

Analysis of Carbon Footprint Based on Energy Utilization in Hubei Province

Jianwu Huang, Xinxin Su, Yi Jie, Shuangna Jiao

School of Urban and Environmental Sciences, Huazhong Normal University, Wuhan
Email: wgzjhjw@163.com

Received: Feb. 27th, 2013; revised: Mar. 24th, 2013; accepted: Apr. 1st, 2013

Copyright © 2013 Jianwu Huang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: This paper analyzes carbon footprint based on energy utilization in Hubei Province adopting both qualitative and quantitative methods, and draws the following conclusions: 1) The carbon emissions showed a tendency to increase year by year in Hubei Province. The carbon emissions of coal occupied the largest proportion, followed by oil, with natural gas bringing up the rear in the three main fossil fuels, while the proportion of carbon emissions generated by biomass energy utilization presented a fluctuating downward trend. 2) The carbon footprint of Hubei's total energy use appeared a rising trend in fluctuation, accounting for 0.243 hm²/cap in 2010, with 0.149 hm²/cap more than that of 1990. The carbon footprint density was growing rapidly, which had reached 566.20 t/km² in 2010, almost three times of the amount in 1990. 3) While the economic value created by carbon footprint per unit energy utilization had been growing unceasingly, intensity of carbon footprint on energy use, namely energy consumption per unit GDP, had been declining constantly. That is, the benefits of energy use had been further improving continuously. 4) The calculated results of Ecological Pressure Intensity of Carbon Footprint (EPICF) indicated that the pressure on natural ecosystem caused by fast-growing economy was increasing. 5) There were significant differences between carbon footprint of various regions in Hubei Province, each of which was increasing in 2005-2010, and carbon footprint of major areas will be further enhanced with the rapid development of economy in Hubei. Both carbon emissions and carbon footprint in Wuhan are larger than those in any other district of Hubei province.

Keywords: Energy Utilization; Carbon Emissions; Carbon Footprint; Hubei Province

基于能源利用的湖北省碳足迹分析

黄建武, 苏欣欣, 揭毅, 焦双娜

华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉
Email: wgzjhjw@163.com

收稿日期: 2013年2月27日; 修回日期: 2013年3月24日; 录用日期: 2013年4月1日

摘要: 本文对基于能源利用的湖北省碳足迹进行了定性与定量相结合的分析, 得出以下结论: 1) 湖北省的碳排放量呈逐年增加的态势。煤炭的碳排放量所占的比重最大, 石油所占比重次之, 天然气的碳排放量是三种主要的化石能源中所占比例最小的, 而生物质能利用中所产生的碳排放比重呈波动下降趋势。2) 湖北省能源利用的总碳足迹呈现波动上升的趋势, 2010年达到0.243 hm²/人, 比1990年增加0.149 hm²/人。碳足迹密度增长速度很快, 到2010年已达566.20 t/km², 是1990年的将近3倍。3) 单位能源利用碳足迹所创造的经济价值不断增加的同时, 能源利用碳足迹强度即单位GDP的能耗也在不断下降, 能源利用的效益不断提高。4) 碳足迹生态压力计算结果表明, 经济的快速发展对自然生态系统造成的压力在不断增大。5) 湖北省各地区间的碳足迹差异很明显, 2005年至2010年各个地区的碳足迹均在增大, 随着湖北省经济的快速发展, 各大区域的碳足迹还将进一步增大。在各个地区中无论是碳排放量还是碳足迹都是武汉市最大。

关键词：能源利用；碳排放量；碳足迹；湖北省

1. 引言

随着全球经济规模的增长和人口数量的剧增，化石能源、生物能源等常规能源利用造成的环境问题日益突显。近年来，大气中的二氧化碳(CO₂)浓度升高，导致全球气候变化，已被公认为是人类破坏自然环境、利用常规能源以及不健康的生活方式所造成的严重后果。在此背景下，碳足迹、低碳发展等概念被提出。碳足迹(Carbon Footprint)一词最早由 Wackernagel 在“*Our Ecological Footprint*”一文中正式提出，通常是指人类生产和消费活动所产生的所有直接和间接的温室气体 GHG(Greenhouse Gas)的排放总量，一般用一定时间内的二氧化碳吨数(CO₂ 等价物)来表示^[1]；WRI/WBSD(世界资源研究所/世界可持续发展工商理事会)将碳足迹定义为三个层次：机构自身的直接碳排放、来自机构上一级能源供给部门的直接碳排放和来自供应链全生命周期的直接和间接碳排放。碳足迹作为一种新的应对气候变化和解决定量评价碳排放强度的研究方法，现已得到了国内外的普遍认可。低碳发展是可持续发展的一种具体模式，通过碳交易、节能减排等方式有效缓解全球变暖，其基本特征是低能耗、低排放、低污染，是尽可能地减少煤炭、石油等高碳能源利用，减少温室气体的排放，实现经济社会与自然生态环境保护双赢的发展形态^[2,3]。

湖北省作为我国“中部崛起”战略的重要省份，同时也是我国经济发展最快的省份之一，为了促使我国应对气候变化目标任务的完成，以及实现本省经济、环境、社会系统的协调发展，必将努力实行低碳发展。2010年7月，湖北及其它四省八市被国家发改委确定为全国低碳试点区域，对湖北省能源利用的碳足迹及其时空格局变化进行分析研究，具有极其重要的现实意义，同时也能为湖北打造“低碳省”的战略目标提供有价值的建议。

