

DOI: 10.5846/stxb201710311950

谭显春, 赖海萍, 顾佰和, 涂唐奇, 李辉. 主体功能区视角下的碳排放核算——以广东省为例. 生态学报, 2018, 38(17): - .

Tan X C, Lai H P, Gu B H, Tu T Q, Li H. Carbon emission accounting from the perspective of main functional areas: a case study of Guangdong Province. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(17): - .

主体功能区视角下的碳排放核算 ——以广东省为例

谭显春¹, 赖海萍^{1,2}, 顾佰和^{1,*}, 涂唐奇^{1,2}, 李 辉^{1,2}

¹ 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

² 中国科学院大学, 北京 100190

摘要:区域碳排放核算是当前全球气候变化与碳排放研究的核心内容之一。中国于 2010 年出台《全国主体功能区规划》, 主体功能区是以区域开发程度、资源环境基础和未来开发潜力为依据, 县域为基本单位的区域规划方案, 这为区域碳排放核算和配额分配提供了全新的视角。鉴于县域的能源数据不够完善, 本文基于经济、人口、省级能耗量等数据构建了适用于主体功能区划分的碳排放核算方法, 并确保各主体功能区的碳排放总量和分部门碳排放量都与该省的总碳排放量和分部门的一一对应相等。文章以中国广东省为案例, 对其四类主体功能区在 2005—2015 年间的碳排放情况进行核算分析。研究发现: 四类主体功能区的碳排放总量与经济总量呈现高度正相关性; 四类地区中碳排放量从大到小依次为优化、重点、农产品、生态开发区。碳排放强度最大的为生态开发区, 其次是重点开发区, 农产品开发区和优化开发区。重点开发区和优化开发区的碳排放占全省比值达 86%, 都应作为未来节能减排措施的最主要的作用对象, 需加快产业结构升级, 扩大新能源技术的应用。农产品开发区和生态开发区应加快发展循环农业, 有机低碳农业生态环境友好型产业。

关键词:碳排放核算; 主体功能区; 广东省; 县域

Carbon emission accounting from the perspective of main functional areas: a case study of Guangdong Province

TAN Xianchun¹, LAI Haiping^{1,2}, GU Baihe^{1,*}, TU Tangqi^{1,2}, LI Hui^{1,2}

¹ Institute of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: Regional carbon emission accounting is one of the core concepts of current global climate change and carbon emission research. The development of regional coordination which has always been the focus of attention, and the importance of both the ecological environment and policy fairness is the central study for all kinds of land use planning. In 2010, China published the national functional zoning plan, which is based on regional development, resource environment foundations, and future development potential. According to the plan, the county is the basic unit of the regional carbon emission planning programs, which provides a new perspective for regional carbon accounting and quota allocation. Because the energy data for counties was not sufficient, this study has developed a new carbon emission accounting method based on the economic, population, and provincial energy consumption data, which is suitable for the division of main functional areas. We used the carbon intensity of three industries and per capita carbon emission as the main indicators to calculate the emissions. This method ensure two conditions: the total amount of carbon emissions of main functional areas should be equal to the carbon emissions of the province, and the carbon emissions of main functional areas in four sectors should be equal to

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71573249); 中国科学院科技战略咨询研究院重大咨询项目(Y02015003); 中国清洁发展机制基金赠款项目(2014091); 中国科学院科技战略咨询研究院院长青年基金(Y7X1091Q01); 国家自然科学基金项目(71741014)

收稿日期: 2017-10-31; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gubaihes@163.com

the carbon emissions of the province in the corresponding sector. By taking Guangdong Province as a case example, this paper accounted for and analyzed the carbon emission of the four main functional areas of Guangdong Province from 2005—2015. The analysis reveals that the total carbon emission of the four main functional areas is highly positively correlated with their total economic output, but the GDP growth rate will be slightly higher than the carbon emissions growth rate on the whole. There is a link between "economic growth-energy consumption-carbon emissions" in the research results. The largest carbon emissions in the four regions was the optimizing development zone, which accounted for 64.84% of all emissions in 2015. The second largest emissions was caused by the key development zone, which account for 21.04%. The largest carbon emission intensity was the ecological development zone, at about 1.89 t/10,000 yuan. The second highest carbon emission intensity was found to be in the key development zone, and next was the agricultural development zone. The optimizing development zone has the lowest carbon intensity because of its advanced economic development. The optimizing development and key development zones should be served as the main targets for future energy conservation and emission reduction measures. The optimizing development zone should speed up the application of new energy technology and accelerate industrial upgrading. The agricultural development and ecological development zones should develop more environmentally friendly industries, such as organic food, low-carbon agriculture, and ecological tourism.

