

中国化石能源使用可持续性评估 ——基于 1990~ 2006年数据

赵震宇, 宋冬林

(长春税务学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 进入 1990年代, 中国经济走上了前所未有的快速增长轨道, 而化石能源作为推动经济增长的最主要动力源泉却同时也是造成环境恶化的双刃剑。采用加拿大生态经济学家 Ree和 Wackemagel共同发展的生态足迹模型, 对 1990~ 2006中国化石能源使用的生态足迹和生态承载力进行了计算, 得到了该时期中国化石能源使用已处于生态赤字状态的评估结果。而化石能源使用过程中单位能源的 CO₂ 排量没有得到显著改善和森林覆盖率没有明显的增长是造成该时期中国化石能源使用处于生态赤字状态的主要原因。

关键词: 可持续发展; 生态足迹理论; 化石能源足迹; 化石能源承载力

中图分类号: F062.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2010)01-0075-05

1 问题的提出

可持续发展理念自 1980年代末提出以来, 经历 20余年的发展逐渐得到了人们的普遍认可, 已经在世界范围内由理论走向实践, 并已成为各国政府制定经济政策的基本出发点和发展目标。随着可持续发展理念在实践中的贯彻落实, 有效的定量测度地区可持续发展状态的评估方法自然成为政策制定者和研究人员共同的需要^[1-4]。在这种情况下, 定量测度发展可持续状态的评估研究逐渐成为国际上生态经济学与可持续发展理论的研究热点和前沿领域之一。生态足迹 (Ecological Footprint) 理论就是在这样的背景下提出和发展起来的^[5-6]。

生态足迹理论是加拿大生态经济学家 Ree和 Wackemagel在 1992年提出的, 其后由 Wackemagel进行了一系列改进和发展, 目前已经成为理论界认同的定量评估地区可持续发展能力的研究方法而得到广泛的应用^[7-8]。

所谓生态足迹是指能够持续地向一定人口提供他们所消耗的所有资源和消纳他们所产生的所有废弃物的土地和水体的总面积。该理论的适用性基于如下理论基础和假设: 第一, 能够跟踪人类消费的资源 and 所排放的废物, 找到其生产区和消纳

区类别; 第二, 大多数资源流量和废物流量可以被转化为提供或消纳这些流量的、具备生物生产力的陆地或水域面积。生态足迹模型就是比较生态足迹 (生产区面积) 和生态承载力 (消纳区面积) 的模型。它从生态角度判断人类活动是否处于生态系统的承载力范围之内, 进而判定该区域的可持续发展状态^[9-12]。

生态足迹理论作为定量研究区域可持续发展的方法拥有一套计量模型, 有三个方程组成:

生态足迹计算方程

$$EF = N \cdot ef = N \sum_{i=1}^n (r_i c_i p_i) \quad (1)$$

方程 (1) 中, EF 为总生态足迹; N 为人口数; ef 为人均生态足迹; i 为消费品和投入的类型; r_i 为 i 类商品的当量因子; c_i 为 i 类商品的人均消费量; p_i 为 i 类商品的世界平均生产能力。

生态承载力计算方程

$$EC = N \cdot ec = N \sum_{j=1}^6 (a_j r_j y_j) \quad (2)$$

生态承载力即是指区域内部的生物生产性土地的面积。方程 (2) 中, EC 为总生态承载力; N 仍然为人口数; ec 为人均生态承载力; j 为生产性土地的类型; a_j 为 j 类生产性土地的人均面积; r_j 为当量因子; y_j 为产量因子。

收稿日期: 2009-03-10 修订日期: 2009-10-16

基金项目: 国家社会科学基金重点项目 (09AJY001) 资助。

作者简介: 赵震宇 (1983-), 男, 辽宁沈阳人, 博士研究生, 主要从事宏观经济学领域研究。E-mail: zyzhao07@mails.jlu.edu.cn

方程(2)中, j 的取值范围被 Wackemagel 给予了严格的界定, $j = [1, 6]$ 意味着生产性土地被 Wackemagel 划分为六类, 如下表 1。

