

四川省能源消耗的碳足迹分析*

桓汉青 陈冬冬 陈超凡 冯晞雨 刘 伟[#]

(成都信息工程学院资源环境学院,四川 成都 610225)

摘要 人类的生存与发展离不开能源,而能源大量消耗将会对环境产生严重影响,因此对能源消耗的碳足迹及生态压力进行研究具有重要意义。运用碳足迹的相关含义及研究方法,计算出2000—2010年四川省能源消耗的总碳足迹、不同能源和产业的碳足迹、碳足迹产值和生态压力值,并在此基础上利用STIRPAT模型进行岭回归函数拟合,进一步分析经济发展与能源消耗碳排放足迹之间的关系。结果表明:(1)四川省能源消耗的总碳足迹增长加快,从2000年的0.21 hm²/人上升到2010年的0.53 hm²/人,年均增长率为9.7%;(2)2000—2010年四川省能源消耗的碳足迹产值由2000年的3.3万元/hm²增加至2010年的5.5万元/hm²,年均增长率为5.2%;(3)碳足迹的生态压力从2000年的1.5上升为2010年的2.8,年均增长率为6.4%,对环境产生的压力越来越大;(4)四川省能源消耗的碳足迹与经济增长关系中虽呈现出环境库兹涅茨曲线的变化趋势,但目前尚未到达拐点,进一步证实能源利用对环境所造成的压力在不断增大。最后,针对存在的问题提出了相关对策与建议。

关键词 能源 碳足迹 STIRPAT模型 四川省

Analysis on carbon footprint of energy consumption in Sichuan Province HUAN Hanqing, CHEN Dongdong, CHEN Chaofan, FENG Xiyu, LIU Wei. (College of Resource and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan 610225)

Abstract: Humanity's survival and development is heavily reliant on energy. Accompanied by the consumption of energy, a large number of environmental impacts will be produced. So it is important to study carbon footprint and ecological pressure. This paper used the relevant concepts of carbon footprint and the research methods to calculate carbon footprint of Sichuan's total energy use, carbon footprint of all types energy and industry, carbon footprint of the output and ecological pressure from 2000 to 2010, and ridge regression function for STIRPAT model was applied to study the quantitative relationship between carbon emissions footprint of energy consumption and economic development. The results show that the total carbon footprint is increased from 0.21 hm²/person to 0.53 hm²/person during 2000-2010, with the average annual growth rate is 9.7%. From 2000 to 2010, value of carbon footprint of energy use is increased from 33 000 yuan/hm² to 55 000 yuan/hm², with the average annual growth rate is 5.2%. Ecological footprint pressure increased from 1.5 in 2000 to 2.8 in 2010, with the average annual growth rate is 9.7%, the pressure on the environment is getting bigger. Kuznets curve appeared in the fitting results of the relation between carbon footprint of energy use and economic development, but it has not reached the inflection point at present, which further confirmed the fact that energy use brought increasing pressure on the environment.

Keywords: energy; carbon footprint; STIRPAT model; Sichuan Province

随着世界人口和经济的快速增长,人类对能源的需求持续增加^[1]。自20世纪70年代以来,区域气候变暖已成为全世界关注的焦点。气候变化对全球提出了严峻挑战,碳排放是影响全球变暖的主要因素。政府间气候变化委员会(IPCC)指出,当前人类活动是气候变化的主要影响因素^[2]。人类活动中的能源消耗与碳排放息息相关,以“低排放、高能效、高效率”为特征的经济增长模式势在必行^[3]。

碳足迹是在生态足迹概念基础上提出的,是对

某种活动引起的(或某种产品生命周期内积累的)直接或间接的CO₂排放量的度量^[4]。碳足迹作为人类活动对环境的影响和压力程度的衡量,成为近年国内外生态研究的热点领域^[5]。20世纪80年代以来,人类活动产生的生态足迹^[6]就已经超过了地球的生产能力,2003年已超出20%^[7]。《Living Planet Report》的研究显示,各国生态足迹中由化石能源消耗而产生的碳足迹所占比例较大。2008年,我国化石能源消耗产生的碳足迹占总生态足迹的