2. 研究区概况及研究方法

2.1. 研究区概况

湖北省是我国开发较早的省份之一。改革开放以来，湖北的经济发展进入高速发展阶段，1979年至

2008年湖北全省生产总值年均增长了10.5%，增幅比改革开放前高出了5个百分点。湖北省经济的快速发展建立在大量消耗能源的基础之上。虽然水能资源位于全国前列，但湖北省能源矿产资源严重短缺，属于典型的能源输入型地区。随着经济的快速发展，全省的能源消耗需求逐年攀升，湖北能源利用总量一直居于全国前10位，能源的生产量和消费量之间的差额也在不断增大，这使得能源需求矛盾日益突出^[4]。从能源消费结构看，湖北省能源消费主要以煤炭资源为主，2010年煤炭资源的消费量占能源总消费量的约68%，其次是石油，大约占能源消费总量的17%，而天然气的消费量仅占4%。随着经济社会的发展和人民生活水平的提高，湖北省的能源利用量还将继续增加，而由此所造成的减排和环保压力也会越来越大。

湖北省产业结构最突出的特征是以重化工工业为主，规模以上重工业产值可达73.8%^[5]，其能源利用总量占全省的80%以上。在湖北重工业中，传统的高耗能产业比重大，能耗水平高，而其产出的比重明显小于投入的比重。湖北省工业发展过程中的能源强度较高，能源利用效率偏低，单位GDP能耗是世界平均水平的2.3倍。近年来，湖北省新能源和可再生能源消费虽有所提高，但所占比重仍较低。社会生产中传统化石能源的大量利用，对环境的影响巨大，是造成湖北省大气污染和温室气体大量排放的主要原因。

2.2. 研究方法

2.2.1. 碳排放量计算

现阶段，湖北省利用的能源主要包括化石能源、电力、水能、生物质能、风能、太阳能。其中，利用量最大的能源种类除水能外，就是化石能源、电力和生物质能。而这几种能源又是含碳量很高的传统能源，在利用的过程中会产生大量的二氧化碳等温室气体。由于火力发电在其加工转换过程中所消耗的那部分煤炭资源量已经包含在工业能源消费总量中，为了避免重复计算，因此本文只计算以煤炭、石油、天然气为主的化石能源和生物质能等高碳能源的碳排放。

区域能源消费碳足迹的计算方法多种多样，包括碳汇法、净初级生产力改进模型和净生态系统生产力

改进模型^[6]。本文参考赵荣钦^[7]、卞晓红等^[8]的研究方法,构建了湖北省主要能源利用的碳排放模型,由此来计算基于能源消费的碳排放量。计算公式如下:

$$C = \sum_i C_i \quad (1)$$

公式(1)中, C 为能源利用的碳排放总量, C_i (i = 1, 2)分别表示化石能源和生物质能源利用过程中所产生的碳排放。各项的具体计算方法如公式(2), (3)所示。

$$C_1 = \sum_i E_i \times EF_i \quad (2)$$

公式(2)中, C₁ 表示化石能源利用碳排放总量, E_i 表示第 i 种能源的利用量, EF_i 表示第 i 种能源的碳排放系数, 本文采用国内不同学者的碳排放系数均值(表 1)。

$$C_2 = \sum_i B_i \times BF_i \times D_{bi} \quad (3)$$

公式(3)中, C₂ 表示生物质能利用中产生的碳排放总量, B_i 表示第 i 种能源(主要包括沼气、秸秆和薪柴三种能源)的利用量; BF_i 表示碳排放系数(本文采用几种化石能源碳排放系数的均值); D_{bi} 表示第 i 种能源的折标准煤系数(表 2)。

2.2.2. 碳足迹研究方法

碳足迹即某个人或者某个团体的“碳耗用量”,它指的是人们的能源利用行为对自然界造成的影响。碳足迹研究方法是对人类利用能源进行定量分析的工具之一,表示在一定的空间尺度内,人类所有的生产生活活动所消费的能源资源以及由此对生态环境所造成的影响。本文所涉及到的能源种类包括以煤炭、石油、天然气为主的化石能源和以秸秆、薪柴和沼气为主的生物质能源。在工农业生产和居民生活中对这些能源的利用会产生大量的碳排放,由此会对生态系统造成很大影响,所以要有足够的土地(主要是林地)吸收二氧化碳来抵消这一影响^[9,10]。

碳足迹研究中常用的量主要包括碳足迹密度、碳足迹产值、碳足迹强度以及碳足迹生态压力。

碳足迹密度表征的是单位面积土地所产生的碳足迹,通过碳足迹密度值的研究,可以看出某一区域经济活动密度的大小以及土地利用效率的高低,同时还可以分析其所面临的碳减排压力的大小。

碳足迹产值表征的是单位能源利用碳足迹所产

Table 1. Carbon emission coefficient of different fossil energy
表 1. 各类化石能源的碳排放系数

