

厦门市碳足迹与碳承载力动态分析

廖啟迪¹ 龚福海²

(1. 厦门大学建筑与土木工程学院城市规划系 福建厦门 361005; 2. 重庆市规划局渝北区分局 重庆 401120)

摘要:在对碳足迹计算方法探讨和分析内容拓展的基础上,以厦门市为例,估算了2005-2012年厦门市碳足迹、碳承载力和净碳足迹,对其动态变化过程及人均碳足迹、地均碳足迹、区域排放强度等指标进行详细分析与总结。认为厦门市当前碳排放相关指标水平有待提升,并从产业、能源、碳汇、空间、政策等方面提出低碳城市建设建议。

关键词: 厦门市; 碳足迹; 碳承载力; 净碳足迹; 低碳城市

中图分类号: TU972+.12

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2014)11-0001-03

Analysis of Carbon Footprint and Carbon Capacity of Xiamen

LIAO Qidi¹, GONG Fuhai²

(1. Department of Urban Planning, School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005;
2. Chongqing Planning Bureau Yubei Branch, Chongqing, 401120)

Abstract: Based on calculation method discussion and analyzing content development of carbon footprint, this article takes Xiamen as an example, calculating carbon footprint, carbon capacity, net carbon footprint of Xiamen from 2005 to 2012. And a detailed analysis and summary were made for relevant carbon credits and its dynamic change process. The results show that it is urgent for Xiamen to improve its carbon environment. For this issue some strategies on industry, energy, carbon sink, city space, policy are proposed.

Keywords: Xiamen; Carbon Footprint; Carbon Capacity; Net Carbon Footprint; Low-carbon City

E-mail: liaoqidi_up@foxmail.com

随着全球气温持续升高,碳排放问题日益引起各国政府及民众的广泛关注。政府间气候变化专门委员会(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)第三、第四次评估报告均指出,近50年全球变暖主要是由于人类活动大量排出CO₂、CH₄、N₂O等温室气体(GHG)造成的^[1]。如何有效地减少碳排放成为社会各界关注的热点之一。要切实落实节能减排,实现城市低碳可持续发展,就必须对当前碳排放情况有明确的认识,针对性的制定相关政策措施。本文分析研究了厦门市2005-2012年能源消耗所产生的碳足迹和植被固碳量,并计算了净碳足迹、人均碳足迹、地均碳足迹、区域排放强度等指标。试图为厦门市低碳城市建设过程中政策制度的制定提供相关依据。

1 研究方法 with 数据来源

“碳足迹”(Carbon Footprint, CF)概念来源于“生态足迹”(Ecological Footprint, EF)。但现有区域碳足迹的相关实证研究多侧重碳排放,较少涉及碳固定。结合厦门市可获取数据情况,本文对现有碳足迹计算方法进行扩展,并提出“碳盈余”、“碳赤字”概念来描述“净碳足迹”指标。

此外,由于不同的国家或地区人口和地域面积各不相同,仅用区域净碳足迹来评价难以真实的反映碳排放实际情况,且在不同区域的比较中有失公平。对此,本文采用人均碳足迹、地均碳足迹和区域排放强度等,以消除人口和面积的影响。研

究相关基础数据来源于《厦门市经济特区年鉴2006-2013》、福建省统计局2005年至2012年《关于年度设区市单位GDP能耗等指标的通报》。

1.1 碳足迹

碳足迹主要是指在人类生产和消费活动中所排放的与气候变化相关的气体总量,相对于其他碳排放研究的区别,碳足迹是从生命周期的角度出发,破除所谓“有烟囱才有污染”的观念,分析产品生命周期或与活动直接和间接相关的碳排放过程。但对“碳足迹”的准确定义当前各国学者有着不同的理解和认识^[2]。由于国际上温室气体减排协议及研究报告均以温室气体的质量来衡量,故本文将碳足迹视作能源消耗带来的CO₂排放量。

IPCC编制的《IPCC2006年国家温室气体排放清单指南》中,提供了国际认可的温室气体排放估算方法。对于能源消耗计算,其基本计算原理为:

$$\text{温室气体排放} = \text{活动数据} \times \text{排放因子} \quad (1)$$

“活动数据”一般为燃料的燃烧数量,即燃料消费量,可统一折算为标准煤。“排放因子”为每一单位的活动水平数据(如每吨煤或每度电)所对应的温室气体排放量, t/t标准煤。