第一作者:桓汉青,女,1987年生,硕士研究生,研究方向为环境规划与管理。[#]通讯作者。

* 国家自然科学基金资助项目(No. 41101542);四川省教育厅重点项目(No. 12ZA226);成都信息工程学院科研基金资助项目(CRF201227、J201213)。

53.99%^[8]。

国际上已有较多组织在大力推动碳足迹的发展与应用。联合国环境规划署/国际环境毒理学与化学学会“生命周期倡议”在2007年成立了碳足迹专项研究组,讨论碳足迹的具体计算方法与应用。2008年10月,英国标准协会联合英国碳基金会与英国政府发布了一项公共可用规范PAS2050,即《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》,简称《碳足迹规范》。世界可持续发展工商理事会与世界资源研究所共同完成的《关于全生命周期温室气体的计算和审计标准——温室气体盘查议定书》,在世界范围内得到较高认可。美国自然保护协会在计算出美国各个州居民的平均碳排放量基础上,开发了碳足迹计算器。英国爱丁堡大学的巴斯敏和莫里斯对社区的碳足迹计量开展了研究,基于对日常生活圈频繁使用的产品生产与分解过程中碳排放量的分析,建立了评估社区碳排放量大小和主要组成部分的碳足迹模型,指出交通出行方面的碳排放是社区碳足迹的主要组成部分^[9]。国内的碳足迹研究始于20世纪90年代,王立猛等^[10]对我国能源消费引起的环境压力进行了空间差异分析,卢俊宇等^[11]对我国省级区域的能源消费碳足迹进行了时空演变分析,邓宣凯等^[12]以湖北省为例对区域能源碳足迹计算模型进行了比较研究,陈勇等^[13]建立了环境库兹涅茨曲线模型,并对西南地区农业生态系统碳足迹与经济发展之间的关系进行了实证研究。其他学者分别对北京、宁夏、青海、上海、甘肃等地区的碳足迹进行了相关研究^[14-18],部分学者还从不同产业角度对碳足迹进行了分析^[19-20]。由此可见,国内关于碳足迹的研究多集中在区域碳排放与碳汇的核算以及对不同产业的碳足迹,而对于区域能源碳足迹影响因素的研究较为欠缺。四川省作为我国西部发展中的第一大省,能源消耗和污染物排放在全国总量中占有较大比例。因此,笔者计算了四川省2000—2010年能源消耗的碳足迹、不同能源和产业的碳足迹、碳足迹产值和生态压力值,在此基础上利用STIRPAT模型进行岭回归函数拟合,进一步分析经济发展与能源消耗碳足迹之间的关系以及四川省在能源消耗类型、产业部门的碳足迹变化特征。

1 分析方法

1.1 数据来源

按照能源类型进行数据的分类收集与统计,所需数据主要通过以下途径获取:

(1) 国家统一发行的统计年鉴、《英国石油集团世界能源统计年鉴》以及网络统计数据库等,获取GDP、终端能源消费量、能源消耗结构、加工转换损失、各产业部门能源消耗量等数据。

(2) 已被学术界认可的研究成果。诸如文献资料里的一些研究结果可以直接引用,用于对比分析等。

(3) 权威机构公布的研究报告。如IPCC报告中的能源碳排放系数、国家能源报告中的相关数据等。

1.2 能源消耗碳足迹核算及碳足迹计算

1.2.1 碳排放总量核算

根据《IPCC 温室气体排放清单指南》^[21],结合我国能源统计特点,采用式(1)计算。

$$T = \frac{11}{3} \sum_{i=1}^{10} (EC_i \times CEF_i \times OCR_i) \quad (1)$$

式中: T 为 CO_2 排放量,万t; $11/3$ 为碳与 CO_2 间的转换系数; EC_i 为能源 i 的消耗量(若为能量单位,需要转换为标准煤,即1万t标准煤等于 2.93×10^5 GJ),万t; CEF_i 为能源 i 的碳排放系数(以每吨标准煤下产生的吨碳计); OCR_i 为碳氧化率,%; i 为能源种类,根据统计年鉴将其分为10类(见表1)。

