

辽宁省能源足迹变动的分析

杨继松¹, 胡晓钧¹, 吴昊¹

1. 沈阳大学污染环境的生态修复与资源化技术实验室, 沈阳 110044

摘要: 采用生态足迹模型与分解分析模型, 定量核算了 1990—2006 年辽宁省能源足迹, 分析了其变动趋势及其影响因素。结果表明, 1990—2006 年, 辽宁省能源足迹呈不断增大趋势, 总量由 3 508 万 hm^2 增加到 6 491 万 hm^2 , 人均值则由 0.896 hm^2 扩大到 1.542 hm^2 , 增加了将近 1 倍, 在区域生态压力中的贡献额为 30%。在各类贡献因素中, 经济发展对能源足迹的贡献远高于其他因素, 其次为能源结构效应、人口规模效应, 能源强度效应最低。虽然能源强度不断下降, 但其对区域生态压力下降的贡献不足以抵消由能源结构不合理和消费水平的提高造成的生态影响, 导致辽宁省能源足迹持续增加。

关键词: 能源足迹; 分解分析模型; 辽宁省

中图分类号: Q148

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2216-04

生态足迹指标是一种衡量自然资本可持续利用的生物物理定量评价工具, 它将人类对各种资源和能源的消费主要折算为 6 类生物生产性土地: 化石能源地、可耕地、林地、草场、建筑用地和海洋^[1]。能源足迹(Energy Ecological Footprint, EEF)在生态足迹中占很大比重, 是影响生态足迹大小的最主要因素, 成为区域可持续发展研究的热点之一。《2006 地球生命力报告》指出, 人类的能源足迹增长最快, 2003 年超过 1961 年的 10 倍, 几乎占到 6 类总生态足迹的一半(48%)^[2]。陈成忠等(2009)^[3]对中国的能源足迹研究表明, 在过去的 53 a 中国的能源足迹在波动中急剧上升, 而近 10 a 中国的能源足迹近乎翻了 1 倍。由于社会、经济、科技、生产、日常生活等众多因素的变化影响着人们的能源消费, 决定着能源足迹的大小, 找出影响能源足迹增长的主要因子, 为降低能源足迹、减少环境影响提供可行的途径和方法成为国内外学者关心的问题^[4,5]。辽宁省是东北的老工业基地, 也是耗能大省, 2006 年能耗总量为 15 124 万吨标准煤, 但由于技术落后, 万元产值能耗较高(1.635 $\text{t}\cdot\text{万元}^{-1}$)^[6], 二氧化碳排放量大, 直接影响辽宁省经济社会的可持续发展。为此, 本研究以辽宁省为对象, 研究 1990—2007 年辽宁省能源足迹的变动规律, 采用生态足迹模型与分解分析模型对能源足迹进行分解分析, 以期找出影响能源足迹变动的主要因素, 为降低碳排放, 探寻低碳发展模式提供科学依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 能源足迹的范围界定

在本研究中, 能源消费仅包括直接能源消费, 相应的能源足迹仅包括支持区域直接能源消费及

消除区域直接能源消费产生的生态影响所需要的生物生产性空间。

1.2 能源足迹的核算方法

采用目前普遍使用的碳汇法计算辽宁省 1990—2006 年的人均能源足迹, 即每消费单位化石能源所释放的二氧化碳所需要的林地吸收面积, 水电不释放二氧化碳, 其生态足迹计算是以建设水电站等设施所淹没的土地面积计算^[7]。化石能源足迹以净消费量计算。折算系数及转化标准如下: 1 t 原煤=0.7143 t 标准煤, 1 t 原油=1.4286 t 标准煤, 1 m^3 油天然气=1.33 kg 标准煤, 1 kWh 电力=0.1229 kg 标准煤, 1 kg 标准煤热能=7000 kcal, 1 kcal=4.1868 kJ, 1 MJ=1 $\times 10^6$ J, 1 GJ=1 $\times 10^9$ J。全球平均足迹为煤炭 55 $\text{GJ}\cdot\text{hm}^{-2}$, 石油 93 $\text{GJ}\cdot\text{hm}^{-2}$, 天然气 93 $\text{GJ}\cdot\text{hm}^{-2}$, 水电 1000 $\text{GJ}\cdot\text{ghm}^{-2}$ ^[3]。能源足迹计算采用陈成忠等^[3]报道的计算方法:

$$EEF = \sum_i^4 \frac{c_i \times 7000 \times 4.1868}{m_i \times 10^6 \times N} \quad (1)$$