Date source 数据来源	Coal 煤炭	Oil 石油	Natural gas 天然气
汪刚	0.726	0.583	0.409
徐国泉等	0.7476	0.5825	0.4435
高树婷等	0.651	0.543	0.404
谭丹等	0.7329	0.5574	0.4426
何介南等	0.7194	0.5849	0.4036
王雪娜	0.703	0.5425	0.421
平均值	0.7133	0.5656	0.4206

Table 2. Coefficient of biomass energy amounts to standard coal
表 2. 生物质能折标煤系数

Type 类型	Biogas 沼气(kg/m ³)	Straw 秸秆(kg/kg)	Firewood 薪柴(kg/kg)
2005	0.714	0.458	0.571
2006		0.459	
2007		0.462	
2008		0.461	
2009		0.460	

注: 数据来源于 2006~2010 年《中国能源统计年鉴》。

生的经济价值,碳足迹产值越高,说明所研究区域经济发展状况越良好,单位能源利用的碳足迹所创造的经济价值越高。

碳足迹强度表征每生产一个单位 GDP 需要的能源利用碳足迹的面积,若碳足迹强度值比较大,说明生产单位 GDP 的能耗比较大,能源利用碳足迹的效益比较差。

碳足迹生态压力体现能源利用过程中所产生的碳排放对于自然生态系统所产生的压力大小。其值越大,表明压力越大;反之,则压力越小。

能源利用人均碳足迹计算方法为:

$$CF = CF_i = C_{e_i} / f_i \quad (4)$$

公式(4)中, CF 表示能源利用人均碳足迹; CF_i (i = 1, 2)分别表示化石能源和生物质能 2 大类能源的碳足迹; C_{e_i} 表示第 i 种能源的人均碳排放量; f_i 表示第 i 种能源的土地面积转换系数,即单位面积的林地(包括森林和草原)所吸收的二氧化碳量。具体计算过程是根据前文计算得到的各类能源利用过程中产生的碳排放量,利用其与土地转换系数(此处取值为 6.49 t/hm²)^[10]的比值计算得出各类能源利用的人均碳足迹^[11]。

碳足迹密度计算公式为:

$$CFD = C/Sa \quad (5)$$

公式(5)中, CFD 表示能源利用碳足迹密度; C 为能源利用碳排放总量; Sa 表示区域土地面积。

碳足迹产值计算公式为:

$$VCF = Ge/CF \quad (6)$$

公式(6)中, VCF 表示能源利用碳足迹产值; Ge 表示人均 GDP; CF 为能源利用的人均碳足迹。通过对 VCF 分析, 能够将某个区域的经济与能源和生态环境发展定量化处理, 从而探索其能源利用效益与发展趋势。

碳足迹强度计算公式为:

$$CFI = CF/Ge \quad (7)$$

公式(7)中, CFI 表示能源利用碳足迹强度; CF 表示能源利用的人均碳足迹; Ge 表示人均 GDP。

碳足迹生态压力的计算公式为:

$$EPICF = CF/Fa \quad (8)$$

公式(8)中, EPICF 表示能源利用碳足迹生态压力; CF 为能源利用的人均碳足迹; Fa 表示人均拥有的林地(包括森林和草原)面积。

3. 结果分析

3.1. 湖北省能源利用碳排放现状

根据前文碳排放量的计算公式以及湖北省 1990 年至 2010 年各种能源的利用量(表 3)分析湖北省的碳排放情况。

Table 3. Energy consumption of Hubei province during the year 1990-2010
表 3. 湖北省 1990-2010 年能源利用情况

产品 Product	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
原煤(万 t)	987.25	1255.34	2866.67	6629.10	6927.79	6549.55	6342.84	6681.74	7211.93
洗精煤(万 t)	277.56	398.86	555.85	956.93	914.29	1134.86	1137.75	1218.19	1355.22
其他洗煤(万 t)	2.01	2.76	4.13	2.94	1.02	5.20	20.05	6.42	14.87
型煤(万 t)	0.79	1.02	1.89	13.58	6.46	32.08	2.81	2.71	12.65
焦炭(万 t)	381.79	491.15	456.84	800.82	789.95	810.30	952.27	904.60	1120.83
原油(万 t)	508.55	511.36	660.31	824.44	851.49	907.94	838.66	947.28	1022.26
汽油(万 t)	110.45	152.36	11.34	26.55	34.27	14.12	16.92	15.94	18.36
煤油(万 t)	12.15	14.93	1.14	5.41	2.34	1.02	0.85	1.27	1.49
柴油(万 t)	165.66	209.11	28.57	52.21	51.67	42.89	42.76	42.51	47.72
燃料油(万 t)	132.31	125.26	49.92	56.47	36.03	29.95	25.48	17.35	12.46
其他石油制品 (万 t)	279.96	213.58	100.33	35.10	68.31	74.10	58.13	92.16	126.13
液化石油气 (万 t)	2.36	3.49	4.33	4.81	5.49	6.43	5.32	3.01	3.43
炼厂干气 (万 t)	7.08	9.21	15.08	31.83	34.78	34.92	32.93	33.58	36.45
天然气 (亿 m ³)	0.58	0.76	0.2	3.94	7.65	5.43	6.79	6.90	10.37
焦炉煤气 (亿 m ³)	7.32	8.91	16.65	29.00	28.07	28.37	31.36	36.65	40.13
其他煤气 (亿 m ³)	0.17	0.20	0.03	6.15	23.76	22.16	22.50	21.64	26.38
生物质能 (万吨标准煤)	853.52	907.04	1123.17	952.11	1009.86	1041.82	1060.03	1126.56	1277.71
居民生活用能 (万吨标准煤)	756.06	756.14	737.25	1170.62	1281.39	1419.17	1471.48	1536.39	1556.38
合计 (万吨标准煤)	3879	5493	6098	9082	10056	10142	11643	12056	12708