表1 各种能源的碳排放系数与碳氧化率

Table 1 Carbon emission factor(CEF) and oxidized carbon ratio(OCR) values for different fuels

能源种类	碳排放系数	碳氧化率/%
煤	0.755 9	91.6
石油	0.585 7	92.0
焦炭	0.855 0	92.8
原油	0.585 7	97.9
燃料石油	0.618 5	98.5
液化石油	0.504 2	98.9
汽油	0.553 8	98.0
煤油	0.571 4	98.6
柴油	0.592 1	98.2
天然气	0.448 3	99.0

主要计算终端能源消耗与能源加工转换(火力发电和供热所消耗能源)所排放的 CO_2 ,不包括水电和核电。能源消耗的碳排放系数来自《IPCC 温室气体排放清单指南》,碳氧化率来自《中国温室气体清单研究》^[22]。各种能源的碳排放系数、碳氧化率见表1。

1.2.2 能源消耗碳足迹核算

碳足迹方法是研究人类能源利用的分析工具,用于计算在一定社会发展水平、技术水平、生活生产方式及消费模式下,在一定的空间尺度内人类所有经济活动对能源资本的消费以及生态系统提供的能源。碳足迹指标是衡量人类对能源利用量的简单且

综合的指标。本研究能源消耗碳足迹指用林地面积来度量经济规模主体的资源消费和吸收水平。能源消耗碳足迹(Cf , $\text{hm}^2/\text{人}$)计算公式为:

$$Cf = \sum_{i=1}^3 Cf_i = \sum_{i=1}^3 C_i / F_{CL} \quad (2)$$

式中: i 为煤炭、石油、天然气3种能源; Cf_i 为 i 能源消耗的碳足迹, $\text{hm}^2/\text{人}$; C_i 为 i 能源人均碳排放量, 万 $\text{t}/\text{人}$; F_{CL} 为碳排放量与林地面积转换系数的比值, t/hm^2 , 取世界自然基金会(WWF)提供的转换系数(以林地吸收 CO_2 计) $6.49 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。

能源消耗碳足迹产值(VCF)体现单位能源利用碳足迹产生的经济价值, 定义为人均 GDP 与人均碳足迹的比值。通过 VCF 分析, 可将某一国家(区域)经济与能源、生态环境发展定量化处理, 探索其能源效益与发展趋势。当 VCF 较高时, 经济发展较好, 能源消耗碳足迹创造的经济价值较高。

能源消耗碳足迹强度(CFI)则是能源消耗碳足迹与人均 GDP 的比值。CFI 越大, 则能源消耗越大, 能源消费的碳足迹效益越差。

能源消耗碳足迹生态压力(EPICF)主要表征能源消费碳排放对自然生态系统产生的压力, 定义 EPICF 为人均能源消耗碳足迹与人均拥有林地(包括森林和草地)面积的比值, 从而判断能源消费对自然生态环境产生的压力。比值越大压力越大, 比值越小压力越小。

1.3 STIRPAT 模型

DIETZ 等提出了 STIRPAT 模型^[23-24], 其具体形式如下:

$$I = aP^bA^cT^de \quad (3)$$

式中: I 、 P 、 A 、 T 分别为表征环境压力、人口数量、人均财富和技术的参数; a 为模型系数; b 、 c 和 d 分别为表征人口数量、人均财富和技术等人文驱动力的指数; e 为模型误差。

STIRPAT 模型是一个多自变量的非线性模型, 模型两边同时进行对数化处理变为:

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e \quad (4)$$

以 $\ln I$ 作为因变量, $\ln P$ 、 $\ln A$ 、 $\ln T$ 作为自变量, $\ln a$ 作为常数项, $\ln e$ 作为误差项。