EEF 为人均能源足迹 (hm^2), $i=1, 2, 3, 4$, 分别表示能源消费项目原煤、原油、天然气和水电, c_i 为当年第 i 项能源消费量 (kg 标准煤), m_i 为第 i 项能源消费的全球平均足迹 (hm^2), N 为人口数量。

1.3 分解分析模型

分解分析模型是利用投入产出技术发展起来的一种较为成熟的分析方法, 并且在能源研究领域得到了广泛的应用。对数平均权重 Divisia 分解法(Logarithmic Mean Weight Divisia Index, LMDI)是 Ang^[8]等人在 1998 年提出改进, 由于模型能够给出较为合理的因素分解, 分解形式简单且结果不包括

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2008ZX07208-009); 国家科技支撑计划项目(2006BAD21B04-3)

作者简介: 杨继松(1978年生), 男, 副教授, 主要研究方向为环境生态与生物地球化学。E-mail: yjswill@126.com

收稿日期: 2009-10-09

不能解释的残差项，从而使模型更有说服力。其核心思想是将经济系统中某因变量的变动分解为有关各独立自变量各种形式变动的和，以测度各自变量对因变量变动贡献的大小^[9]。分解分析方法因其在理论基础、实用性、可操作性和结果表达四大指标方面均具有优越的性能而成为目前最有应用价值的影响因子分析方法^[10,11]。由于区域能源消费的生态压力总量(I, 即能源足迹)可以表达区域人口规模(Population, P)、人均富裕或经济发达程度(Affluence, A)和生态经济技术水平(Technology, T)的函数, 即 $I=f(P, A, T)$ 。其中, T 又等于能源强度(T_1)效应与能源结构效应决定的区域综合能耗生态占用系数(T_2)的乘积, 所以, 传统的 IPAT 模型可以改写为:

$$I = P \times A \times T_1 \times T_2 \quad (2)$$

第 t 期相对于基期(第 0 期)的区域能源足迹总量的变化量(ΔI)与变化率(D)可以分别表达为:

$$\Delta I = I^t - I^0 = P^t A^t T_1^t T_2^t - P^0 A^0 T_1^0 T_2^0 = \Delta I_P + \Delta I_A + \Delta I_{T_1} + \Delta I_{T_2} + \Delta I_{rsd} \quad (3)$$

$$D = I_t / I_0 = D_P D_A D_{T_1} D_{T_2} D_{rsd} \quad (4)$$

式中, ΔI_{rsd} 与 D_{rsd} 为分解余量。基于(3)和(4), 采用 LMDI 模型进行分解。

各个因素的分解结果如下:

$$\Delta I_P = \sum_i W_i' \ln \frac{P_i^t}{P_i^0}; \quad \Delta I_A = \sum_i W_i' \ln \frac{A_i^t}{A_i^0}$$

$$\Delta I_{T_1} = \sum_i W_i' \ln \frac{T_{1i}^t}{T_{1i}^0}; \quad \Delta I_{T_2} = \sum_i W_i' \ln \frac{T_{2i}^t}{T_{2i}^0} \quad (5)$$

其中 $W_i' = \frac{I_i^t - I_i^0}{\ln(I_i^t / I_i^0)}$ 。

$$D_P = \exp(W \Delta I_P); \quad D_A = \exp(W \Delta I_A)$$

$$D_{T_1} = \exp(W \Delta I_{T_1}); \quad D_{T_2} = \exp(W \Delta I_{T_2}) \quad (6)$$