注: 数据来源于 2011 年《湖北省统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》。

1990年至2010年湖北省能源利用的碳排放总量呈增加的态势,碳排放总量从1990年的3461.88万吨上升到2010年的9678.87万吨,涨幅高达180%(图1)。在研究时序内,各类能源利用产生的碳排放总量具有明显的阶段性,1990年至2000年是碳排放总量平稳增长阶段,2000年至2005年是碳排放量急速增长阶段,2005年至2010年则是碳排放缓慢增长阶段,其中2008年的碳排量反升为降。

在能源利用碳排放总量的构成方面,煤炭的碳排放量所占的比重一直最大,除1990年外,一直维持在60%以上;石油所占比重次之,自1995年以来一直在20%左右;天然气的碳排放量是三种主要的化石能源中所占比例最小的,但近几年出现了缓慢增加的趋势(图2)。而生物质能源所产生的碳排放比重呈波动下降趋势,其中2000年至2005年之间,生物质能的碳排放量迅速下降。2010年煤炭、石油、天然气和生物质能的碳排放量占总碳排放量的比重分别为64.95%、21.91%、3.77%和9.37%,其中煤炭和天然气消费的碳排放与20年前相比分别上升了8.11个百分点和1.32个百分点,而生物质能尤其是秸秆和薪柴的利用量减少,使得生物质能利用产生的碳排放量占总碳排放量的比重有所下降。

3.2. 湖北省能源利用碳足迹分析

3.2.1. 能源利用人均碳足迹

运用公式(4)及前文的分析结果,计算了1990年至2010年的21年来湖北省主要能源利用的碳足迹。

在各种能源的人均总碳足迹方面,1990~2010年呈现波动上升的趋势(图3)。1990~2000年总碳足迹处于稳步增加阶段,从0.094 hm²/人上升到0.141 hm²/人,十年间增幅为50%。2000年以后增长速度加快,至2005年人均总碳足迹增长到了0.188 hm²/人,仅五年时间增幅就已经达到约35%。2005年之后又处于平稳增长阶段,2008年为一个小的转折年,总碳足迹出现了下降,2010年又恢复增加趋势,并且达到0.243 hm²/人的最高值,比最低时的1990年多出0.149 hm²/人,是1990年的2.6倍。1990年至2000年,由于全国经济紧缩政策的实施,使得湖北省的经济也受到了影响,煤炭等主要化石能源的消耗量增长缓慢,除此之外,20世纪末的亚洲金融危机也进一步抑制了经济

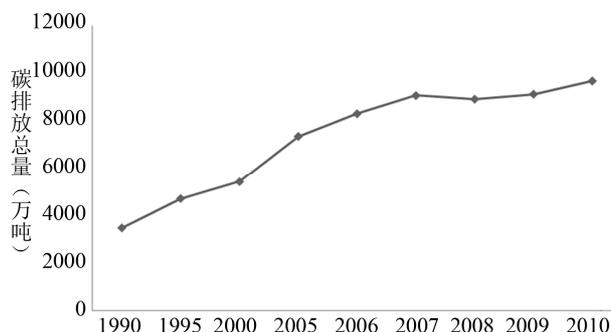


Figure 1. Total amount of carbon emission from energy utilization in Hubei during 1990-2010

图 1. 1990~2010 年湖北省各类能源利用碳排放总量

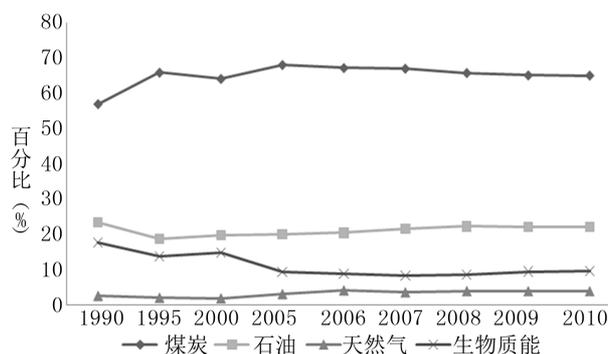


Figure 2. The percentage of carbon emission from different energy in the total carbon emissions during 1990-2010

图 2. 1990~2010 年各类能源碳排放量在总碳排放量中所占比例

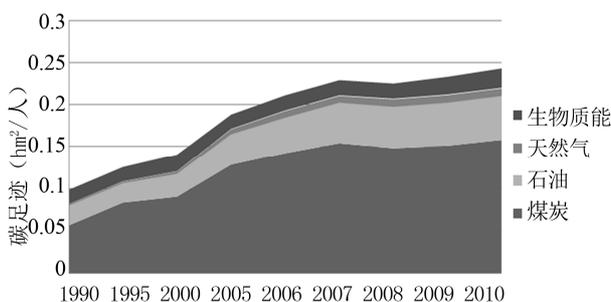


Figure 3. Carbon footprint of energy utilization in Hubei province during 1990-2010