为了考察随着经济的增加, 经济增长与环境压力之间是否存在倒“U”型库兹涅茨曲线, 本研究将自变量 $\ln A$ 分解为 $\ln A$ 和 $(\ln A)^2$ 两项, 最后得到如下模型:

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c_1 \ln A + c_2 (\ln A)^2 + d \ln T + \ln e \quad (5)$$

式(5)对 $\ln A$ 求一阶偏导数, 可以得到经济-环境影响的弹性系数(EEIA)为:

$$EEIA = c_1 + 2c_2 \ln A \quad (6)$$

式中: c_1 、 c_2 均为回归系数。

已知 $\ln A$ 的值, 可根据式(6)计算出 EEIA 的值。如果 c_2 为负值, 则可确定存在环境库兹涅茨曲线和存在环境开始改善的富裕状态值, 按可比价格计算, 以 2000 年人均 GDP 度量富裕度。

2 分析结果

2.1 四川省能源消耗碳足迹分析结果

2.1.1 四川省能源消耗的碳足迹

2000—2010 年四川省主要能源(煤炭、石油、天然气)消耗的碳足迹见图 1。从图 1 可以看出, 能源消耗的总碳足迹呈持续增长趋势, 由 2000 年的 $0.21 \text{ hm}^2/\text{人}$ 上升到 2010 年的 $0.53 \text{ hm}^2/\text{人}$, 年均增长率为 9.7% 。其中, 煤炭消耗碳足迹所占比例最大, 但有下降趋势, 由 2000 年的 61.45% 减少到 2010 年的 50.87% 。石油消耗的碳足迹在 2000 年占有率为 7.95% , 2010 年达到 13.58% , 呈上升趋势。天然气消耗的碳足迹占有率一直维持在 $8.0\% \sim 11.0\%$ 。由此可见, 在四川省长期能源消耗中, 清洁能源的占

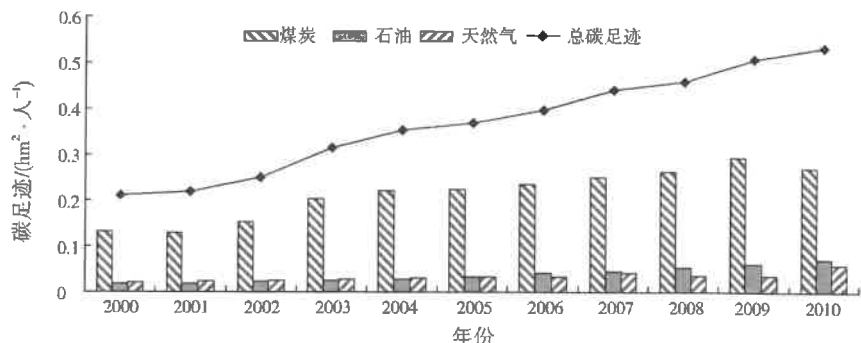


图 1 2000—2010 年四川省能源消耗的碳足迹

Fig. 1 The carbon footprint of energy consumption in Sichuan Province during 2000-2010

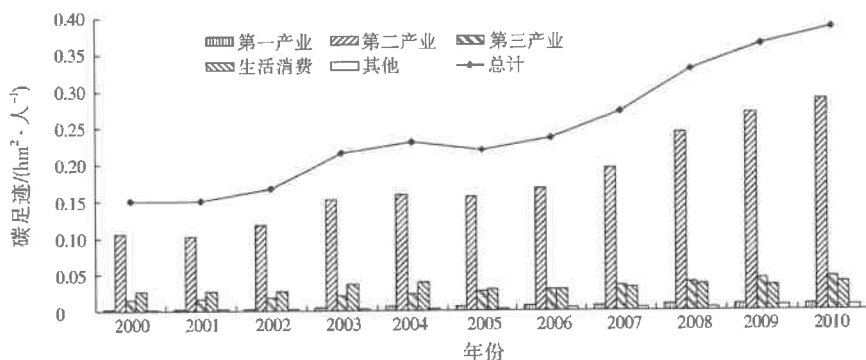


图2 2000—2010年四川省各产业部门能源消耗的碳足迹

Fig. 2 The carbon footprint of the energy consumption for the industrial structure in Sichuan Province during 2000-2010

