

湖南省能源消费碳足迹的动态演化与空间差异分析

赵先超, 滕洁, 周跃云

湖南工业大学低碳城市研究所, 株洲 412007

摘要 能源消费是诱发全球气候变化的主要因素之一,对能源消费引致的碳足迹及生态压力进行研究具有重要意义。应用能源消费碳足迹相关研究模型,计算得出2005—2010年湖南省能源消费的碳足迹、碳生态承载力和碳生态压力指数,在此基础上进行了湖南省能源消费碳足迹的动态演化与空间差异分析。研究结果表明:1) 2005—2010年,湖南省能源消费碳足迹总体呈上升趋势,由2005年的2242.57 hm²上升至2010年的2835.23 hm²;2) 2005—2010年,湖南省碳生态承载力变化较小,其生态承载力基本在1880 hm²左右;3) 湖南省能源消费碳足迹生态环境压力的空间差异较大,其中高度生态承载区包括邵阳、永州、怀化、张家界与湘西5市州,中度生态环境压力区包括岳阳和衡阳2城市,轻度生态环境压力区包括长沙和益阳2城市,一般过渡区包括常德、郴州和株洲3城市,重度生态环境压力区包括娄底和湘潭2城市。

关键词 能源消费碳足迹;动态演化;空间差异;湖南省

诸多科学研究表明,能源消耗引致的二氧化碳增加是造成全球气候变暖的一个重要原因,对全人类的生存和整个社会的协调、可持续发展构成了严峻的挑战^[1-2]。在这种背景下,如何控制和减少碳排放,如何减缓和适应全球气候变暖问题等已成为各国政府和学者共同关注的焦点^[3-4]。生态足迹(ecological footprint)是以生产性土地面积指标度量人类的资源消费和废物吸收水平,用以衡量自然资源利用可持续性以及区域环境可持续发展的一种重要评估方法^[5],现已成为国际公认的评估区域自然资源消耗的科学方法。碳足迹概念是在生态足迹概念的基础上发展而来的,主要是衡量生产某一产品在其生命周期所直接或间接排放的二氧化碳量及其他温室气体转化的二氧化碳等价物的重要指标。从这个意义上讲,碳足迹能够反应人类的某项活动或某种产品对生态环境的压力程度,已经成为国内外普遍认可的用于应对气候变化、定量评价碳排放强度的研究方法,但检索国内外相关文献显示,生态足迹法应用到区域能源消费碳排放领域的研究成果仍然偏少。本文即以此为切入点,以中部典型省份湖南省为例,借鉴应用能源消费碳足迹相关研究模型,计算得出2005—2010年湖南省能源消费的碳足迹、碳生态承载力和碳生态压力指数,在此基础上进行湖南省能源消费碳足迹的动态演化与空间差异分析。

1 研究区概况

湖南省为中部6省之一,地处108°47'E~114°15'E,24°38'N~30°08'N,东西667 km,南北774 km,土地总面积211829 km²,占全国土地总面积的2.21%。湖南省现辖长沙、株洲、湘潭、衡阳、岳阳、常德、张家界、益阳、郴州、永州、怀化、邵阳、娄底与湘西土家族苗族自治州14个市州。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

能源消费碳足迹计算主要基于能源消费所引致的碳源,以及林地碳汇进行测算。其中,能源消费碳排放测算主要应用碳排放系数法进行,具体是采用美国橡树岭国家实验室的碳排放测算缺省方法。能源消费碳排放的具体测算方法、测算模型、测算过程与测算结果详见参考文献[6]和[7]。

1) 林地、草地碳汇的测算方法。

对于碳汇的测算,本文仅考虑植物光合作用作为陆地生态系统的碳汇(不包含耕地和园地中的农作物对二氧化碳的吸收)。参考谢鸿宇的前期研究成果^[8],森林和草原对碳的吸收分配比例为82.72:17.28,即可看作1 t碳中0.8272 t由森林吸收,0.1728 t由草原吸收,则区域碳汇能力的计算模型为