图 3. 1990~2010 年湖北省能源利用的碳足迹

的快速发展,能源利用量增幅随之放缓。但是,随着第十个五年计划的到来,湖北省经济得到了快速发展。工业方面“三个三工程”、八大行业战略性调整及高新技术产业化的大力推进,使得社会经济快速增长,带动了能源的大量消耗,致使能源利用的碳足迹不断增加,同时房地产业的加速发展及私家车的大量增加也拉动了湖北全省对能源的需求。2005年以后湖北省经济仍处于平稳较快发展阶段,能源利用总量也处于稳定增加的状态,但是由于2008年最主要的碳

排放能源——煤炭利用的减少,使得总碳足迹有所下降。综合上述各方面的因素,湖北省能源利用人均总碳足迹出现了波动上升的态势。

在能源利用总碳足迹的分配率方面,1990年~2010年,煤炭利用所产生的碳足迹都是各种能源中最高的,所占比例呈波动上升的趋势,由1990年的59.6%上升到2010年的65.0%,增加了4.4个百分点。在各种能源利用过程中产生的碳足迹居第二位的是石油,其所占比例虽有所下降,但也一直维持在20%以上。总体来看,煤炭、石油和天然气三种化石能源利用的碳足迹占总碳足迹的比重逐年增加,由1990年的81.9%上升到2010年的90.5%,其主导地位在逐渐增强。与之相反的生物质能产生的碳足迹的比重,自1990年至2007年呈现直线下降趋势,从18.1%下降到6.3%,但是2007年以后又开始快速增加,到2010年已达到9.5%。

由此可见,在湖北省能源利用的碳足迹中煤炭和石油的碳足迹比重依然很大,而以天然气和沼气为代表的清洁能源贡献率过低,湖北省的能源结构长期得不到优化,在一次能源中煤炭的比重始终很高,天然气和沼气等清洁新型能源所占比例很小。虽然湖北省高度重视可再生能源和新能源产业的发展,并将其列为战略性新兴产业,并且部署制定了一系列新能源发展规划与相关扶持政策,但是预计在较长的一段时期内,煤炭和石油资源仍然将是湖北省最主要的能源消费种类,其利用过程中所产生的碳足迹也将是湖北省能源利用碳足迹中的主要部分。“十一五”期间,湖北省试图优化能源消费结构,大力发展可再生能源和新能源项目(含风电、核电、秸秆发电、太阳能发电、沼气发电等),提高清洁能源在湖北省能源结构中的比例,减少对煤炭和石油等高碳排能源的消费量,但是根据上述分析以及实践证明,这个目标并未完全实现。

3.2.2. 能源利用碳足迹密度

运用公式(5)和前文碳排放量分析结果,计算得出

1990年~2010年湖北省能源利用的碳足迹密度。数据显示,近21年来,湖北省能源利用碳足迹密度逐渐增大,且增长速度很快,到2010年已达566.20 t/km²,是1990年的将近3倍(表4)。可以看出湖北省经济活动的密度越来越大,土地利用效率逐渐升高,同时其所面临的碳减排压力也在逐渐加大。湖北省的能源利用碳足迹密度与我国其他省市相比还处于中下水平,但是随着经济社会的发展以及居民生活水平的提高,湖北省能源利用的碳足迹密度还将继续增大。

3.2.3. 能源利用碳足迹产值与强度分析

运用公式(6)及《湖北省统计年鉴》中国民生产总值数据,对湖北省1990年至2010年能源利用的碳足迹产值进行定量化处理。

计算结果显示:1990年以来,湖北省能源利用的碳足迹产值呈现明显的增加态势(图4),2010年的碳足迹产值为7.96万元/hm²,与1990年的1.31万元/hm²相比,增加了6.65万元/hm²,是1990年的5.6倍。碳足迹产值的变化可以分为三个阶段:1990年~2005年为快速增长阶段,碳足迹产值从1.31万元/hm²增加到5.18万元/hm²,比1990年翻了两番;2005年~2007年为平稳增长阶段,这一期间的碳足迹产值虽有所增加,但增速缓慢;2007年至2010年又开始进入迅速增长阶段,从5.98万元/hm²增加到7.96万元/hm²,短短两年时间增幅达33%。以上分析数据表明,近20年来,湖北省经济发展良好,能源的利用效率不断提高,单位能源利用碳足迹所创造的经济价值也在不断增加。

根据能源利用碳足迹计算方法,对湖北省1990~2010年碳足迹强度进行了计算分析。湖北省近21年来的能源利用碳足迹强度走势良好,1990年的碳足迹为0.69 hm²/万元,是21年以来的最高值;最低值是2010年的0.12 hm²/万元,1990年是2010年的5.8倍(图4)。这足以证明近21年来湖北省能源利用效率得到了极大的提高,生产单位GDP所需能耗大幅下降,能源碳足迹的效益越来越好。

Table 4. Carbon footprint density of energy utilization in Hubei province during 1990-2010
表 4. 1990年~2010年湖北省能源利用碳足迹密度

	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
碳足迹密度 (t/km ²)	190.50	257.70	315.20	460.23	502.87	500.78	520.31	540.82	566.20