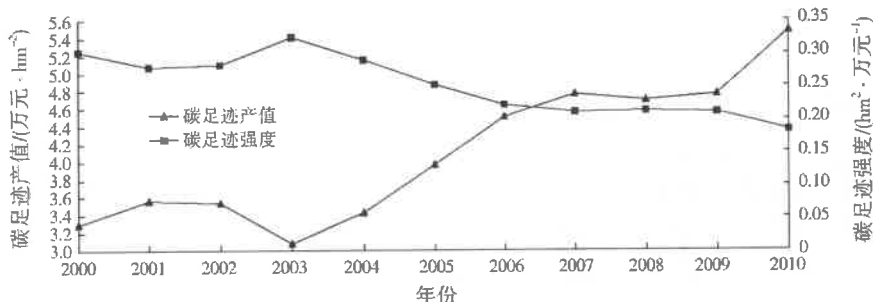


图3 2000—2010年四川省能源消耗的碳足迹产值和强度

Fig. 3 Output value and strength of the energy consumption of the carbon footprint in Sichuan province during 2000-2010

有率很低,能源消费仍以煤炭为主,生产模式还有待改进。虽然目前正在加紧转变并优化能源结构、发展可再生能源、开发新能源,但是预计在较长一段时间内,煤炭消耗碳足迹仍将是总碳足迹中的主要部分,今后需要进一步加大能源消耗结构优化调整力度以及不断提高能源利用效率。

2.1.2 四川省产业部门能源消耗的碳足迹

根据四川省的统计年鉴,产业部门分为第一产业、第二产业、第三产业、生活消费和其他共5个类别。四川省2000—2010年各产业部门能源消耗碳足迹变化趋势见图2。从图2可以看出,第二产业能源消耗的碳足迹总体呈上升趋势,由2000年的 $0.100 \text{ hm}^2/\text{人}$ 上升到2010年的 $0.290 \text{ hm}^2/\text{人}$,在总碳足迹中占有率最大,由2000年的70%左右上升到2010年的74.4%。第一产业能源消耗碳足迹2000年为 $0.003 \text{ hm}^2/\text{人}$,2010年增长到 $0.008 \text{ hm}^2/\text{人}$,在总碳足迹中占有率持续上升,由2000年的1.8%到2010年的2.1%。第三产业能源消耗碳足迹呈上升趋势,但占有率一直在10%~13%。生活消费的能源消耗碳足迹从2000年到2010年总体上变化不大,但占有率逐年减小,从2000年的17.5%减到2010年的10.1%。其他方式的能源消耗碳足迹占有率在1.2%~1.8%。

2.2 四川省能源消耗碳足迹产值与强度

四川省2000—2010年能源消耗的碳足迹产值和强度见图3。从图3可以看出,能源消耗碳足迹产值整体呈上升趋势,由2000年的 $3.3 \text{ 万元}/\text{hm}^2$ 增加至2010年的 $5.5 \text{ 万元}/\text{hm}^2$,年均增长率为5.2%。2003年碳足迹产值大幅回落,主要归因于各产业部门受西部大开发的影响,其碳足迹大幅升高,且增速大于人均GDP增速。2003年以后,人均GDP大幅增长促使碳足迹产值持续增长,年均增长率为8.5%。能源消耗的碳足迹强度总体呈减小趋势,从2000年的 $0.30 \text{ hm}^2/\text{万元}$ 到2010年的 $0.18 \text{ hm}^2/\text{万元}$,年均下降率为5%。综上表明,四川省能源利用效率越来越高,能源消耗碳足迹强度走势良好。