表 1 生产性土地类型明细

Table 1 Category Summary

生产性土地 类型 Category	当量因子 Equivalence factor	生产功能 Function
耕地 Arable land	2.8	粮食、干鲜果品、蔬菜
草地 Pasture	0.5	肉、禽、蛋、奶
森林 Forest	1.1	木材、竹材、CO ₂ 吸收
水域 Sea	0.2	水产品
建设用地 Building land	2.8	各类建筑
化石能源用地 Fossil fuels land	1.1	CO ₂ 吸收

生产性土地的当量因子是由 Wackemagel 根据各类土地生产能力的大小计算出来的。其中耕地的生产能力最强, 其次是森林、草地和水域。建设用地由于占用的都是可开垦土地, 所以其当量因子与耕地相同。需要强调的是, 化石能源用地并不是实际生活中单独存在的一种土地类型, 而是 Wackemagel 假设出的吸收由于化石能源使用而排放出的 CO₂ 一种虚拟土地类型。由于现实中排放出的 CO₂ 主要被森林所吸收, 所以这种虚拟土地类型的当量因子与森林相同^[13, 14]。

生态盈余/赤字计算方程 $ES(ED) = EC - EF$ (3)

若方程(3)的结果为正, 则该区域为生态盈余, 处于生态可持续发展状态; 若方程(3)的结果为负, 则该区域为生态赤字, 生产已经超出该地区的生态承载能力, 处于不可持续发展状态。

2 中国化石能源足迹的评估

根据《韦氏辞典》对化石能源 (fossil fuels) 的定义, 化石能源是由保留在地壳中的动植物遗骸经过一系列物理化学变化形成的燃料, 具体包括煤、石油以及天然气。化石能源是现代人类社会发展的主要动力源, 人类生产生活所需初级能源的 80% 以上都是由化石能源提供的, 可见化石能源在现代经济运行中所起的重要作用。另一方面, 由有机体遗骸形成的化石能源中富含大量的碳元素, 进而, 其燃烧形成的废气中富含大量的 CO₂ 气体, 而 CO₂ 气体被认为是造成温室效应的罪魁祸首。可

见, 化石能源的使用对人类的可持续发展可谓是一柄双刃剑, 对化石能源足迹进行评估具有重要的现实意义。

化石能源足迹的计算是将能源的消费量转化为消纳化石能源燃烧而排放出的 CO₂ 生产性土地的面积, 即化石能源用地。本文中化石能源足迹的计算采用自然资本存量法, 即将化石能源燃烧过程中排放出碳元素的含量转化为吸收这些碳元素所需森林的面积。尽管这种方法有其自身的缺陷, 但考虑我国目前可以获得的统计数据, 这种方法无疑是相对可行的。

2.1 化石能源足迹的计算

化石能源足迹的计算方程:

$$FEF = N \cdot efe = N \sum_{i=1}^n (ce_i \cdot \rho_e \cdot \rho_{c_i} \cdot \varepsilon) \quad (4)$$

方程(4)中, FEF 为总化石能源足迹; fe 为人均化石能源足迹; N 为人口数; i 代表化石能源种类; ce_i 为 i 类化石能源的人均消费量; ρ_e 为化石能源的能源密度, 即世界单位化石能源的平均发热标准, 每吨标准煤平均发热 29.4 GJ; ρ_{c_i} 为单位化石能源碳排放因子, 表示 i 类化石能源单位发热量的碳元素排放标准, 它随着化石能源分子结构的不同而存在着差异, 煤、石油、天然气的碳密度分别为 0.026、0.020 和 0.015 为权衡因子, 即世界平均水平下消纳 1 单位碳元素所需的森林面积^①。

按照方程(4), 收集所需数据并进行数据处理, 而后代入式中进行计算, 将所得各项结果列入下表 2 中。

2.2 化石能源承载力的计算

大气中所含的 (CO₂) 大部分都被森林所吸收, 所以 Wackemagel 所虚拟的化石能源土地的当量因子与森林相同, 可以认为森林的面积就是化石能源的承载力。