收稿日期:2015-08-30;修回日期:2016-11-17

基金项目:湖南省自然科学基金项目(2016JJ3055);国土资源部资源环境承载力评价重点实验室开放课题(CCA2016.13);教育部人文社科规划基金项目(12YGA790215)

作者简介:赵先超,副教授,研究方向为资源开发与区域低碳发展,电子邮箱:zhaoxianchao1983@163.com

引用格式:赵先超,滕洁,周跃云.湖南省能源消费碳足迹的动态演化与空间差异分析[J].科技导报,2016,34(24):110-114;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.24.016

$$CA = Aera_j \cdot NEP_j + Aera_g \cdot NEP_g \quad (1)$$

式中, CA 为不同土地利用方式碳的吸收量, 万 t; $Aera_j$ 和 $Aera_g$ 为区域森林和草地的面积, hm^2 ; NEP_j 和 NEP_g 为森林和草地的碳净积累量, 仍采用谢鸿宇等^[8]的研究成果, 取值分别为 3.809592 和 0.949483 t/hm^2 。

2) 碳足迹测算方法。

碳足迹可以定义为吸纳人类活动排放二氧化碳所需要的生物性土地面积, 可用以衡量区域生态承载力和人类经济活动对自然界的影响。参考卢俊宇等^[9]的研究成果, 碳足迹、碳生态承载力与碳赤字的计算方法为

$$CFT = CE \cdot \left(\frac{Per_j}{NEP_j} + \frac{Per_g}{NEP_g} \right) \quad (2)$$

$$CES = CA \cdot \left(\frac{Per_j}{NEP_j} + \frac{Per_g}{NEP_g} \right) \quad (3)$$

$$CED = CFT - CES \quad (4)$$

式中, CFT 为区域化石能源消费碳足迹, hm^2 ; CE 为区域能源消费碳排放总量, 万 t; Per_j 和 Per_g 为森林和草地吸收碳的份额, 分别为 0.8272 和 0.1728^[8]; CES 为区域化石能源消费碳生态承载力, hm^2 ; CA 为区域碳汇, 万 t; CED 为区域化石能源消费碳生态赤字, hm^2 。

3) 能源消费碳足迹压力指数测算方法。

为衡量人类社会活动特别是化石能源消费对区域生态系统的影响, 借鉴引入能源消费碳足迹压力指数模型^[9], 其测算模型为

$$CBI = CE/CA \quad (5)$$

式中, CBI 为区域能源消费碳足迹压力指数。

2.2 数据来源

本文涉及的统计数据主要包括能源消费数据、土地利用数据等。其中, 湖南省能源消费数据主要来源于相应年份《中国能源统计年鉴》中的湖南省能源平衡表。湖南省各市州能源消费数据主要来源于相应年份《湖南省统计年鉴》中的“规模以上工业企业综合能源消费量”及“规模以上工业企业主要能源品种消费量”。湖南省各市州土地利用数据主要来源于湖南省相关年份的土地利用变更调查资料和数据。

3 结果与分析

3.1 湖南省能源消费碳足迹动态演化趋势与影响因素分析

3.1.1 动态演化趋势分析

根据能源消费碳足迹测算公式, 结合 2005—2010 年湖南省能源消费碳排放数据, 森林、草地等土地利用数据, 计算得出湖南省能源消费碳足迹、生态承载力、碳赤字和生态环境压力指数(图 1、图 2)。