目前碳足迹的研究方法主要有以过程分析为基础和以投入产出分析为基础两种模型。这两种方法的建立都基于生命周期评价的基本原理^[3]。以投入产出分析为基础的模型中,常用的具体方法有实测法、物料守恒法、排放系数法等^[4]。对式(1)中活动系数进一步划分可得:

$$E = \sum_{i=1}^n Q_i \times \eta_i \quad (2)$$

该计算方法也即排放系数法。其中, E为产品的碳足迹, Q_i 为i物质或活动的数量或强度数据(质量/体积/千米/千瓦时), η_i 为碳排放系数。



作者简介: 廖啟迪(1988.05-),女。

收稿日期: 2014-05-22

考虑到厦门市各类能源燃料用量难以获得,但可获得完整的单位国内(地区)生产总值能耗(简称单位GDP能耗)数据,且单位GDP能耗(t标准煤/万元)是能源消费总量(t标准煤)与国内(地区)生产总值(万元)的比值。其中,能源消费总量是指一个国家(地区)国民经济各行业和家庭在一定时间消费的各种能源的总和,包括了从自然界能够直接取得或通过加工、转换取得有用能的各种能源资源^[5]。故本文根据IPCC碳排放计算指南原理,结合排放系数法,采用以下碳足迹计算公式:

$$E = E_C \times G \times \eta_c = N \times E_N = A \times E_A = G \times E_I \quad (3)$$

E_C 为单位GDP能耗,t标准煤/万元; G 为GDP(按单位GDP能耗对应的基准年换算为可比价),万元; η_c 为标准煤碳排放系数。对于不同的国家、地区,不同的技术条件、能源结构,同一种燃料的碳排放因子会有所不同。目前我国采用较多的能源燃料折标准煤后CO₂排放系数是:2.42-2.72之间。本文取中间值2.57计算。 N 为区域常住人口,人; E_N 为人均碳足迹,t/人; A 为区域土地面积,km²; E_A 为地均碳足迹,即单位土地面积碳足迹,t/hm²; E_I 为区域排放强度,t/万元。

1.2 碳承载力

与“生态承载力”相对应,本文将“碳承载力”定义为植被光合作用所能够固定CO₂的量。净生态系统生产力(NEP)反映了植被的固碳能力,即1公顷的植被1年能吸收固定的碳量。城市主要植被生长用地包括林地、园地、城市绿地、耕地。在当前的研究中,大部分认为耕地所对应的农田生态系统具有较强的碳吸收能力,在计算碳足迹及应考虑在内。但在部分研究中,耕地被认为是碳源^[6]。农田生态系统是否存在净吸收和吸收量的大小都存在一定争议^[7],故本文计算碳承载力的过程中不予考虑耕地。而对于林地、园地、城市绿地的固碳能力采用NEP来计算。碳承载力计算模型为:

$$C = C_f + C_g + C_u = N \times C_N = A \times C_A \quad (4)$$

式(4)中, C 为区域碳承载力,t; C_f 为林地的固碳量,t; C_g 为园地的固碳量,t; C_u 为城市绿地的固碳量,t; C_N 为人均碳承载力,t/人; C_A 为地均碳承载力,t/hm²。林地、园地、城市绿地上植被固碳量的计算公式为:

$$C_i = \frac{44}{12} \times S_i \times NEP_i \quad (5)$$

式(5)中,44/12为C换算为CO₂的系数; C_i 为*i*类植被固碳量,t; S_i 为*i*类植被的面积,km²; NEP_i 为1hm²的*i*类植被1年吸收的碳量。NEP没有统一取值,依据谢鸿宇等人关于森林与草地NEP的分析^[8],热带森林的NEP为5.9t/hm²;温带森林的NEP为4.5t/hm²,厦门属于亚热带气候,则将研究区林地的NEP取两者的均值5.25t/hm²;由于园地较林地稀疏,因此取林地NEP的1/3,为1.75t/hm²;城市绿地NEP为0.62t/hm²^[9]。

1.3 碳盈余与碳赤字

将净碳足迹定义为某一地区碳足迹与碳承载力的差额。计算公式为:

$$D = E - C = N \times D_N = A \times D_A \quad (6)$$

式(6)中, D 为净碳足迹,t; D_N 为人均净碳足迹,t/人; D_A 为地均净碳足迹,t/hm²。若净碳足迹为正值,则表明该区域碳足迹大于碳承载力,呈现碳赤字,区域整体为碳源,给城市生态安全带来负面影响;相反,若净碳足迹为负值,则该区域碳足迹小于碳承载力,呈现碳盈余,区域整体表现为碳汇,有利于缓解全球气温升高及城市的低碳可持续发展。

2 结果与分析

2.1 市域碳足迹与碳承载力动态分析

2005-2012年,厦门市单位GDP能耗明显下降,由2005年的0.648t标准煤/万元降低至2012年的0.493t标准煤/万元(表1)。但在近年来厦门市经济快速发展的背景下,全市能源消费总量并未有所下降,反而呈现快速上升。与之相对应,厦门市碳足迹在2005-2012年间也节节攀升。2012年碳足迹为3367.78万t,比2005年增加一倍多。