2.3 四川省能源消耗碳足迹生态压力分析

2000—2010年四川省能源消耗的碳足迹生态压力见图4。由图4可以看出,能源消耗的碳足迹生态压力呈持续上升趋势,由2000年的1.5上升到2010年的2.8,年均增长6.4%。2000—2004年碳足迹生态压力迅速增加的原因是西部大开发战略的实施,使得能源消耗大幅增长,加剧了生态压力。2004年之后,碳足迹生态压力增长相对缓慢,主要原因是由于退耕还林等政策的作用使得区域碳汇能力增加以及能源利用效率的逐年提高。虽然西部大开发的政策促使能源消耗碳足迹不断增加,但是四

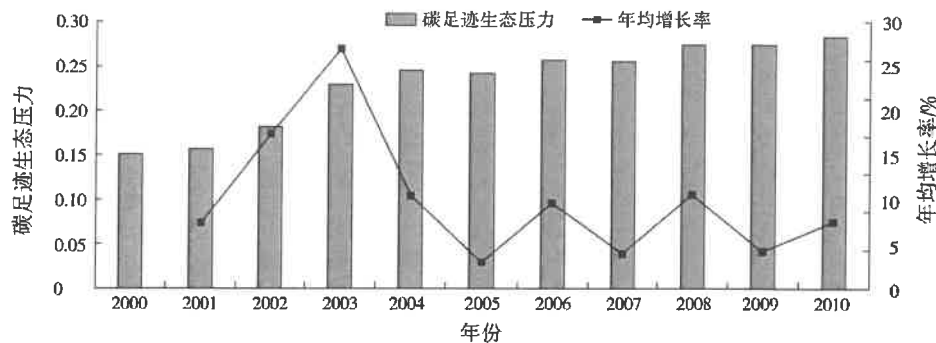


图4 2000—2010年四川省能源消耗的碳足迹生态压力

Fig. 4 Ecological pressure of the carbon footprint of energy consumption in Sichuan province during 2000-2010

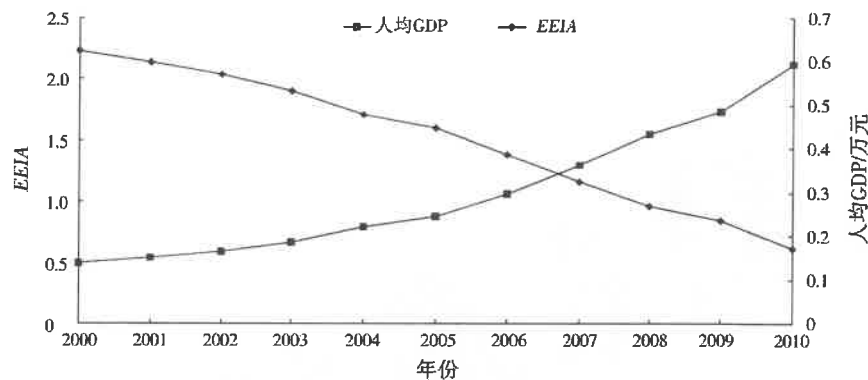


图5 能源利用碳足迹对人均GDP的EEIA

Fig. 5 The coefficient of elasticity of carbon footprint of energy utilization and GDP per capita

川省人均林地碳汇能力较强,碳足迹生态压力不大,同时由于西部退耕还林等政策的实施,使得四川省能源消耗碳足迹生态压力一直保持在一个相对较低的水平。综上,四川省能源消耗碳足迹生态压力趋于良性。

2.4 能源消耗的碳足迹与经济增长关系的比较

利用 MATLAB7.1 软件的岭回归函数对模型进行拟合。系数 k 在 $(0.1, 1.0)$, 以步长为 0.1 进行取值模拟。当 $k=0.40$ 时,岭迹图变化趋于平稳,自变量回归系数基本稳定,即采用 $k=0.40$ 时的岭回归拟合结果来确定随机模型。具体拟合结果和方差分析结果见表 2 和表 3,得出拟合的方程能够通过显著性检验。

表2 岭回归拟合结果($k=0.40$)

Table 2 Fitting results of ridge regression ($k=0.40$)