其中, $W = \frac{\ln I^t - \ln I^0}{I^t - I^0}$ 。

由于 LMDI 法中没有残差, 所以 $\Delta I_{rsd} = 0, D_{rsd} = 1$ 。

1.4 数据来源

研究的时间尺度为 1990—2006 年, 以 1990 年为基准年。数据来自 1990—2007 年《辽宁省统计年鉴》。

2 结果与分析

2.1 辽宁省能源消费量及其结构变动趋势分析

由表 1 可知, 1990—2006 年辽宁省能源消费总量呈增加趋势, 特别是 2000 年后, 随着社会经济的快速发展, 辽宁省能源消费总量增速加快 (GDP 与能源总消耗量的相关系数 $r = 0.96$), 其总量也由 1990 年的 7170.8 万 t (标准煤) 增至 2006 年的 15124.4 万 t, 增长了 1 倍, 年均指数增长率为 3.86%。相反, 能源强度, 即万元 GDP 能耗则由 1990 年的标煤 6.748 t/万元降至 2006 年的标煤 1.635 t/万元, 下降了 3 倍, 说明能源效率大幅度提高, 这主要归因于生态经济技术水平的上升。从能源消费构成上看, 辽宁省总能源消费的 97% 以上为一次性能源,

表 1 1990~2006 年辽宁省人口、GDP 及能源消费情况

Table 1 Amounts of population size, GDP and energy consumption for Liaoning province, 1990-2006

年份	人口/万人	GDP/亿元	能源消费总量(标准煤)/万 t	能源消费构成/%				能源强度/(t·万元 ⁻¹)
				原煤	原油	天然气	水电	
1990	3917.3	1062.7	7170.8	82.2	12.8	3.3	1.7	6.748
1991	3938.5	1200.1	7218.0	83.7	12.7	3.3	2.0	6.014
1992	3957.9	1473.0	7191.6	83.7	10.7	3.9	1.7	4.882
1993	3982.9	2010.8	8695.6	72.4	21.8	3.3	0.3	4.324
1994	4007.2	2461.8	9204.7	76.0	21.0	2.8	0.2	3.739
1995	4034.0	2793.4	9381.8	76.7	22.7	0.2	0.4	3.359
1996	4056.8	3157.7	9417.7	75.3	24.1	0.2	0.4	2.982
1997	4077.1	3582.5	9191.7	73.6	23.3	2.7	0.4	2.566
1998	4090.4	3881.7	8873.7	72.9	24.2	2.6	0.3	2.286
1999	4103.2	4171.7	8869.9	51.7	45.9	2.2	0.2	2.126
2000	4135.3	4669.1	9877.2	51.5	46.3	2.1	0.0	2.115
2001	4147.0	5033.1	10356.9	50.5	47.3	2.2	0.0	2.058
2002	4155.4	5458.2	10333.5	50.0	48.0	1.8	0.2	1.893
2003	4161.6	6002.5	11079.4	51.2	46.9	1.6	0.3	1.846
2004	4172.8	6672.0	12454.0	51.5	47.0	1.2	0.3	1.867
2005	4189.2	8009.0	13652.9	51.9	46.4	1.2	0.5	1.705
2006	4210.4	9251.2	15124.4	52.9	45.7	1.0	0.4	1.635

1) 能源强度以每生产万元 GDP 消耗多少吨标煤计算

原煤在总能源消费的比例在逐年下降,已由1990年的82.2%降至2006年的52.9%,原油消费所占的比例则呈上升趋势,由1990年的12.8%升至2006年的45.7%,这说明辽宁省的能源消费结构正在逐渐改善,但直至2006年,原煤仍然是辽宁省的主要能源。

2.2 辽宁省能源足迹的变动趋势

1990—2006年,辽宁省因能源消费造成的人均生态足迹由1990年的0.896 hm^2 扩大到2006年的1.542 hm^2 ,增加了将近1倍(土图)。其总量由3508万 hm^2 增加到6491万 hm^2 ,其中99%以上的生态占用是由化石燃料燃烧造成的。这说明期间由能源消费造成环境压力呈增大趋势。根据文献^[12]给出的1996—2003年辽宁省人均生态足迹为2.8~3.4 hm^2 (图1),而本研究中同期的人均能源足迹为0.9~1.1 hm^2 ,可见,辽宁省约30%的生态影响是由能源消费造成的。由此可知,辽宁省由非能源消费所造成的生态压力比重过高,这也反映出辽宁省的经济发展的生态成本较高,通过改善消费方式、提高生产效率可使辽宁省具有很大的降低生态足迹的潜力空间。

