

中国经济系统的物质投入分析

徐明,张天柱* (清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

摘要: 为研究经济系统可持续发展进程中对自然物质的需求与消耗,综合运用物质流分析方法和结构分解分析方法,对中国经济系统1990~2002年间的自然物质投入进行分析计算.结果表明,1995~1999年间中国经济系统在保持自然物质消耗少量增加(以直接物质投入DMI为指标,年均增长约0.58%)的基础上实现了经济的较高速发展(以国内生产总值GDP为指标,年均增长约10%).为了实现经济发展的去物质化,必须在保持较低人口增长速率的同时大力提高技术水平,提高经济系统的资源生产效率.

关键词: 可持续发展; 物质流分析(MFA); 结构分解分析(SDA); 去物质化

中图分类号: F062.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2005)03-0324-05

Material input analysis of China economic system. XU Ming, ZHANG Tian-zhu* (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2005,25(3): 324~328

Abstract: To study the requirement and consumption of natural materials in the process of sustainable development of economic system, the natural material input of China economic system during 1990 to 2002 was analyzed and calculated using complexly the techniques of material flow analysis (MFA) and structure decomposition analysis (SDA). China economic system during 1995 to 1999 realized higher rate development (using domestic producing total value GDP as index, annual average growth about 10%) based on the maintaining less increase of natural materials consumption (using direct material input (DMI) as index, annual average growth about 0.58%). In order to realize the dematerialization of economy development, while maintaining lower growth rate of population, the technological level must be enhanced vigorously to enhance the resource producing efficiency of economic system.

Key words: sustainable development; material flow analysis (MFA); structure decomposition analysis (SDA); dematerialization

人类社会经济系统与自然环境系统之间是依靠各类物质流联系起来的,经济发展依靠自然资源,并向自然环境排放废弃物.为了实现社会经济与自然环境的相互协调,实现生态效率的最大化,分析二者之间的物质流动已经成为研究可持续发展促进经济系统物质减量化和物质解耦的重要内容^[1-3].

本研究以中国社会经济系统为研究对象,采用物质流分析(MFA)方法,通过考察1990~2002年间的物质流量投入量,计算得出一系列表征环境压力的指标.以该系列指标为基础,从宏观角度描述中国社会经济系统的资源生产效率和资源消耗强度并进行国际对比.同时也运用分解分析方法(DA)由微观角度分析中国社会、经济、技术等因素对物质投入的不同影响.

1 方法学

MFA方法自20世纪90年代初开始研究^[4,5],在西方发达国家得到了广泛的应用和发展^[6,7].2001年,欧盟统计局(UROSTAT)对MFA进行了总结,提出了一套较系统的分析框架(下简称为欧盟框架)^[8].依据此框架,许多国家迅速开展着MFA实践.目前,MFA尚未在中国获得应用,仅有一些初步的研究成果^[9-12].

根据欧盟框架,直接物质投入量(DMI)和直接物质消费量(DMC)是表征经济系统物质投入量的主要指标,其中DMI侧重于表示由于人类社

收稿日期: 2004-10-29

基金项目: 中国工程院城市循环经济研究项目

* 责任作者, 教授, zhangtz@tsinghua.edu.cn

会及其经济活动的存在而导致的资源影响, DMC 则侧重于描述经济运行和居民消费方式造成的环境影响。DMI 与 DMC 的核算框架如表 1 所示,其中所有的计算项目均以物理量为计量单位。

表 1 MFA 投入指标核算框架

Table 1 Indicator accounting framework of MFA in input side

计算项目	计算方法	说 明
国内资源开采	$(a)=(a1)+(a2)+(a3)$	直接从国内自然环境开采的物质总量
化石燃料	(a1)	直接开采的煤、石油、天然气
矿物质	(a2)	各类直接开采的金属、非金属矿物
生物质	(a3)	农、林、牧、渔业的生物产品生产量
实物进口量	(b)	自他国进口的原材料、成品以及半成品
实物出口量	(c)	向他国出口的原材料、成品以及半成品
DMI	$(d)=(a)+(b)$	经济系统运行所需的直接物质投入
DMC	$(e)=(d)-(c)$	社会经济系统所消耗的物质总量