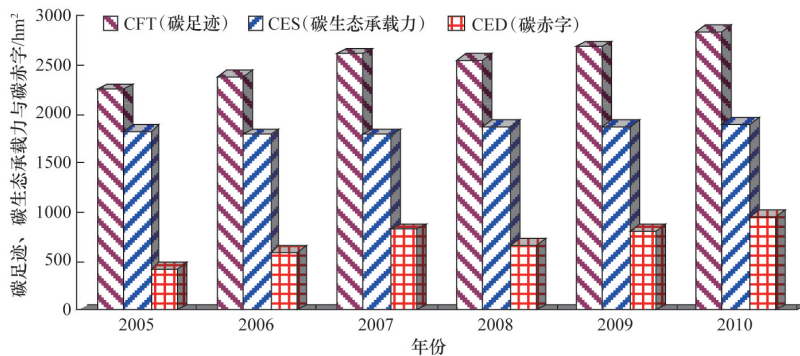


图 1 2005—2010 年湖南省能源消费碳足迹、生态承载力与碳赤字

Fig. 1 Energy consumption carbon footprint, ecological carrying capacity and carbon deficit of Hunan Province from 2005 to 2010

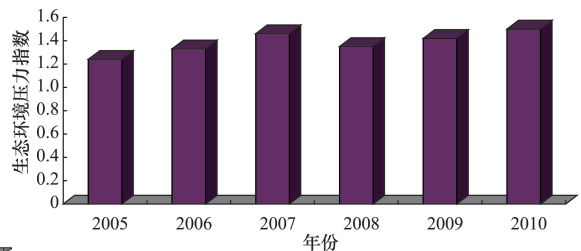


图 2 2005—2010 年湖南省能源消费碳足迹生态环境压力指数

Fig. 2 Ecology environment pressure index of energy consumption carbon footprint of Hunan Province from 2005 to 2010

由图 1 和图 2 可知, 2005—2010 年湖南省能源消费碳足迹总体呈上升趋势, 由 2005 年的 2242.57 hm^2 上升到 2010 年的 2835.23 hm^2 ; 湖南省碳生态承载力变化趋势较小, 其生态承载力基本在 1880 hm^2 左右, 这主要是因为同期湖南省能源消费碳排放总体上有较快增长, 而同期区域碳汇上升幅度较小。同时, 2005—2010 年湖南省碳赤字总体呈现上升趋势, 由 2005 年的 430.43 hm^2 上升到 2010 年的 946.99 hm^2 ; 湖南省能源消费碳足迹压力指数也在总体上呈现出上升趋势, 由 2005 年的 1.24 上升到 2010 年的 1.50。

具体到 2010 年, 湖南省能源消费碳足迹为 2835.23 hm^2 ,

而陆地生态系统生物性土地面积所能承载的碳生态承载力仅为 1888.25 hm^2 , 碳赤字面积达到 946.99 hm^2 , 超过区域能源消费碳生态承载力的一半以上(50.15%)。

3.1.2 影响因素分析

能源消费碳排放 Kaya 公式表明, 能源消费碳排放主要受人口、经济、产业结构、能源结构等因素影响。从这个角度出发, 本文主要运用相关系数法分析湖南省能源消费碳足迹与人口(用城市化率及总人口 2 个指标表示)、经济(用经济总量及人均 GDP 2 个指标表示)、产业结构(用第二产业结构所占比重指标表示)、能源结构(用煤品消费所占比重指标表示)

以及技术进步(用单位GDP能耗指标表示)等因素之间的关联关系(为消除因序列的不平稳性带来的误差,对各序列采取对数处理,相关原始数据见表1)。

相关系数分析表明(相关系数矩阵见表2),湖南省能源消费碳足迹(Y)与城市化率(X_1)、总人口(X_2)、GDP(X_3)以及人均GDP(X_4)、第二产业结构所占比重(X_5)等呈现正相关,其相关性系数分别是0.935、0.885、0.957、0.954以及0.940。从

相关性(绝对值)看,与湖南省能源消费碳足迹呈现相关性的分别是GDP、人均GDP、第二产业结构所占比重、城市化率及总人口,这说明当前较长一段时间,降低湖南省能源消费碳足迹,提高湖南省能源消费碳承载力的重点是大力发展低碳经济、有效实施绿色消费、积极推进产业结构优化调整、加快推进新型城镇化步伐,而相对来讲,人口基数的提高对湖南省能源消费碳足迹的影响较小。