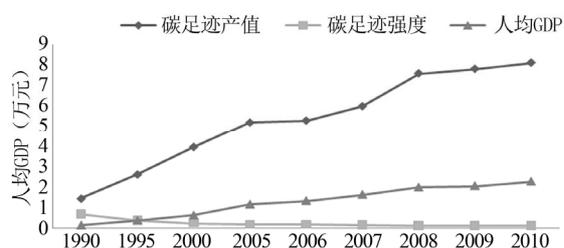


Figure 4. Relationship between value of carbon footprint of energy use, intensity of carbon footprint, and per capita GDP in Hubei province

图 4. 湖北省能源利用碳足迹产值、碳足迹强度与人均 GDP 增长关系

3.2.4. 能源利用碳足迹的生态压力分析

运用公式(8)及湖北省 1990 年~2010 年人均拥有林地(包括森林和草地)面积有关数据, 计算得到近 21 年湖北省能源利用碳足迹对生态系统的压力指数。自 1990 年至 2010 年碳足迹对生态系统的压力一直呈增加的趋势(图 5), 1990 年的压力值为 0.62, 但自 1995 年以后, 压力值均超过 1, 说明湖北省的能源利用碳足迹面积已经超过了林地面积。1995 年至 2005 年的十年间是碳足迹对生态系统压力迅速增加的时期, 这主要是由于湖北省在第九个五年计划和第十个五年计划期间经济得到了迅猛发展, 能源消耗量也大幅增加, 从而对生态系统造成了巨大的压力。2005 年至 2010 年碳足迹对生态系统的压力仍在逐年增加, 但增幅降低, 至 2010 年压力值达到 2.56。由此可见, 随着经济的不断发展, 能源的利用量不断增加, 湖北省能源消费对于自然环境所造成的压力也越来越大。近几年来, 虽然植树造林、退耕还林还草面积有所增加, 但是远远不能抵消由于大量的能源消费所产生的碳足迹的增加量, 这也是湖北省在未来经济发展中不得不面临的挑战。

3.3. 湖北省碳足迹水平时空格局分析

通过对湖北省各地区的碳排放量的计算, 分析各个地区的碳足迹自 2005 年至 2010 年的变化情况以及地区之间碳足迹的时空格局。由此, 不仅可使湖北省各地市的碳足迹空间差异变得可视化, 同时还能分析各个区域碳足迹的空间分布以及时间变化规律。这将为湖北省经济社会的快速发展和实现打造“低碳省”的战略目标提供理论依据。

3.3.1. 湖北省碳足迹水平时空格局分析

2005 年至 2010 年间, 湖北省的人均碳足迹空间

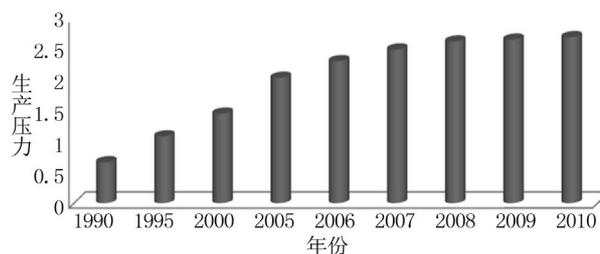


Figure 5. Ecological pressure of carbon footprint of energy use in Hubei during 1990-2010

图 5. 1990 年~2010 年湖北省能源利用碳足迹生态压力

格局发生了比较大的变化(图 6)。在 2005 年, 这一时期最大的特点是全省各市、州的人均碳足迹都比较小, 除武汉市($0.418 \text{ hm}^2/\text{人}$)外, 其它各个地区的碳足迹均少于 $0.400 \text{ hm}^2/\text{人}$, 并且各市、州的碳足迹水平无明显差距(如图 6(a)所示)。在 2008 年, 经过了三年的经济社会快速发展之后, 湖北省各地区的碳足迹水平都有所提高, 并且逐渐呈现出比较明显的差距。其中, 武汉市的人均碳足迹最大, 达到了 $0.622 \text{ hm}^2/\text{人}$, 碳足迹最小的地区是恩施自治州, 人均碳足迹值只有 $0.076 \text{ hm}^2/\text{人}$, 二者相差 8 倍多。其它地区的人均碳足迹值都呈上升趋势, 碳足迹超过 $0.400 \text{ hm}^2/\text{人}$ 的地区, 除武汉市外, 还包括宜昌、黄石、荆门、鄂州和潜江五个地区。恩施、天门、随州等地区的碳足迹则继续保持在 $0.200 \text{ hm}^2/\text{人}$ 以下(如图 6(b)所示)。2008 年至 2010 年, 随着“中部崛起”战略的实施, 湖北省的经济得到了快速发展, 各种能源尤其是一次能源的利用量快速增长, 各地区碳排放量的增速明显加快。其结果是, 各地区的人均碳足迹明显增加。与 2005 年相比, 人均碳足迹大于 $0.400 \text{ hm}^2/\text{人}$ 的地区, 由原来的武汉市一个地区, 增加到 7 个地区, 其中宜昌、武汉、鄂州 3 个地区的碳足迹超过了 $0.600 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。相反, 碳足迹小于 $0.200 \text{ hm}^2/\text{人}$ 的地区, 由原来的 10 个地区, 减少到只剩下恩施、天门、随州、荆州和黄冈 5 个地区(如图 6(c)所示)。