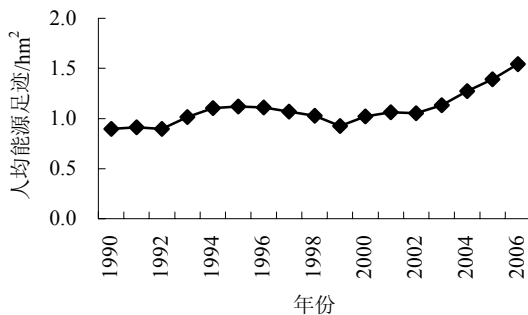


图1 1990-2006年辽宁省人均能源消费的生态足迹

Fig.1 Energy ecological footprint per capita for Liaoning Province, 1990-2006

2.3 辽宁省能源足迹变动的因素分解

由图2、3可见,1990—2006年,辽宁省能源强度呈不断下降的趋势,反映社会经济系统的能源利用效率总体上在不断提高,但是能源效率的提高对区域生态压力下降的贡献不足以抵消由能源结构不合理和消费水平的提高造成的生态影响,导致辽宁省能源足迹呈现增加的趋势,特别是2000年以后这种趋势更加明显。在各类贡献因素中,经济发展对能源足迹的贡献远高于其他因素,其次为能源结构效应、人口规模效应。可见,GDP的快速增长和经济规模的不断扩大,对区域能源足迹的贡献最大,是造成区域生态压力的主要因素。虽然能源强度效应能够抵消部分其他因素对环境的压力,但

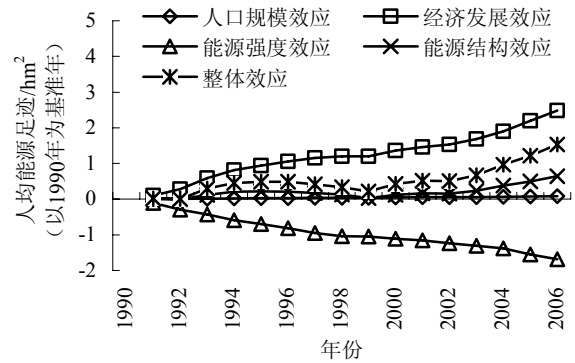


图2 各因素对辽宁省人均能源足迹的贡献值(1990-2006)

Fig.2 Contribution of factors to energy ecological footprint per capita for Liaoning Province, 1990-2006

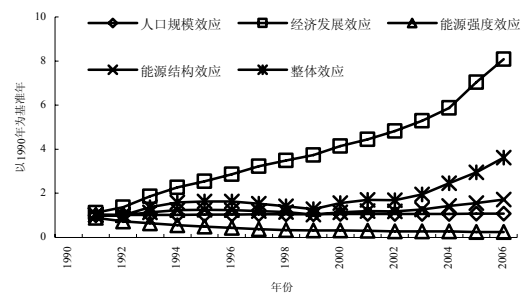


图3 各因素对辽宁省人均能源足迹的贡献率(1990-2006)

Fig.3 Contribution ratios of factors to energy ecological footprint for Liaoning Province, 1990-2006

总体上由于其他因素的整体带动,能源消耗对环境的压力仍然在加大。特别是2000年以后,这种效应表现得更为明显。相关分析表明,各类因素对能源足迹影响的整体效应与人口规模效应、经济发展效应、能源强度效应和能源结构效应成极显著相关($P < 0.01$),其Pearson相关系数分别为0.873、0.912、-0.830和0.986。这说明在保证经济发展的同时,提高能源利用效率、推广清洁能源改善能源结构、倡导绿色消费是降低因能源消费所带来的生态压力的主要途径。

3 结论

1990—2006年辽宁省能源消费总量呈增加趋势,原煤仍然是辽宁省的主要能源。1990—2006年辽宁省能源足迹为0.9~1.1 hm^2 ,在区域生态压力中的贡献额为30%左右,其中99%以上来源于化石能源燃烧。各类因素对能源足迹影响的整体效应与人口规模效应、经济发展效应、能源强度效应和能源结构效应成极显著相关($P < 0.01$),其Pearson相关系数分别为0.873、0.912、-0.830和0.986。能源强度效应的持续下降抵消了部分环境压力,但总体上由于其他因素的整体带动,能源消耗对环境的压力仍然在加大。在保证经济发展的同时,提高能源