以 DMI 和 DMC 表征经济系统对自然环境产生的压力,辅以社会经济统计指标,如人口(P)、国内生产总值(GDP),可以衡量经济系统的资源生产效率和资源消耗强度。本文以产生单位 GDP 所需 DMI 的量来衡量资源生产效率,以人均 DMC 消耗量表征资源消耗强度,并与其他国家相应研究结果进行比较,对中国经济系统所依赖的自然资源消耗有一个宏观的了解。

DA 方法已经成为能源利用及其废弃物排放研究领域中的有力的分析工具^[13]。近年来随着可持续发展研究的深入,该方法也逐渐开始被应用到其他环境问题的研究上。

从微观角度分析,可以运用 DA 方法的思想将物质投入指标分解为可以表征社会、经济、技术的因子,根据这些因子的变化掌握其对资源消耗情况的不同贡献。具体来说,即对由 MFA 方法所

得之物质流统计数据 DMI 及 DMC 进行分解:

$$DMI = P \times (GDP/P) \times (DMI/GDP) \quad (1)$$

式中:DMI 代表由于人类社会及其经济活动的存在而对自然环境造成的物质压力;P 为人口;GDP/P 为人均 GDP,可以体现社会富裕和国民福利的程度;DMI/GDP 表示经济系统的资源生产效率,用来衡量技术水平。

$$DMC = GDP \times (P/GDP) \times (DMC/P) \quad (2)$$

式中:DMC 为经济运行和居民消费方式对自然资源的需求;GDP 可以衡量经济活动;P/GDP 为单位 GDP 所支持的人口数,为该国的经济承载力;DMC/P 为该国国民生活对自然资源的人均消耗强度。

2 结果

研究所用原始数据均来自公开出版的各类统计年鉴(中国统计年鉴、中国钢铁工业统计年鉴、中国有色金属工业统计年鉴、中国能源统计年鉴等)以及其他相关组织提供的数据库(联合国粮农组织网络数据库、国家统计局网络数据库等)。

表 2 MFA 指标及其他社会经济指标

Table 2 The MFA physical indicators and other socio-economic ones

时间(a)	DMI(10^6 t)	DMC(10^6 t)	P(10^6 人)	GDP(10^6 美元)
1990	3 058	2 943	1 143	213 138
1991	3 204	3 062	1 158	238 232
1992	3 431	3 271	1 172	305 769
1993	3 836	3 658	1 185	435 860
1994	4 328	4 078	1 199	471 696
1995	5 084	4 767	1 211	689 019
1996	5 189	4 852	1 224	850 890
1997	5 254	4 850	1 236	944 030
1998	5 200	4 807	1 248	970 489
1999	5 202	4 794	1 258	994 380
2000	5 493	4 967	1 267	1 092 697
2001	5 977	5 381	1 276	1 172 838
2002	6 790	6 093	1 285	1 237 153

表 2 为根据上述数据来源所得到的中国 MFA 统计指标,以及社会经济指标人口数和 GDP。

由于考虑到经济会受到通货膨胀或紧缩的影响,而物质流量不随时间而变化,因此综合两者的比较时,需要将经济流数据换算成以某一既定时间价格为标准的实际 GDP (Real GDP).本研究根据国际货币基金组织(IMF)所提供的数据库,将中国以及进行国际对比所需其他国家的 GDP (Nominal GDP)数据换算成按 2002 年美元价格计算的 GDP^[14].

3 讨论

3.1 物质需求与消耗变化趋势

图 1 显示了 DMI、DMC 以及 GDP(实际 GDP, 以下若无特殊说明,“GDP”均代表实际 GDP)自 1990 年开始的变化趋势.以 1990 年各指标值为 100,其后各年的指标与 1990 年指标相比,以表示各指标的变化趋势.可以看出,自 1990 年之后 GDP 均呈现出较高速度的增长,年平均增长 15.79%.DMI 与 DMC 的变化趋势大致相仿,自 1990 年后均呈上升趋势,年均增长分别为 6.87% 和 6.25%.DMI 与 DMC 的变化大体上可以分为以下 3 个阶段.