可以发现, 碳足迹水平与经济发展状况具有明显的相关性。这是因为, 经济发展水平比较高的地区能源的利用量比较大, 所以具有较高的碳排放量, 相应的碳足迹水平也比较高。比如, 武汉市作为湖北省的政治经济文化中心和中部地区最重要的城市之一, 其经济发展水平是全省最高的, 同时其人均碳足迹值也是最大的。与此同时, 恩施等地区的经济发展相对缓慢, 故其碳足迹水平也比较低。但是, 各个地区的碳

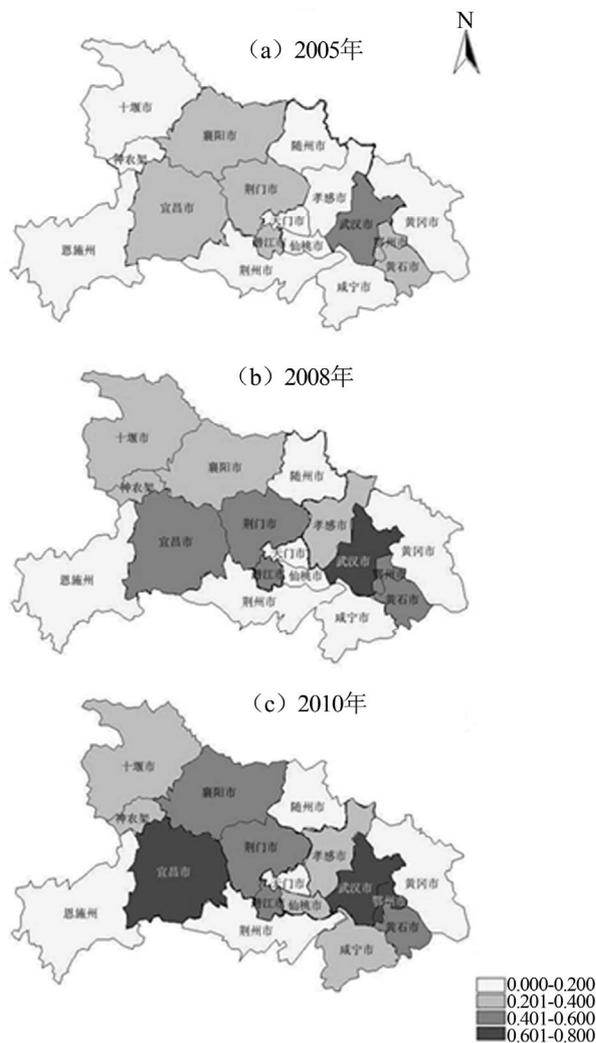


Figure 6. Carbon footprint pattern change in each area of Hubei (unit: $hm^2/capita$)
 图 6. 湖北省各地区碳足迹格局变化(单位: $hm^2/人$)

足迹水平与其经济发展状况又不呈正相关关系, 其原因是, 影响区域碳足迹水平的, 除了经济发展状况外, 还包括产业结构、能源利用效率及能源结构、土地利用类型、人口规模和城市化等多种因素。

3.3.2. 湖北省区域碳足迹的演化趋势分析

20 世纪 80 年代, 湖北省为了促进经济快速的发展, 积极探索以大中城市为中心带动周边地区发展的经济发展道路, 于自 1983 年以后, 提出了“四区一中心”的经济发展战略^[12]。“四区”即在全省建立鄂东、鄂中南、鄂西南和鄂西北 4 个基本的经济区; “一中心”即以省会武汉为经济发展中心。其中, 武汉的地理位置虽属鄂东地区, 但因其特殊的政治经济地位将其单独划分, 故武汉经济中心包括其所辖的 7 个中

心市区和 6 个郊区; 鄂东经济区包括鄂州、黄石、孝感、黄冈和咸宁五个地区, 多为低山丘陵; 鄂中南经济区包括荆门、荆州、仙桃、潜江和天门五个地区; 鄂西南经济区即指今宜昌和恩施自治州两个地区; 鄂西北经济区则包括十堰、襄阳、随州和神农架林区五个地区。在本文的研究中仍采用上述区域的划分方法, 即将湖北省划分为武汉市、鄂东地区、鄂中南地区、鄂西南地区以及鄂西北地区五大区域。

根据碳足迹计算方法及前文成果对湖北省的区域能源利用碳足迹演化趋势进行定量分析。从 2005 年至 2010 年, 湖北省的武汉市、鄂东地区、鄂中南地区、鄂西南地区和鄂西北地区五大区域的能源利用碳足迹可以比较明显的分为两种增长类型和两个增长阶段。2005 年至 2010 年, 武汉市和鄂东地区的碳足迹均呈现逐年增长的态度, 而鄂中南、鄂西南和鄂西北地区呈现波动上升的趋势(图 7)。总体来说, 湖北省五大区域在 2007 年以前能源利用碳足迹均为逐年增加, 且增幅平稳, 2007 年鄂西南地区的碳足迹开始下降, 2008 年后又重新开始增加; 鄂中南和鄂西北地区的碳足迹下降的时间则出现在了 2008 年, 之后又再次上升。