变量	回归系数
$\ln P$	0.397 7
$\ln A$	0.405 5
$(\ln A)^2$	-0.155 3

表3 岭回归的方差分析

Table 3 Analysis of variance of ridge regression

回归量	R^2	F	P
数值	0.807 2	23.021 0	0.000 1

由拟合结果可以得出,人口数以及人均 GDP 对

碳足迹的影响程度相近(人口数或人均 GDP 增加 1%,碳足迹增加约 0.4%)。 R^2 为 0.807 2,表明人口数和人均 GDP 能解释四川省能源消耗碳足迹影响的 80.72%,而且在 0.05 水平上显著。

由图 5 可知,在 2000—2010 年,富裕度对环境压力的 EEIA 为正值且逐年降低,说明随富裕度增加环境压力将上升,富裕度对环境压力起正效应,但其影响效应却逐年降低。由于 $\ln A$ 的二次项系数出现了负值,说明环境压力与富裕度之间存在倒“U”型环境库兹涅茨曲线的变化趋势,即随富裕度的增长环境压力存在改善的趋势,但目前尚未到达拐点,能源消耗对环境所造成的压力仍在增大。

3 结论与建议

(1) 在能源方面,四川省能源消耗的总碳足迹年均增长率达 9.7%,呈较快上升趋势,到 2010 年达到 0.53 $\text{hm}^2/\text{人}$ 。能源消耗的碳足迹及其分配率以煤炭最大、石油次之、天然气最小,煤炭和天然气利用的碳足迹所占比例总体呈下降趋势,石油呈上升趋势。因此,建议:①逐步减少煤炭使用比例,充分利用当地丰富的水力及天然气资源,同时积极发展太阳能、生物质能等清洁能源;②制定并完善低碳

发展政策,鼓励发展低耗能、低排放产业,并引导企业进行 CO₂减排。

(2) 在产业方面,第二和第三产业能源消耗的碳足迹呈逐年上升趋势,但第二产业在总量中所占比例最大(达到 70%左右),第三产业占有率较小(12%左右)。因此,建议:①调整优化第二产业,大力发展高产值清洁型工业、绿色建筑等,提高工业和建筑行业节能减排力度;②大力发展生态农业和旅游业以及金融、保险、物流等服务业,不断提高第三产业比例。

(3) 在经济方面,碳足迹产值逐年增加,从 2000 年的 3.3 万元/hm² 上升至 2010 年的 5.5 万元/hm²,年均增长率为 5.2%,但碳足迹的生态压力也由 2000 年的 1.5 增大到 2010 年的 2.8,年均增长 6.4%。因此,建议:①鼓励企业采用先进技术,尤其是用高新技术改造落后工艺,提高能源转换和利用效率;②加快推进清洁发展机制(CDM)下的碳排放交易等,引导企业积极主动进行碳减排。

(4) 在环境方面,环境压力与富裕度之间存在倒“U”型环境库兹涅茨曲线的变化趋势,但目前尚未到达拐点,如果不改变现有能源利用方式,对环境所造成的压力将继续增加。因此,建议:①建立相应的考核体系,积极推动各行业、各部门的碳减排工作;②增大环保投资比例以及提高森林覆盖率等方式不断提高区域的碳汇能力。

参考文献:

- [1] 赵卫,刘景双,孔凡娥,等.城市化对区域生态足迹供需的影响[J].应用生态学报,2008,19(1):120-126.
- [2] IPCC. 气候变化 2007:政府间气候变化专门委员会第四次评估报告第一、第二和第三工作组的报告[R].日内瓦:IPCC,2007.
- [3] 赵宏宇,郭湘闻,褚筠.“碳足迹”视角下的低碳城市规划[J].规划师,2010,26(5):9-15.
- [4] WIEDMANN T, MINX J. A definition of carbon footprint. ISAUK research report 07-01,2008[R]. New York: Nova Science Publishers,2008.
- [5] 赵荣钦,黄贤金.基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J].地理研究,2010,29(9):1639-1649.
- [6] MATHIS W, WILLIAM E R. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers,1996.
- [7] WWF. Living planet report 2006[EB/OL]. (2007-04-17). <http://www.panda.org/news-facts/publications/living-planet-report/lp-2006/index.cfm>.
- [8] WWF. Living planet report 2012[EB/OL]. (2013-04-21). http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/2012_lpr/.
- [9] BARTHELMIE R J, MORRIS S D, SCHECHTER P. Carbon neutral biggar: calculating the community carbon footprint and renewable energy options for footprint reduction[J]. Sustain. Sci.,2008(3):267-282.
- [10] 王立猛,何康林.基于 STIRPAT 模型的环境压力空间差异分析——以能源消费为例[J].环境科学学报,2008,28(5):1032-1037.
- [11] 卢俊宇,黄贤金,陈逸,等.基于能源消费的中国省级区域碳足迹时空演变分析[J].地理研究,2013,32(2):326-336.
- [12] 邓宣凯,刘艳芳,李纪伟.区域能源碳足迹计算模型比较研究——以湖北省为例[J].生态环境学报,2012,21(9):1533-1538.
- [13] 陈勇,李首成,税伟,等.基于 EKC 模型的西南地区农业生态系统碳足迹研究[J].农业技术经济,2013(2):120-128.
- [14] 赵先贵,马彩虹,肖玲,等.北京市碳足迹与碳承载力的动态研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(10):8-12.
- [15] 李媛,齐拓野,谢应忠.基于植被碳吸收功能的宁夏能源消费碳足迹研究[J].宁夏大学学报:自然科学版,2011,32(3):266-270.
- [16] 韩艳莉,陈克龙,陈英玉,等.1990—2008 年青海省碳足迹动态变化研究[J].生态经济,2011(2):54-60.
- [17] 郭运功,汪冬冬,林逢春.上海市能源利用碳排放足迹研究[J].中国人口·资源与环境,2010,20(2):103-108.
- [18] 焦文献,陈兴鹏,贾卓,等.甘肃省能源消费碳足迹变化及影响因素分析[J].资源科学,2012,34(3):559-565.
- [19] 郑忠海,付林.城市建筑能源系统的碳足迹分析[C]//中国城市规划协会.2010 城市发展与规划国际大会论文集.重庆:重庆出版社,2010.
- [20] 田立新,钱佳玲.江苏省工业碳足迹研究及情景模拟[J].北京理工大学学报:社会科学版,2013,15(3):26-31.
- [21] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume II [EB/OL]. (2008-07-20). <http://www.ipcc.ch/ipccreports/Methodology-reports.htm>.
- [22] 国家气候变化对策协调小组办公室,国家发展和改革委员会能源研究所.中国温室气体清单研究[M].北京:中国环境科学出版社,2007.
- [23] 龙爱华,徐中民,王新华,等.人口、富裕及技术对 2000 年中国水足迹的影响[J].生态学报,2006,26(10):3358-3365.
- [24] 李智,鞠美庭,刘伟,等.中国 1996—2005 年能源生态足迹与效率动态测度与分析[J].资源科学,2007,29(6):54-60.

编辑:贺锋萍 (修改稿收到日期:2014-01-20)

(上接第 95 页)

总之,在进行第二轮清洁审核的过程中,要注意理论联系实际,在按照原有的程序框架进行审核的过程中,参考文中所提出的可落实的建议,并借鉴国内外的成功案例和先进经验,逐步完善我国的清洁生产审核体系,从而促进我国环境保护工作的发展。

参考文献:

- [1] 孙晓峰,李健,李晓鹏.中国清洁生产现状及发展趋势探析[J].环境科学与管理,2010,35(11):185-188.
- [2] 郭洪品,赵玉芬.有色金属企业的清洁生产绩效评价[J].经济论坛,2009(17):91-93.
- [3] 刘颖.钎行业清洁生产评价指标体系的构建及实例研究[D].西安:西北大学,2012.
- [4] 李美娟,陈国宏,陈衍泰.综合评价中指标标准化方法研究[J].中国管理科学,2004(12):45-46.

编辑:丁怀 (修改稿收到日期:2013-11-25)