1990~1995 年期间,物质需求量高速增长,DMI 年均增长 10.70%;DMC 年均增长 10.13%.

1995~1999 年期间,物质需求量增长速度放缓,DMI 年均增长 0.58%;DMC 年均增长 0.14%.

1999~2002 年期间,物质需求量重新较高速增长,DMI 年均增长 9.29%;DMC 年均增长 8.32%.

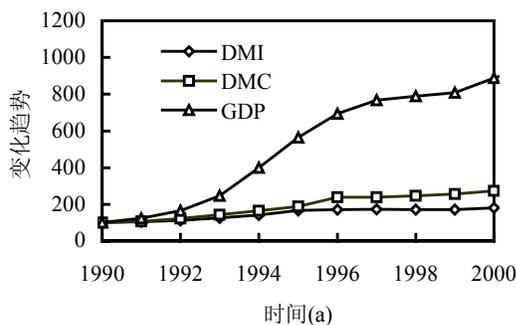


图 1 DMI、DMC、GDP 变化的趋势
Fig.1 Trends in DMI, DMC, and GDP

由图 1 可见,中国经济的高速增长很大程度

上是依赖于同样高速增长的自然资源需求和消耗.中国经济的发展模式仍然是物质基础型,即需要消耗大量的自然资源.对比一些已有的研究成果,可以看出物质减量化已经在欧洲一些国家取得了很大的成就,很多经济体在保持经济总量持续增长的同时,实现了物质消耗量的少量增长甚至负增长,即一定程度上实现了物质解耦目标.

3.2 资源生产效率和消耗强度

用单位 DMI 所生产的 GDP 来衡量经济系统的资源生产效率,单位物质支持所生产的 GDP 越多,则经济系统的资源生产效率越高,反之则越低.对中国与日本以及欧盟 15 国的研究结果进行对比(图 2).可以看出与物质需求量类似,中国经济系统资源生产效率的变化也呈现出 3 个阶段.

1990~1993 年期间,资源生产效率以较快的速度增长,年均增长 17.70%.

1994~2000 年期间,经过 1994 年的突降之后,资源生产效率重新开始增长,年均增长 10.55%.

2000~2002 年期间,资源生产效率开始下降,年均下降 4.30%.

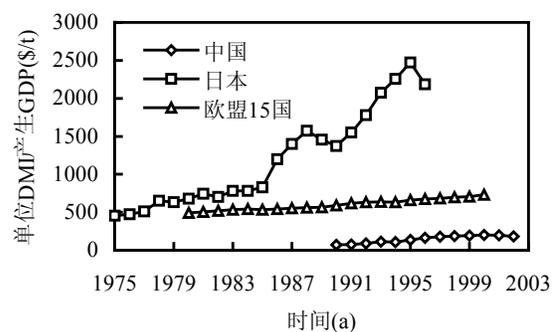


图 2 单位 DMI 所生产的 GDP 及国际对比
Fig.2 International comparison of GDP per DMI

数据来源:日本(1975~1996 年)^[6];欧盟 15 国(1980~2000 年)^[7]

对比日本以及欧盟 15 国的结果,不仅其经济系统资源生产效率的总体水平高于中国,而且在所选取的研究时段中均呈现不断升高的趋势.至 2002 年,中国经济系统单位质量的 DMI 所能生产的 GDP 为 182.18 美元,分别为 1996 年日本的 8% 和 2000 年欧盟 15 国平均水平的 25%.