表1 2005—2010年湖南省能源消费碳足迹相关指标原始数据

Table 1 Original data of Energy consumption carbon footprint of Hunan Province from 200 to 2010

年份	Y/hm ²	人口因素		经济因素		产业因素	能源因素	技术因素
		X_1 /%	X_2 /万人	X_3 /亿元	X_4 /元	X_5 /%	X_6 /%	X_7 /(吨标准煤/万元)
2005	2242.57	37.00	6732.10	3185.58	4952.99	39.60	68.51	1.47
2006	2374.12	38.70	6787.10	3593.30	5507.88	41.50	66.37	1.42
2007	2605.31	40.45	6805.70	4132.36	6317.64	42.10	67.59	1.36
2008	2542.72	42.15	6845.20	4706.76	7176.70	43.50	66.04	1.27
2009	2678.84	43.20	6900.20	5351.56	8124.29	43.50	65.82	1.20
2010	2835.23	43.30	7089.50	6132.89	9172.32	45.80	62.88	1.17

表2 湖南省能源消费碳足迹与影响因素的相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix for energy consumption carbon footprint of Hunan Province and its influence factor

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Y	1.000	0.935	0.885	0.957	0.954	0.940	-0.798	-0.923
X_1	0.935	1.000	0.811	0.970	0.972	0.939	-0.765	-0.973
X_2	0.885	0.811	1.000	0.924	0.920	0.934	-0.960	-0.893
X_3	0.957	0.970	0.924	1.000	1.000	0.971	-0.867	-0.993
X_4	0.954	0.972	0.920	1.000	1.000	0.968	-0.861	-0.994
X_5	0.940	0.939	0.934	0.971	0.968	1.000	-0.924	-0.946
X_6	-0.798	-0.765	-0.960	-0.867	-0.861	-0.924	1.000	0.837
X_7	-0.923	-0.973	-0.893	-0.993	-0.994	-0.946	0.837	1.000

相关系数分析也表明,湖南省能源消费碳足迹与煤品消费所占比重(X_6)以及单位GDP能耗(X_7)呈现显著负相关,其相关性系数分别是-0.798及-0.923。从相关性(绝对值)看,单位GDP能耗与能源消费碳足迹的相关性要大于煤品消费所占比重与能源消费碳足迹的相关性,这也符合湖南省能源消费的实际,即长期以来,湖南省的能源消费均以传统化石能源消费为主,而且这一现状还将会持续较长一段时间。因此,降低湖南省能源消费碳足迹的首要任务是着力提高传统化石能源利用效率,实现单位GDP能耗的逐年降低,在此基础上大力推广应用新能源。

3.2 湖南省能源消费碳足迹的空间差异分析

以湖南省14个市州为分析单元,计算2010年度湖南省各市州的能源消费碳足迹、碳生态承载力、碳赤字与生态环境压力指数。

3.2.1 能源消费碳足迹的空间差异

2010年,娄底的能源消费碳足迹最高,达到404.55 hm²;其次是岳阳(346.07 hm²)、衡阳(239.77 hm²)、郴州(228.53 hm²)、湘潭(201.50 hm²)、常德(144.28 hm²)、长沙(137.09 hm²)、株洲(128.21 hm²)、益阳(122.48 hm²)、邵阳(49.25 hm²)、怀化(44.63 hm²)、永州(38.45 hm²)与张家界(10.16 hm²);湘西的碳足迹最低,为9.72 hm²。

从现实情况看,一方面,娄底、岳阳、衡阳、郴州、湘潭、常德、株洲等都属于传统重工业城市,第二产业结构所占比重均较高,GDP、人均GDP也相对较高,这也在较大程度上导致上述城市能源消费碳足迹较高。另一方面,邵阳、怀化、张家界、湘西等城市均以第三产业为主,第二产业结构所占比重均低,GDP、人均GDP也相对较低,煤品消费所占比重较小,这些因素导致了能源消费碳足迹较低。