Key Words: carbon emission accounting; principle function area; Guangdong; county

20 世纪 90 年代后,世界经济社会逐步向后工业社会转变,经济发展全球化对区域发展模式产生了深远的影响,区域协调发展再次成为人们关注的焦点。在新区域主义、生态区域主义、可持续发展等理念的影响下,北美和欧洲国家纷纷开展了旨在改善生态环境、促进区域资源有效配置,最后增强本区域和国家竞争力的各个层面的空间规划,对生态环境和公平的重视是这些规划的中心思想^[1]。改革开放以来,我国经济高速发展的同时,人口、经济与资源环境不协调和国土开发失衡等问题也日益突出。传统的以经济发展为主要目的的区域规划已不能完全解决我国区域发展的问题,如生态失衡、环境破坏等。2010 年,国务院出台《全国主体功能区规划》,将其上升至国家战略。主体功能区规划要求根据不同区域的资源环境承载力等因素,统筹谋划未来人口分布、经济布局、国土利用和城镇化格局;其对环境要素的重视,对于公平的关注符合 20 世纪 90 年代以来的国际社会的区域发展理念和人类对空间开发认识的演变规律^[2-3]。

主体功能区规划将国土空间划分为优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发四类主体功能区域。这四类地区因自然环境和资源禀赋不同,碳排放存在显著的差异。在满足国家应对气候变化的总体要求下,需要对各功能区进行碳排放核算分析,才能更好的针对各个地区制定和实施符合其发展情况的碳减排政策。

近年来,国内外学者开展了不同空间尺度的碳排放核算分析。国家层面,Su 等^[4]对 28 个欧盟国家的 1991—2012 年的碳排放量进行了核算和比较。Lean 和 Smyth^[5]核算了 1980—2006 年的东盟 5 个国家的碳排放量,并研究碳排放与电力消费和经济增长的关系。Wang 等^[6]对 1980—2010 年的中国化石燃料所产生的碳排放进行核算及分析,并与同时期的其他国家的碳排放量进行比较。Zhang, Mu 和 Ning^[7]对中国 1991—2006 年的与能源消费有关的碳排放量进行核算,并利用 Kaya 方程进行因子分解,得出碳排放强度与经济增长仍然是驱动中国碳排放量增加的最重要的因素。

在区域和省级层面上,Ye 等^[8]基于生产和消费的会计方法计算了中国 30 个省市的碳排放量。Ren 等^[9]着重考虑城镇化因素的影响,对山东省 1985—2010 年间的碳排放量进行分析;林伯强等^[10-11]核算了 2009 年中国 28 个省市的碳排放量并研究区域碳排放的空间梯度趋势。齐绍洲等^[12]通过比较各类碳排放基本核算方法,最终选用排放系数法对湖北省能源消费碳排放核算,并选择工业碳排放进行重点分析。Geng 等^[13]从能源消费和碳排放强度角度,利用 IPCC 质量守恒方法对中国大陆各个省市在 1990、1995、2000、2005—2008 年的碳排放进行估算,并分析省市间的差异。同时,也有较多学者在区域层面上进行碳排放核算分析。蔡博峰等^[14]基于碳排放网格数据自上而下的对长江三角洲地区城市的 CO₂排放进行核算和特征分析。Liu, Liang 和 Wang^[15]考虑了区域碳流动的影响,在投入产出模型的基础上核算 2002—2007 年中国各个区域的生产型和消费型碳排放量。

地市级层面,Tan 等^[16]对重庆市的碳排放量进行计算,并利用 GM(1,1)模型预测 2020 年的碳排放量。Mi 等^[17]利用投入产出模型对中国包括北京、上海、天津等 13 个城市的能源消费的碳排放进行计算,将这 13 个城市进一步分为生产型城市 and 消费型城市。杨秀等^[18]对北京市碳排放量进行核算并预测其峰值出现的时间。王海鲲等^[19]通过对工业能源、交通能源和居民生活能源等 6 个排放源进行核算,建立了一套针对城市的温室气体排放核算方法体系,并以无锡市为例,全面核算和分析了无锡市碳排放情况。