人均 DMC 消耗量可以用来表征资源消耗强度,同时也可以反映国民物质福利的高低.如人均 DMC 值较高,则说明资源消耗强度较大,或国民生活消费所占据或需要的自然资源较多,反之则较小或较少.由图 3 可见,由于人口数量呈现出较稳定的增长速率,因此与环境压力指标变化类似,中国经济系统的资源消耗强度同样也呈现出 3 个阶段,第一个阶段人均 DMC 增加,第二个阶段略有下降,1999 年重新开始增加.从总体上看,自 1990~2002 年,中国经济系统的资源消耗强度是不断增加的,但同时国民生活消费所拥有的物质福利也不断增加.与其他国家或地区的研究成果进行对比,可以看出中国国民的物质福利还远远低于日本及欧盟等发达国家或地区.

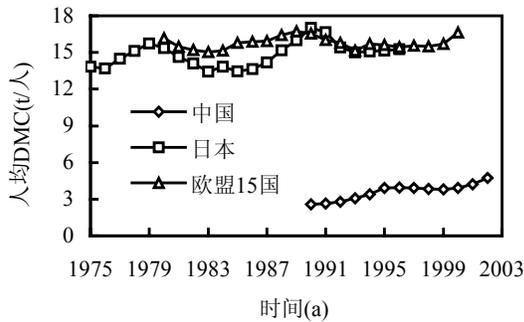


图 3 人均 DMC 及国际对比

Fig.3 International comparison of DMC per capita
数据来源同图 2

3.3 物质投入与消耗的分解分析

由式(1)将影响自然资源投入(DMI)的因素分解为人口压力(P),国民福利(GDP/P)和技术水平(DMI/GDP)3 个指标,计算各指标年均变化率,用以表征各因素在自然资源投入量变化中所起的作用.按照对物质需求与消耗总量分析所得 3 个阶段,对 1990~2002 年以及上述 3 个阶段分别进行分析,得到各时段各因素的年均变化率(以各时间段开始年份为 1),如表 3 所示.

自 1990~2002 年,中国经济系统技术水平的提高(其倒数 DMI/GDP 年均下降 8%)对自然资源投入的增长有一定的抑制作用,但是由于国民福利和人口压力的增大(分别年均 15%和 1%),使

得自然资源投入仍然有一定的增加(年均 7%). 1995~1999 年间自然资源投入增长较少(年均 1%),主要是由于同一时期国民福利增长较少(仅为年均 9%).自 1999 年之后,技术水平有了一定程度的下降(DMI/GDP 年均下降 2%),但是由于人口压力和国民福利保持了较低速率的增长(分别为年均 1%和 7%),因此自然资源的投入也没有出现较高的增长速率(年均 9%).

表 3 自然资源投入分解分析

Table 3 Decomposition analysis for DMI

时间(a)	DMI	P	GDP/P	DMI/GDP
1990~2002	1.07	1.01	1.15	0.92
1990~1995	1.11	1.01	1.25	0.88
1995~1999	1.01	1.01	1.09	0.92
1999~2002	1.09	1.01	1.07	1.02

与对 DMI 的分解类似,根据式(2),将影响自然资源消耗(DMC)的因素分解为经济活动总量(GDP),经济负担(P/GDP),以及自然资源消耗强度(DMC/P).按与表 3 同样的时段分别计算各因素的年均变化率(以各时间段开始年份为 1),结果如表 4 所示.

表 4 自然资源消耗分解分析

Table 4 Decomposition analysis for DMC

时间(a)	DMC	GDP	P/GDP	DMC/P
1990~2002	1.06	1.16	0.87	1.05
1990~1995	1.10	1.26	0.80	1.09
1995~1999	1.00	1.10	0.92	0.99
1999~2002	1.08	1.08	0.94	1.08

1990~2002 年间,虽然经济负担的下降(年均 13%)可以抑制自然资源消耗量的增加,但是由于经济活动总量和自然资源消耗强度的增加(分别为年均 16%和 5%),造成了自然资源消耗量的不断增加(年均 6%).1990~1995 年间自然资源消耗量增长最快(年均 10%),主要是由于高速增长的经济活动总量(年均 26%)所致.1995~1999 年间自然资源消耗量基本保持不变,得益于经济活动总量的较低速率增长(年均 10%)和自然资源消