3.2.2 能源消费生态承载力的空间差异

怀化市的能源消费生态承载力最高,达到 321.06 hm^2 ;其次是永州(206.75 hm^2)、郴州(195.13 hm^2)、邵阳(176.46 hm^2)、湘西州(116.79 hm^2)、常德(110.07 hm^2)、衡阳(110.33 hm^2)、株洲(102.30 hm^2)、张家界(98.91 hm^2)、长沙(90.76 hm^2)、益阳(87.90 hm^2)、岳阳(87.63 hm^2)和娄底(61.25 hm^2);湘潭市的能源消费生态承载力最低,为 31.51 hm^2 。

3.2.3 能源消费碳赤字的空间差异

正是由于湖南省各市州能源消费量和生物生产性土地面积的差异,导致各市州能源消费碳赤字相差较大(一般将碳赤字定义为正,负的碳赤字即为碳盈余)。从总体上看,湖南省共有9个城市出现碳赤字,分别为长沙(46.33 hm^2)、株洲(25.92 hm^2)、湘潭(169.99 hm^2)、衡阳(129.44 hm^2)、岳阳(258.44 hm^2)、常德(33.21 hm^2)、益阳(34.58 hm^2)、郴州(33.40 hm^2)、娄底(343.30 hm^2);共有5个市州出现碳盈余,分别为邵阳(-127.21 hm^2)、张家界(-88.75 hm^2)、永州(-168.30 hm^2)、怀化(-276.42 hm^2)、湘西(-107.07 hm^2)。

进一步看,出现碳赤字的城市主要集中在长株潭城市群区域(长沙、株洲、湘潭均出现碳赤字)、洞庭湖经济区(岳阳、常德、益阳均出现碳赤字)以及湘中南地区(娄底、衡阳与郴州)。另一方面,出现碳盈余的城市主要集中在大湘西区域(邵阳、张家界、怀化与湘西)及湘南地区(永州)。

3.2.4 能源消费碳足迹生态环境压力的空间差异

根据2010年湖南省各市州能源消费碳足迹生态环境压力指数测算结果以及14市州能源消费碳足迹压力指数平均值,并以此为依据,可将湖南省14市州大致划分为以下5种类型,即重度生态环境压力区(压力指数在 $6.40\sim 6.61$)、中度生态环境压力区(压力指数在 $2.17\sim 3.95$)、轻度生态环境压力区(压力指数在 $1.39\sim 1.51$)、一般过渡区(压力指数在 $1.01\sim 1.17$)及高度生态承载区(压力指数在 $0.08\sim 0.28$)(图3)。

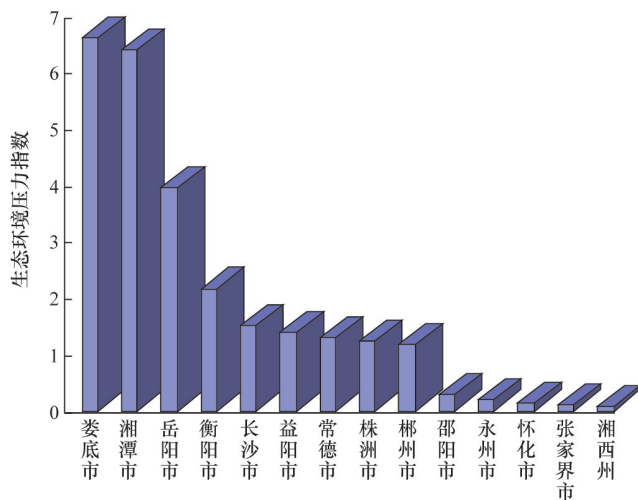


图3 湖南省各市州能源消费碳足迹生态环境压力指数

Fig. 3 Ecology environment pressure index of energy consumption carbon footprint of each city in Hunan Province