表1 2005-2012年厦门市碳足迹

年份	单位GDP能耗 (t标准煤/万元)	能源消费总量 (万t标准煤)	碳足迹 (万t)
2005	0.648	652.27	1676.32
2006	0.634	747.94	1922.20
2007	0.616	850.24	2185.13
2008	0.600	939.96	2415.70
2009	0.579	979.63	2517.64
2010	0.569	1108.08	2847.76
2011	0.507	1202.17	3089.58
2012	0.493	1310.42	3367.78

从(表2)中可看出,2006年厦门市碳承载力虽有所回升,但随后的几年情况不容乐观。整体而言,厦门市碳承载力呈现逐年缓慢下降趋势。其中林地固碳量平稳波动,2006至2012年均保持在95万t以上。园地固碳量自2006年来不断减少,由15.86万t降至11.87万t,降幅达25.16%,是全市碳承载力整体降低的主要原因。与林地、园地不同,城市绿地固碳量从2007年起持续攀升。至2012年,厦门市城市绿地碳承载力已达0.63万t,比2007年增加46.51%,这与厦门市建设绿色低碳城市过程中,城市绿地面积的增加密不可分。从碳承载力的组成来看,林地固碳量占总碳承载力的86%-88%,园地固碳量占11%-14%;城市绿地固碳量占0.01%左右。可见,林地固碳是厦门市碳承载力的重要组成部分。

表2 2005-2012年厦门市碳承载力及其构成(万t)

年份	林地	园地	城市绿地	碳承载力
2005	94.16	14.40	0.67	109.23
2006	95.75	15.86	-	111.61
2007	95.48	15.33	0.43	111.24
2008	95.25	14.57	0.56	110.39
2009	95.83	12.79	0.59	109.21
2010	95.35	12.27	0.61	108.23
2011	95.14	11.88	0.63	107.65
2012	95.12	11.87	0.63	107.62

表3 2005-2012年厦门市净碳足迹(万t)

年份	碳足迹	碳承载力	净碳足迹
2005	1676.32	109.2301	1567.09
2006	1922.20	111.6057	1810.60
2007	2185.13	111.2389	2073.89
2008	2415.70	110.3886	2305.31
2009	2517.64	109.2103	2408.43
2010	2847.76	108.2321	2739.53
2011	3089.58	107.6508	2981.93
2012	3367.78	107.6204	3260.16

2005年至2011年,厦门市的碳足迹始终远远高于碳承载力(表3),且二者差距也在加速扩大。2005年,厦门市碳足迹为1676.32万t,是碳承载力的15.3倍之多。2012年,碳足迹激增为3367.78万t,但碳承载力不增反降,此时碳足迹为碳承载力的31.3倍。净碳足迹能更清晰的看出厦门市近年来的温室气体排放情况。由于碳足迹增长率常年高于碳承载力,厦门

市净碳足迹一直处于碳赤字状态,且赤字程度不断增加,由2005年的1567.09万t到达2012年的3260.16万t,增幅达108.04%。厦门市的碳足迹严重超出了碳承载力,给生态环境带来较大压力。

2.2 人均碳足迹与碳承载力动态分析

2005至2012年,厦门市人均碳足迹远远高于人均碳承载力,且与人均碳足迹的上升相反,人均碳承载力持续下降,这导致了年碳赤字增幅不断加大。从表4中可看出,人均碳足迹从6.14t/人增至9.18t/人,增加24.35%;人均碳承载力从0.40t/人下降至0.29t/人,降低27.5%;人均净碳足迹从5.74t/人增至8.88t/人,增加54.7%,高于人均碳足迹增速。根据相关研究,应对全球气候变化的年人均碳足迹目标为2.0t/人,2007年全球人均碳足迹为4.3t/人,中国为3.9t/人^[9,10]。2012年,厦门市人均净碳足迹是全球气候变化目标的4.44倍。

表4 2005-2012年厦门市人均碳足迹与碳承载力(t/人)

年份	人均碳足迹	人均碳承载力	人均净碳足迹
2005	6.14	0.40	5.74
2006	6.67	0.39	6.29
2007	7.19	0.37	6.82
2008	7.41	0.34	7.07
2009	7.63	0.33	7.30
2010	8.00	0.30	7.70
2011	8.56	0.30	8.26
2012	9.18	0.29	8.88

2.3 地均碳足迹与碳承载力动态分析

2005至2012年,厦门市地均碳足迹由106.56t/hm²增加至214.08t/hm²,增加了100.90% (见表5);地均净碳足迹从99.61t/hm²增至207.24t/hm²,增加108.05%。根据相关研究,应对气候变化的地均碳足迹目标为1.12t/hm²^[10]。因此,2012年厦门市地均净碳足迹是全球气候变化目标的185.04倍,不利于遏制全球气候变暖。当然,也应考虑到厦门市与其他人口规模相当的城市相比腹地相对较小的因素影响。