2.3 化石能源使用可持续性评估

借鉴 Wackemagel 的生态盈余/赤字评估方法, 我们得到化石能源使用可持续性的评估方程:

$$fes(fed) = fec - fef \quad (5)$$

整理数据并代入方程(5), 所得结果列入下表 3 中。

由表 3 可见, 在 1990~2006 年间中国的化石能源生态足迹明显小于同时期化石能源使用承载

① ε 的数值计算源自欧盟 (EEA) 的初步估计: 世界化石能源消费所排放的碳元素中, 约有 69% 被森林所消纳; 而每公顷森林吸收碳元素的能力约为 0.95 t/hm²。由此可得 $\varepsilon \approx 0.73$ 。

表 2 1990~2006 中国人均化石能源足迹计算明细

Table 2 Summary on Fossil Energy Footprint of China (1990-2006)

年份	化石能源消费总量 (万 t标准煤)	煤炭消费总量 (万 t标准煤)	石油消费总量 (万 t标准煤)	天然气消费总量 (万 t标准煤)	人口 (万人)	人均化石能源足迹 (hm^2)
1990	93669.147	75211.686	16384.7	2072.763	114333	0.432233927
1991	98801.416	78978.863	17746.89	2075.66	115823	0.449762206
1992	103820.67	82641.69	19104.75	2074.23	117171	0.466888915
1993	109961.364	86646.771	21110.73	2203.867	118517	0.487927202
1994	115740.991	92052.75	21356.24	2332.003	119850	0.508760445
1995	123305.44	97857.296	22955.8	2361.168	121121	0.535745835
1996	131305.86	103794.156	25010.64	2501.064	122389	0.564663234
1997	128841.13	98801.166	28110.79	2342.566	123626	0.546889061
1998	123752.304	92020.944	28426.01	2908.708	124810	0.514071917
1999	125533.478	92518.681	30245.81	2810.451	125786	0.518208483
2000	129408.502	93938.934	32144.3	3325.272	126743	0.528215252
2001	132029.478	95513.733	32792.57	3723.174	127627	0.534575119
2002	140108.631	100641.411	35520.5	3946.722	128453	0.562927401
2003	163090.68	119693.16	38847.78	4549.74	129227	0.653898246
2004	188797.883	138194.36	45319.62	5283.902	129988	0.752163322
2005	208729.578	155255.262	47183.22	6291.096	130756	0.828740941
2006	228538.56	170911.38	50239.08	7388.1	131448	0.903106284

数据来源:《中国统计年鉴》及《新中国五十年统计资料汇编》。

表 3 1990~2006 中国人均化石能源使用生态盈余(赤字)(单位:)

Table 3 Fossil Energy Surplus/Deficit of China (1990-2006)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
f_f	0.432	0.450	0.467	0.488	0.509	0.536	0.565	0.547	0.514
f_{ec}	0.109	0.11	0.11	0.109	0.107	0.106	0.105	0.108	0.107
f_{es}/f_{ed}	-0.323	-0.34	-0.357	-0.379	-0.402	-0.43	-0.46	-0.439	-0.407
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
f_f	0.518	0.528	0.535	0.563	0.654	0.752	0.829	0.903	
f_{ec}	0.127	0.125	0.125	0.124	0.135	0.135	0.134	0.133	
f_{es}/f_{ed}	-0.391	-0.403	-0.41	-0.439	-0.519	-0.617	-0.695	-0.77	