利用效率、推广清洁能源改善能源结构、倡导绿色消费是降低因能源消费所带来的生态压力的主要途径。

参考文献:

- [1] REES W, WACKERNAGEL M. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability[J]. *Environment Impact Assess Review*, 1996, 16(4-6): 223-248.
- [2] WWF. Zoological Society of London, Global Footprint Network[R/OL]. Living Planet Report, 2006. http://www.panda.org/news_facts/publications/living_planet_report/index.cfm.
- [3] 陈成忠, 林振山. 中国能源足迹增长波动的驱动因子分析[J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 758-767.
CHEN Chengzhong, LIN Zhenshan. Driving forces analysis of energy ecological footprint growth fluctuation in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, (2): 758-767.
- [4] 曹淑艳, 张卫, 郭红. 北京市能源足迹变动及其分解分析[J]. *环境与可持续发展*, 2009, (1): 7-9.
CAO Shuyan, ZHANG Wei, GUO Hong. The decomposition analysis of change of energy footprint in Beijing[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2009, (1): 7-9.
- [5] MONFREDA C, WACKERNAGEL M, DEUMLING D. Establishing national natural capital accounts: Based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21(3): 231-246.
- [6] 辽宁省统计局. 辽宁统计年鉴2007[M]. 北京中国统计出版社, 2007: 1-557.
Bureau of Statistics of Liaoning Province. Liaoning Province Statistical Yearbook 2007[M]. Beijing: China Statistics Press, 2007: 1-557.
- [7] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法的理论解析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(6): 69-78.
XU Zhongmin, CHENG Guodong, ZHANG Zhiqiang. A resolution to the conception of ecological footprint[J]. *China Population Resources and Environment*, 2006, 16(6): 69-78.
- [8] ANG B W, ZHANG F Q, CHOI K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition[J]. *Energy*, 1998, 23(6): 489-495.
- [9] PABLO M J, KLAUS H. Material implication of Chile's economic growth: Combining material flow accounting (MFA) and structural decomposition analysis (SDA)[J]. *Ecological Economics*, 2008, 65(1): 136-144.
- [10] 主春杰, 马忠玉, 王灿, 等. 中国能源消费导致的CO₂排放量的差异特征分析[J]. *生态环境*, 2006, 15(5): 1029-1034.
ZHU Chunjie, MA Zhongyu, WANG Can, et al. Analysis of difference features of energy-related CO₂ emission in China[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(5): 1029-1034.
- [11] 李国璋, 王双. 中国能源强度变动的区域因素分解分析: 基于LMDI分解方法[J]. *财经研究*, 2008, 34(8): 52-62.
LI Guozhang, WANG Shuang. Regional factor decompositions in Chinese energy intensity change: Base on LMDI technique[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2008, 34(8): 52-62.
- [12] 李广军, 王青, 顾晓薇, 等. 调整的生态足迹方法在辽宁省的应用研究[J]. *冰川冻土*, 2006, 28(2): 299-306.
LI Guangjun, WANG Qing, GU Xiaowei, et al. Application of adjusted ecological footprint approach to Liaoning Province[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(2): 299-306.

Analysis of energy ecological footprint change in Liaoning province

YANG Jisong¹, HU Xiaojun¹, WU Hao¹

1. Key Laboratory of Eco-remediation and Resources Reuse, Shenyang University, Shenyang 110014, China

Abstract: Using ecological footprint and decomposition analysis models, energy ecological footprint (EEF) from 1990 to 2006 in Liaoning province was calculated. The EEF change and the impact factors were also analysed. The results showed that the EEF increased continuously from 1990 to 2006 in Liaoning province. The total values of EEF increased to $6.491 \times 10^8 \text{ hm}^2$ in 2006 from $3.508 \times 10^8 \text{ hm}^2$ in 1990, and the values per capita increased to 1.542 hm^2 from 0.896 hm^2 . These contributed 30 percent of regional total ecological pressure. In all contribution factors, GDP growth was highest, energy structure and population size were inferior, and energy intensity was lowest. Though the energy intensity was decreased continuously, this was not enough to counteract the ecological impact derived from immoderate energy structure and consumption level. This led to energy ecological footprint in Liaoning province increasing continuously.

Key words: energy ecological footprint; decomposition analysis model; Liaoning province