耗强度的有所下降(年均 1%).1999 年之后自然资源消耗量重新开始增长(年均 8%),与 1990~2002 时段类似,经济负担对其增长起了抑制作用,而经济活动总量和自然资源消耗强度对其起促进的作用。

通过对 DMI 和 DMC 的分解分析,可以看出 1995~1999 年间由于经济发展速度适当放缓,同时得益于人口数量控制措施的得当,在国民福利继续保持增长的同时,适当降低最终消费对物质资源的需求,使得自然资源投入和消耗均呈现出较低的增长,这一阶段的发展是相对可持续的发展。但是自 1999 年之后,虽然人口压力和经济活动总量仍然保持较低速率的增长,但是由于人口基数较大,使得自然资源消耗强度有了一定的增加,再加上生产技术水平有了一定的下降,造成了自然资源投入和消耗的重新增加。

4 结语

通过对中国经济系统 1990~2002 年间直接物质投入与消耗的分析,可以看出 1995~1999 年是其中发展最好的一个阶段,初步实现了自然资源的可持续发展,有了一定程度的去物质化,这主要归功于不断提高的技术水平以及有所放缓的经济增长速度。与日本以及欧洲发达国家相比,中国的人均物质福利和自然资源生产效率均处在较低的水平。为了实现可持续发展,在保持较低人口增长速率的同时,应该着重进行国民经济技术水平的改造和国民生活方式的改善,以提高经济系统的资源生产效率和降低资源消耗强度,实现去物质化。

参考文献:

- [1] Peter Bartelmus. Dematerialization and capital maintenance: Two sides of the sustainability coin. Wuppertal Papers No.120, ISSN 0949-5266 [R]. Wuppertal, Germany: Wuppertal Institute, 2002.
- [2] Heinz Schandi, Walter Huttler, Harald Payer. Delinking of economic growth and material turnover [J]. *Innovation*, 1999, 12(1):31-45.
- [3] Andreas Pastowski. Decoupling economic development and freight for reducing its negative impacts. Wuppertal Papers No.79,

ISSN 0949-5266 [M]. Wuppertal, Germany: Wuppertal Institute, 1997.

- [4] Anton Steurer. Stoffstrombilanz österreich, 1988. Schriftenreihe Soziale Ökologie. No. Band 26 [R]. Wien: IFF/Abteilung Soziale Ökologie, 1992.
- [5] Environment Agency Japan. Quality of the environment in Japan 1992 [R]. Tokyo: Environment Agency Japan, 1992.
- [6] Emily Matthews. The weight of nations: Material outflows from industrial economies [M]. Washington: World Resources Institute, 2000.
- [7] EUROSTAT. Material use in the European Union 1980-2000: indicators and analysis [R]. Luxembourg: Statistical Office of the European Union, 2002.
- [8] EUROSTAT. Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide [M]. Luxembourg: Statistical Office of the European Union, 2001.
- [9] 陈效速,乔立佳.中国经济—环境系统的物质流分析 [J]. *自然资源学报*, 2000,15(1):17-23.
- [10] 陈效速,赵婷婷,郭玉泉,等.中国经济系统的物质输入与输出分析 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2003,39(4):538-547.
- [11] 徐明,张天柱.中国化石燃料的物质需求总量测算分析 [A]. 第九届海峡两岸环境保护学术研讨会论文集 [C]. 西安:西安交通大学出版社, 2004.1472-1476.
- [12] 徐明,张天柱.中国经济系统中化石燃料的物质流分析 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2004,44(9):1166-1170.
- [13] Hoekstra Rutger, van den Bergh Jeroen C J M. Structural decomposition analysis of physical flows in the economy [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2002,23(3):357-378.
- [14] International Monetary Fund. World economic outlook database 2004 [DB/OL]. <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2004/02/data/index.htm>, 2004-09.

作者简介: 徐明(1981-),男,甘肃环县人,清华大学环境科学与工程系在读硕士生,主要研究方向为工业生态学.发表论文 4 篇。