数据来源:《中国统计年鉴》及《新中国五十年统计资料汇编》。

力,即在这一时期中国的化石能源使用处于生态赤字状态,呈现出显著的不可持续性。

3 评估结果分析

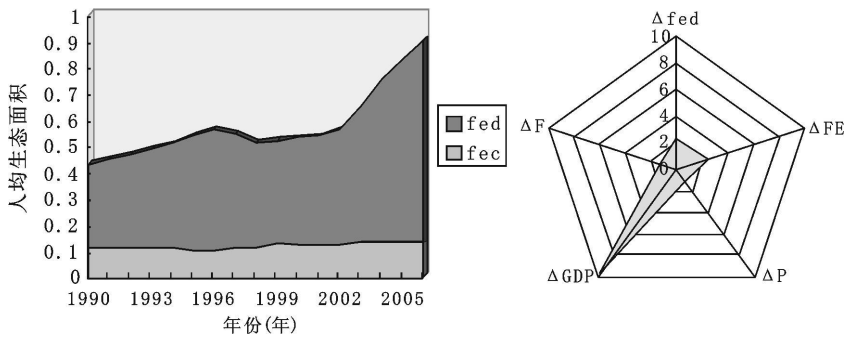
通过以上计算,我们得出了 1990~2006 中国化石能源的生态足迹已经超过生态环境承载能力的结论。下面有必要对数据进行更深入的剖析,以期了解中国化石能源生态赤字的状态以及造成这种不可持续发展状态的主要因素。

笔者根据本文计算出的数据结果以及相关年份《中国统计年鉴》所提供的数据,绘制了图 1A 及图 1B。

图 1A 显示出了 1990~2006 中国化石能源足迹及生态承载能力的变化趋势。我们看出 1990~2006 年间,中国的化石能源足迹呈显著的增长趋

势,特别是在 2000 年以后这种趋势愈发明显;而同时期中国化石能源生态承载力却没有发生显著的变化。从而造成了中国化石能源使用生态状况的不断恶化。

图 1B 显示了 1990~2006 年期间中国化石能源生态赤字增量、化石能源使用增量、森林覆盖率增量、国内生产总值增量以及人口增量之间的数量关系。直观来看,在 5 个增量数据中国内生产总值增幅最大,而人口与森林覆盖率变化最小,化石能源的使用增量与化石能源生态赤字增量相当。基于宏观经济学认识,上述变量存在如下因果关系:首先,中国经济的快速增长是造成同时期化石能源使用量增长的主要原因;其次,化石能源使用量的增加是造成该时期中国生态赤字增加的直接原因;再次,森林覆盖率增长的缓慢与生态赤字的恶化有



《中国统计年鉴》《新中国五十年统计资料汇编》及作者整理计算的数据结果

图 1 1990~2006 中国化石能源生态状况

Fig 1 Fossil Energy Ecological Condition of China (1990-2006)

着密切的关系。据此,我们可以得到这样的结论:1990~2006年期间中国经济的快速发展导致了化石能源使用量的增加,而化石能源使用过程中单位能源的 CO_2 排量并没有得到显著的改善,而这成为 17年间中国化石能源足迹增长的主要原因;同时期,中国森林覆盖率并没有明显的增长,从而化石能源生态承载能力并没有得到显著改善。二者共同造成了 1990~2006 中国化石能源使用生态赤字和生态赤字的增加。

基于上述,我们提出如下政策建议,以期改变目前中国化石能源使用不经济的现状:

第一,加快生态文明建设,完善节约化石能源和保护生态环境的法律和政策,形成可持续发展的体制机制。

第二,转变粗放型经济增长方式,淘汰落后生产能力,提高能源使用效率,推动节约化石能源和保护生态环境的产业结构和消费模式的形成。

第三,发展清洁能源和可再生能源,并大力推广减排过滤技术,尽量减少单位能耗的排放量,降低环境所承载的负荷。

第四,加大植树造林力度,提高植被覆盖率,增强环境的化石能源承载力。

第五,适度限制重化工业区的扩张速度,减少对环境 and 植被的破坏,有效控制生态赤字。

参考文献:

[1] 蒋依依. 国内外生态足迹模型应用的回顾与展望 [J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 13~23.