而对于县域层面,赵荣钦等^[20]对中原经济区的县域碳排放及相应的收支平衡情况进行了探讨,并根据平衡情况对其县域进行分区;刘建等^[21]利用 GIS 和 RS 技术,基于土地利用类型计算碳排放效应,并以山西省洪洞县为案例进行分析;朱妮等^[22]分析 2005—2010 年榆林县域尺度下的能源消费碳排放强度的空间格局特征与空间分异机制。

总体来说,前期研究主要是基于传统的行政区划作为划分对象进行,缺乏区域功能定位方面的考虑。从主体功能区角度对地区碳排放核算分析有利于打破行政区划界限,为制定实施更有针对性的区域低碳减排政策提供科学参考^[23]。因此,本文将从主体功能区的角度进行区域碳排放核算,鉴于县域的能耗数据不够完善,本文在前人研究的基础上,利用县域的经济、人口数据和省级的能耗数据构建主体功能区碳排放量的间接核算方法,以广东省为案例,对广东省四类主体功能区的碳排放进行核算并探讨碳排放与经济发展之间的关系。

1 研究方法数据来源

1.1 核算范围界定

能源部门是 CO₂的主要排放源,考虑到统计数据的可得性,本文主要考虑由能源活动造成的碳排放。本文从终端能源消费的角度核算主体功能区的碳排放量。借鉴 Wu 等^[24]的核算方法,将主体功能区的碳排放总量分解成 4 个部门消费的 5 种燃料产生的 CO₂加总。具体部门和能源品种界定如下:

1.1.1 部门划分

本文对能源消费部门的划分,是在《中国能源统计年鉴》^[25]“分行业能源消费”中对部门划分的基础上,保留了原划分中的第一产业(农林牧渔业)、第二产业(工业、建筑业)、居民生活部门,而将交通运输仓储及邮电通信业、批发、零售业和住宿、餐饮业与“其他行业”合并为第三产业。这样划分的原因在于:第一、便于观察主体功能区内各个产业因消费能源而排放的 CO₂, 利于进一步分析其功能定位。第二、居民生活部门尽管排放量较少,但是由于主体功能区各地区人口差异较大,因此居民生活部门可作为因人口所带来的碳排放量的一个度量,也便于分析主体功能区之间碳排放量差异的原因。第三、将交通及其他部门合并成第三产业,虽然无法与国内生产总值的第三产值完美对应,但是从能源消费角度来看,结果影响不大^[26]。

1.1.2 能源品种划分

根据中国能源统计年鉴中终端能源消费量的数据,把燃料进一步合并为 5 种:煤炭、石油及其制品、天然气、电力、热力。其中煤炭包含原煤、洗精煤、其它洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气和其它焦化产品,石油及其制品包含原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气和其它石油制品。但电力、热力作为二次能源,使用过程中不会造成温室气体排放,排放过程主要集中在电热的生产环节。因此,现有电热碳排放统计体系有两种:生产者统计与使用者统计。由于本文使用终端能源消费法,侧重考查区域能源使用现状,所以本研究对电力排放的界定采用“使用者”责任的方法,即电热能源造成的温室气体排放属于电热能源的使用者。所以我们把电力、热力分别归入能源种类中,这也符合实际情况。为避免重复运算,本文从工业中剔除了用作工业原料的煤炭、原油和天然气。

1.2 研究方法

主体功能区以县级行政单位为基础单元,而我国现有的县域能源消耗数据不全面,无法直接计算出主体功能区的碳排放量。我国目前较完备的能耗数据统计精确到省级,而省级碳排放的核算是基于政府间气候变

化专业委员会 (IPCC) 国家温室气体清单编制方法论中的部门方法 (公式 2) [27-28]。朱松丽等 [29] 利用省级能耗数据计算出各省三产碳强度和人均生活碳排放量, 再利用各县域的三产产值及人口规模量计算得到各县级单元的 CO₂ 排放, 即

$$\text{CO}_2 = \sum_{i=1}^3 V_i \times E_i + P \times E_p \quad (1)$$

式中: V_i 产业增加值/万元; P 表示人口; E_i 计算县所在省的产业排放强度 (tCO₂/万元); E_p 计算县所在省的人均生活排放 (tCO₂/人)。