重度生态环境压力区主要包括娄底和湘潭2个城市,在地域分布上分别位于长株潭城市群的外围和核心区域,其中娄底的生态环境压力指数最高,达6.61,湘潭次之,为6.40。这类区域能源消费碳排放强度高,同时区域碳汇能力弱,属于今后能源消费碳排放调控及增加碳汇的重点区域。

中度生态环境压力区主要包括岳阳和衡阳2个城市,在地域分布上均位于长株潭城市群的外围区域。岳阳和衡阳的生态环境压力指数分别为3.95和2.17。这类区域碳排放强度相对较高,同时区域碳汇能力也较弱。这类区域也属于今后能源消费碳排放调控的重点区域。

轻度生态环境压力区主要包括长沙和益阳2个城市。长沙和益阳的生态环境压力指数分别为1.39和1.51。由于轻度生态环境压力区既可向中度或重度生态环境压力演化,也可能向一般过渡区或高度生态承载区发展,这类区域也要在今后能源消费碳排放调控进程中引起注意。

一般过渡区包括常德、郴州和株洲3个城市,在地域分布上均分散,其中常德位于湘北区域,属于洞庭湖生态经济区,郴州则位于湘南,属于大湘南承接产业转移示范区,株洲则位于湘东,属于长株潭城市群。常德、郴州和株洲3个城市的生态环境压力指数分别为1.30、1.25和1.17。对于这类区域,需注重能源消费碳排放的调控工作,引导能源消费碳排放强度降低,促进区域碳汇水平提升,使之向良好状态演化。

高度生态承载区包括邵阳、永州、怀化、张家界与湘西5个市州,在地域分布上较为集中,除永州位于湘南外,其他4个市州均位于大湘西区域,这4个市州林地和草地面积较广阔,碳汇能力较强。邵阳、永州、怀化、张家界和湘西州的生态环境压力指数分别为0.28、0.19、0.14、0.10和0.08。从理论上讲,这类区域是最佳的,能源消费碳排放强度低,区域碳汇能力强。然而,由于上述5个市州区域经济发展较为薄弱,需要进一步提升区域经济发展水平。这就意味着,这类区域不应成为今后能源消费碳排放调控的重点,而是需要在进一步保持或增强区域碳汇的同时,加快区域经济的发展。

4 结论

应用能源消费碳足迹相关研究模型,计算得出2005—2010年湖南省能源消费的碳足迹、碳生态承载力和碳生态压力指数,在此基础上进行了湖南省能源消费碳足迹的动态演化与空间差异分析,研究得出如下结论。

1) 2005—2010年,湖南省能源消费碳足迹总体呈上升趋势,由2005年的 2242.57 hm^2 上升到2010年的 2835.23 hm^2 ;碳生态承载力变化趋势较小,其生态承载力基本在 1880 hm^2 左右,这主要是因为同期湖南省能源消费碳排放总体上有较快增长,而同期区域碳汇上升幅度较小。下一步,湖南省要在保持经济平稳增长的前提下,通过增加林地、草地面积等途径来加强区域碳汇。

2) 湖南省能源消费碳足迹、生态承载力、碳赤字呈现出一定的空间差异,且这种空间差异与区域经济发展具有一定

的相似性,即经济总量强的市州往往是碳足迹高、生态承载力小、碳赤字大的市州,这也在一定程度上说明除湘西区域内少数几个经济薄弱的市州外,湖南省其他多数城市要通过实施产业结构优化升级、积极发展高新技术产业等途径来加快低碳经济发展的重要性^[10]。

3) 湖南省能源消费碳足迹生态环境压力的空间差异也较大,其中高度生态承载区包括邵阳、永州、怀化、张家界与湘西5市州,中度生态环境压力区包括岳阳和衡阳2城市,轻度生态环境压力区包括长沙和益阳2城市,一般过渡区包括常德、郴州和株洲3城市,重度生态环境压力区包括娄底和湘潭2城市。值得注意的是,处于重度生态环境压力区和一般过渡区的娄底、湘潭、常德、郴州、株洲等城市多为传统重工业城市。对于这些城市而言,下一步,需着力从控制传统化石能源消耗、增加区域碳汇、加强产业结构调整(特别是工业产业内部,适度调整高能耗、高污染、高排放的重工业的过快发展)、推进产业结构优化升级(特别是要积极发展以高新技术产业、现代服务业为代表的第三产业)^[7]等途径来实现城市能源消费碳足迹生态环境压力指数的优化。

参考文献(References)

[1] Brohan P, Kennedy J J, Harris I, et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A review data set from 1850[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2006, 11(10): 1029-1035.