- [2] 刘 森. 生态足迹方法及研究进展 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 334~339.
- [3] 刘宇辉. 中国 1961-2001 年人地协调度演变分析 - 基于生态足迹模型的研究 [J]. 经济地理, 2005, 25(2): 219~222.
- [4] 王玉梅, 尚金城. 生态足迹分析法在可持续发展定量评估中的应用 [J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 146~150.
- [5] 熊德国, 鲜学福, 姜永东. 生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进 [J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 618~626.
- [6] 徐中民. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 280~285.
- [7] 杨开忠, 杨 咏, 陈 洁. 生态足迹分析理论与方法 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 630~636.
- [8] 赵跃龙. 脆弱生态环境定量评价方法的研究 [J]. 地理科学, 1998, 18(1): 73~79.
- [9] 周 嘉, 尚金城. 绥化市可持续发展状况的生态足迹分析 [J]. 地理科学, 2004, 24(3): 333~338.
- [10] REES W. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization 1992, 4(2): 100 - 105.
- [11] Richard Schmalensee, Thomas M Stoker Ruth A Judson World Carbon Dioxide Emissions 1950-2050 [J]. The Review of Economics and Statistics, 1998, 80(1): 15 - 27.
- [12] William D. Nordhaus Resources as a Constraint on Growth [J]. The American Economic Review, 1974, 64(2): 22-26.
- [13] William D. Nordhaus Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem [J]. The American Economic Review, 1977, 67(1): 341-346.
- [14] Wackemagel M, Rees W. Our Ecological Footprint - Reducing Human Impact on the Earth [M]. New Society Publishers, 1996: 61-83.

Development Sustainability Analysis of Chinese Fossil Energy on Ecological Footprint Model (1990–2006)

ZHAO Zhen-yu SONG Dong-lin

(Changchun Taxation college, Changchun Jilin 130012)

Abstract In contemplating the future course of economic growth all over the world, more and more scientists have been aware that economic development was damaging our environment. One persistent concern has been that man's economic activities would reach a scale where the global climate would be significantly affected. Lots of articles have given the brief overview of the climatic implications of economic activity with special reference to carbon dioxide, and then will present possible strategies for control. It is thought that the economic activities which most affect climate are agriculture and energy. Of these, the latter is probably more significant, is certainly more easily analyzed.

A brief overview of the interaction between carbon dioxide and the climate is as follows: combustion of fossil fuels leads to emissions of carbon dioxide into the atmosphere. Fossil fuels are hydrocarbons found within the top layer of the earth's crust, and they are the most important useful energy, and will be discussed here. In the energy sector, emissions of carbon dioxide, particulate matter, and heat are of significance for the global climate. Recent evidence indicates that, even after several millennia, the dynamic processes which determine climate have not attained a stable equilibrium. One of the more carefully documented examples is the global mean temperature which over the last 100 years has shown a range of variation of five-year averages of about 0.6°C. Many climatologists feel that it is prudent to consider as significant the changes witnessed in the last century the 0.6°C range. Although the estimates are uncertain, it is probable that for carbon dioxide such a change would come with an increase of approximately 20 percent in atmospheric concentrations over pre-industrial levels. Once in the atmosphere, the residence time appears to be very long, with approximately one-half of all industrial carbon dioxide still airborne. Because of the selective absorption of radiation, the increased atmospheric concentration is thought to lead to increased surface temperatures. The most recently study to date predicts that a doubling of atmospheric concentrations of carbon dioxide would eventually lead to a global mean temperature increase of 3°C. The predicted temperature increase by latitude indicates that there is considerable amplification at high latitudes.

China is one of the biggest economy all over the world today, and she has to think of the problem of the global climate. Since 1990s, China has been very successful in economical increasing, in which fossil fuels are absolutely necessary. However, using fossil fuels unlimitedly is dangerous for our environment. In this text we use Ecological Footprint model created by William Ree and Mathis Wackemagel in 1992 to calculate Chinese Fossil Energy Footprint (FEF) and Fossil Energy Capacity (FEC) from 1996 to 2006. We find Chinese Fossil Energy Deficit (FED) has happened, emission of 1 unit energy not decreased and the forest covering not increased obviously were the main causes of Fossil Energy Deficit.

Key Words Sustainable development, Ecological Footprint Theory, Fossil Energy Footprint, Fossil Energy Capacity