表5 2005-2012年厦门市地均碳足迹与碳承载力(t/hm²)

年份	地均碳足迹	地均碳承载力	地均净碳足迹
2005	106.56	6.94	99.61
2006	122.19	7.09	115.09
2007	138.90	7.07	131.83
2008	153.56	7.02	146.54
2009	160.04	6.94	153.10
2010	181.02	6.88	174.14
2011	196.39	6.84	189.55
2012	214.08	6.84	207.24

2.4 区域排放强度动态分析

2005-2012年,厦门市区域排放强度持续下降(表6)。2012年达1.34t/万元,比2005年降低19.76%,这与近年来厦门市低碳城市建设相关政策的实施密不可分,为厦门市低碳经济发展奠定了良好基础。

表6 2005-2012年厦门市区域排放强度(t/万元)

年份	2005	2006	2007	2008
区域排放强度	1.67	1.63	1.58	1.54
年份	2009	2010	2011	2012
区域排放强度	1.49	1.46	1.38	1.34

3 结论及建议

本文计算了2005-2012年厦门市的碳足迹,借助生态足迹的分析思路,对碳足迹分析内容进行拓展,更清晰的反映出

区域碳排放带来的生态压力,提出运用碳盈余与碳赤字来描述区域净碳足迹状况。并通过人均和地均值规避了区域人口和面积的影响,使之能更加真实的反映区域相关碳水平,保证了区域间对比的公平性。研究表明:

(1) 2005-2012年,厦门市碳足迹由1676.32万t增加到3367.78万t,增幅为100.90%,而碳承载力变化不大,由2005年的109.23万t下降至2012年的107.62万t;其中林地固碳是碳承载力的重要组成部分。厦门市碳足迹远远高于碳承载力,给其自身和外界生态环境都带来较大的压力。

(2) 从均值上来看,2005-2012年,厦门人均净碳足迹和地均净碳足迹都持续增高,2012年分别为8.88t/人和207.24t/hm²,远高于应对全球气候变化所要求的指标。可喜的是,在经济快速的同时,厦门市区域排放强度仍旧保持了持续降低,厦门市低碳可持续发展呈现出良好开端。

自2010年入选国家发改委第一批低碳城市试点以来,厦门市积极开展低碳城市建设工作,厦门市低碳城市总体规划纲要及更为具体的城市交通、建筑、生产领域的低碳规划相继编制出台,各项低碳政策措施也逐步落实,在一定程度上降低了厦门市的净碳足迹。但从本文分析结果可看出,厦门在建设低碳生态城市过程中,仍需加强节能减排工作,要将低碳理念贯穿到整个城市的生产和生活当中,倡导低碳生活方式。产业和能源上,要借助厦门旅游城市良好契机,优化产业结构,同时提高能源利用率,优先利用清洁、可再生能源;碳汇上,要把培育城市森林作为城市提升碳汇能力的重要措施,多渠道拓展城市绿化空间,提高城市的碳承载力;空间上,要进一步完善和优化城市功能结构,以TOD理念为导向,形成适度紧凑、功能合理混合的空间格局,使公共交通成为市民日常出行的首要选择,减少小汽车的使用。政策上,政府可以通过征收能源税或环境税等方式推进节能减排,对节能型、循环型的产品和生产方式给予宽松政策,促进其培育与推广,同时积极推进节能环保基础设施建设。

参考文献

- [1] 张丽峰. 我国产业结构、能源结构和碳排放关系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(5): 1-6.
- [2] 王微, 林剑芝, 等. 碳足迹分析方法研究综述[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(7): 71-78.
- [3] 邓南圣. 生命周期评价[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [4] 张德英, 张丽霞. 碳源排碳量估算办法研究进展[J]. 内蒙古林业科技, 2005(1): 20-23.
- [5] 中华人民共和国国家统计局. 中国主要统计指标诠释(第二版)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [6] 李颖, 黄贤金, 甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. 农业工程学报, 2008: 102-107.
- [7] 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): 1534-1538.
- [8] 谢鸿宇, 陈贤生, 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.
- [9] ZHAO M, KONG Z H, ESCOBEDO F J, et al. Impacts of Urban Forests on Offsetting Use in Hangzhou, China[J]. Journal of Environment Management, 2010, 91(4): 807-813.
- [10] 罗运阔, 周亮梅, 朱美英. 碳足迹解析[J]. 江西农业大学学报: 社会科学版, 2010, 9(2): 123-127.