Accounting and Resource Management [A]. Germany: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2001.
- [14] Schutz H, Welfens M. Sustainable Development by Dematerialization in Production and Consumption —Strategy for the New Environmental Policy in Poland [A]. Germany: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2000.
- [15] Bartelmus P. Dematerialization and Capital Maintenance: Two Sides of the Sustainability Coin [A]. Germany: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2002.
- [16] 顾晓薇, 王青, 刘敬智, 等. 环境压力指标及应用[J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(3): 315~ 319.
- [17] 顾晓薇. 国家环境压力指标体系及减量化研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2005.
- [18] 王青, 丁一, 顾晓薇, 等. 中国铁矿资源开发中地生态包袱 [J]. *资源科学*, 2004, **27**(1): 2~ 7.
- [19] 丁一, 王青, 顾晓薇. 中国铜资源开发利用中的物质投入[J]. *资源科学*, 2005, **27**(5): 27~ 32.
- [20] 丁一. 金属生产的物质投入研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2004.
- [21] 陈雷国. 国际水土保持大会专题报告: 中国的水土保持[EB/ OL]. <http://www.chinawater.com.cn/others/bzdt/cl/20020528/200205280087.htm>.
- [22] 周生贤. 中国每年流失土壤 50 亿吨 森林资源将入不敷出 [EB/ OL]. <http://news.sohu.com/30/95/news147729530.shtml>.