可以发现, 在 2005 年至 2010 年间, 湖北省五大区域中能源利用碳足迹水平最高的地区为武汉市, 其次是鄂东地区和鄂西南地区, 碳足迹水平比较低的地区为鄂中南地区和鄂西北地区。其实, 武汉市与湖北省其他四大区域相比, 无论是能源利用碳足迹还是碳排放总量都是最高的。形成这种格局的最主要原因就是武汉市是湖北省乃至整个中部地区极其重要的城市, 发挥着举足轻重的作用, 同时由于近年来武汉城市经济圈的快速发展, 对能源的需求量大幅增加, 但是能源利用技术和新能源的开发状况与经济发展速度相比相对落后, 且武汉市的能源结构仍然是以煤炭和石油等传统的高碳排放化石能源为主体, 仍然背负着沉重的环境治理包袱。正因为如此, 要想降低武汉市乃至湖北省的能源利用碳足迹, 必须提高能源利用效率, 改善能源利用结构, 开发利用清洁能源, 发展低碳经济。

4. 结语

通过以上研究, 可以得出以下结论: 1) 湖北省的碳排放量呈逐年增加的态度。煤炭的碳排放量所占

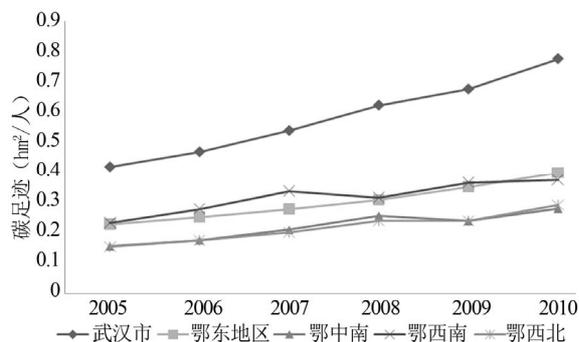


Figure 7. Evolution trend of carbon footprint of energy use in five regions of Hubei province

图 7. 湖北省五大区域能源利用碳足迹演化趋势

的比重最大,石油所占比重次之,天然气的碳排放量是三种主要的化石能源中所占比例最小的,而生物质能利用中所产生的碳排放比重呈波动下降趋势。2) 湖北省能源利用的总碳足迹呈现波动上升的趋势,2010年达到 $0.243 \text{ hm}^2/\text{人}$,比1990年增加 $0.149 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。碳足迹密度增长速度很快,到2010年已达 $566.20 \text{ t}/\text{km}^2$,是1990年的将近3倍。3) 单位能源利用碳足迹所创造的经济价值不断增加的同时,能源利用碳足迹强度即单位GDP的能耗也在不断下降,能源利用的效益不断提高。4) 碳足迹生态压力计算结果表明,经济的快速发展对自然生态系统造成的压力在不断增大。5) 湖北省各地区间的碳足迹差异很明显,2005年至2010年各个地区的碳足迹均在增大,随着湖北省经济的快速发展,各大区域的碳足迹还将进一步增大。在各个地区中无论是碳排放量还是碳足迹都是武汉市最大。

湖北省要实现低碳发展,必须转变经济发展模式,改变传统的粗放型经济增长方式,依靠科技进步、

提高经营管理和劳动效率、实现规模效益,使经济结构向能源节约型和集约化方向转变;充分利用丰富的水能资源、太阳能资源、生物质能、风力资源等,优化能源利用结构;通过增加开放度、引进并且推广先进的节能技术和生产技术,提高能源利用效率。还可以通过引导合理的居民消费模式、发展低碳融资、发挥森林碳汇潜力、加强生态建设等促进低碳社会的发展。

参考文献 (References)

- [1] M. Wackernagel, W. Rees. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth. Philadelphia: New Society Publishers, 1996.
- [2] 耿涌,董会娟等. 应对气候变化的碳足迹研究综述[J]. 中国人口[J]. 资源与环境, 2010, 20(10): 6-12.
- [3] 陈红敏. 中国建立基于强度限制的碳交易市场的关键词研究[J]. 可持续发展, 2012, 2: 6-12.
- [4] 万庆,郭文伯,龚胜生. 2001~2009年湖北能源消费的时空格局及其影响因素[J]. 资源开发与市场, 2011, 27(10): 920-923.
- [5] 李克勤,魏尚平,彭薇. 能源消费与经济增长关系分析及建议[N]. 湖北日报, 2010-04-08.
- [6] 邓宣凯,刘艳芳,李纪伟. 区域能源碳足迹计算模型比较研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(9): 1533-1538.
- [7] 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.
- [8] 卞晓红,张绍良,张韦唯等. 区域能源利用的碳足迹及其对生态经济影响分析[J]. 环境保护与循环经济, 2011, 31(1): 42-46.
- [9] 李智,鞠美庭,刘伟等. 中国1996年~2005年能源生态足迹与效率动态测度分析[J]. 资源科学, 2007, 29(6): 54-60.
- [10] 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.
- [11] 王卉彤,王妙平. 中国30省区碳排放时空格局及其影响因素的灰色关联分析[J]. 中国人口资源与环境, 2011, 21(7): 140-145.
- [12] 廖长林,秦尊文. 湖北区域经济发展战略的历史考察[J]. 湖北社会科学, 2008, 1: 83-87.