[2] IPCC. *Climate change 2007, synthesis report*[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

[3] Shui Bin, Harriss R C. The role of CO₂ embodiment in US-China trade [J]. *Energy Policy*, 2006, 34(18): 4063-4068.

[4] Wu L, Kaneko S, Matsuoka S. Dynamics of energy-related CO₂ emis-

sions in China during 1980 to 2002: The relative importance of energy supply-side and demand-side effects[J]. *Energy Policy*, 2006, 34(18): 3549-3572.

[5] Wackernagel M, Rees W E. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.

[6] 赵先超. 湖南省能源消费碳排放系统分析与调控[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2014.

Zhao Xianchao. *System analysis and regulation of energy consumption carbon emissions of Hunan Province*[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2014.

[7] 赵先超, 张颂, 周跃云. 基于DEA的湖南省能源消费碳排放效率空间格局分析[J]. *科技和产业*, 2015, 15(3): 128-133.

Zhao Xianchao, Zhang Song, Zhou Yueyun. The spatial pattern analysis of energy consumption carbon emission efficiency of Hunan Province based on DEA model[J]. *Science Technology and Industry*, 2015, 15(3): 128-133.

[8] 谢鸿宇, 陈贤生, 林凯蓉, 等. 基于碳循环的化石能源及电力生态足迹[J]. *生态学报*, 2008, 28(4): 1729-1735.

Xie Hongyu, Chen Xiansheng, Lin Kairong, et al. The ecological footprint analysis of fossil energy and electricity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1729-1735.

[9] 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, 33(2): 326-336.

Lu Junyu, Huang Xianjin, Chen Yi, et al. Spatiotemporal changes of carbon footprint based on energy consumption in China[J]. *Geographical Research*, 2013, 33(2): 326-336.

[10] 赵先超, 朱翔, 周跃云. 基于碳均衡视角的湖南省碳排放与碳吸收时空差异分析[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(6): 158-161.

Zhao Xianchao, Zhu Xiang, Zhou Yueyun. Spatial-Temporal difference analysis of carbon emission and carbon absorption in Hunan Province based on carbon balance viewpoint[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(6): 158-161.

Analysis on the dynamic evolution and spatial difference of energy consumption carbon footprint of Hunan Province

ZHAO Xianchao, TENG Jie, ZHOU Yueyun

Institute of Low-carbon City, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China

Abstract Energy consumption is a main factor for global climate change. It is significant to research energy consumption carbon footprint and ecological stress. We use the energy consumption carbon footprint research model to calculate the energy consumption carbon footprint, ecological capacity and ecological pressure index, and investigate its dynamic evolution and spatial difference. The results show that the energy consumption carbon footprint has a rising trend, from 2242.57 hm² in 2005 to 2835.23 hm² in 2010; that the carbon ecological carrying capacity changing trend is small, being around 1880 hm²; and that the ecology environment pressure index has a big spatial difference, with Shaoyang, Yongzhou, Huaihua, Zhangjiajie and Xiangxi belonging to the high-ecological carrying area, Yueyang and Hengyang belonging to the moderate-ecological carrying area, Changsha and Yiyang belonging to the general transition distraction, and Loudi and Xiangtan belonging to the heavy-ecological carrying area.

Keywords energy consumption carbon footprint; dynamic evolution; spatial difference; Hunan Province

(责任编辑 王媛媛)