该方法可初步的计算出主体功能区的碳排放量, 但由于省内不同地区的经济和技术发展情况不同, 三产碳排放强度和人均碳排放存在较大差异, 若直接用省级层面的强度数据会产生较大误差; 且该方法易导致计算的县级排放量的加总与该省的总碳排放量之间存在较大差异。而市与市之间的经济和技术发展水平差异较大, 但同一市内的县域之间的差距较小。因此, 本文在保证所有县域的碳排放总量与省级碳排放量相等及所有县域的分部门的碳排放总量与省级分部门碳排放量相等的条件下引入市级层面的指标对朱松丽等 [29] 的主体功能区的碳排放核算方法进行修正。

首先根据 IPCC (2006) 中的“方法 2”来计算省级层面能源活动有关的 CO₂ 排放

$$\text{CO}_2 = \sum_j \sum_z E_{jz} \times EF_z \quad (2)$$

式中, CO₂: 二氧化碳排放总量 (万 t); E_{jz} : 第 j 部门 z 种能源的使用量 (万 t 标煤) ($j=1, 2, 3, 4$, 分别代表第一产业、第二产业、第三产业、居民生活部门, $z=1, 2, 3, 4, 5$ 分别为煤、石油、天然气、电力、热力); EF_z : 能源 z 的碳排放因子 (tCO₂/t 标煤)。

由于县级 GDP 和人口数据与省级层面数据存在差异, 本文在计算过程中为保证数据的可比性, 只使用县级数据, 省级层面的 GDP 和人口均由县级数据加总得到。同时, 本文的算法保证了县域排放总量与省级的相等, 故此处的 GDP 和人口是对县级排放的调节分配作用, 并不影响碳排放总量。

$$\sum_i \sum_k p_{i,k} = \sum_i p_i = P \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \text{gdp}_{i,j,k} = \sum_i \text{gdp}_i = \text{GDP} \quad (4)$$

其中, $p_{i,k}$ 表示第 i 市 k 县的人口数, $\text{gdp}_{i,j,k}$ 表示第 i 市 k 县 j 产业的增加值 (亿元)。

根据公式 (2) 的结果计算出该省三产的平均碳强度 hytensity_j , 以及人均碳排放量 hypco 。即

$$\text{hytensity}_j = \frac{\text{CO}_{2,j}}{\text{gdp}_j} \quad (5)$$

$$\text{hypco} = \frac{\text{CO}_{2,4}}{P} \quad (6)$$

第一步: 用省级的三产平均碳强度和人均碳排放与各市区三产产值和人口对应相乘, 得到第 i 市的碳排放量假设值 hyCO_{2i} , 同时, 可知 $\sum_i \text{hyCO}_{2i} = \text{CO}_2$

$$\text{hyCO}_{2i} = \sum_{j=1}^3 \text{hytensity}_j \times \text{gdp}_{ij} + \text{hypco} \times p_i \quad (7)$$

第二步: 对于市级层面的能耗数据, 目前只能从各市统计年鉴获取到历年的单位 GDP 能耗, 利用该项指标我们能更精确的了解到各市的能耗水平, EF 表示该省同年的加权排放因子。

$$s\text{CO}_{2i} = \text{单位 GDP 能耗} \times \text{gdp}_i \times EF \quad (8)$$

计算两种排放量的比值, 将他们的比例关系用于修正各市的三产碳强度与人均碳排放值, 得到各市更实际的三产碳强度 tensity_{ij} 与人均碳排放 pco_i 。

$$\text{tensity}_{ij} = \frac{s\text{CO}_{2i}}{\text{hyCO}_{2i}} \times \text{hytensity}_j \quad (9)$$

$$pco_i = \frac{sCO_{2i}}{hyCO_{2i}} \times hypco \quad (10)$$

第三步:利用修正过的各市的三产碳强度与人均碳排放来改进公式(1),计算出*i*市管辖下第*k*个县区 xCO_{2ik} 的碳排放。

$$xCO_{2ik} = \sum_{j=1}^3 \text{tensity}_{ij} \times \text{gdp}_{i,j,k} + pco_i \times p_{i,k} \quad (11)$$

但新定义的 tensity_{ij} 和 pco_i 在计算各县市的碳排放时,为达到合理性需满足以下两个条件:

a.所有县的各部门碳排放应分别与省级各部门碳排放一一对应相等;

b.所有县区的所有部门的碳排放总量应与省级碳排放总量相等。

(1)为满足 a 条件,则需保证

$$\sum_i \sum_k \text{tensity}_{ij} \times \text{gdp}_{i,j,k} = CO_{2,j} (j = 1, 2, 3) \text{ 和 } \sum_i \sum_k pco_i \times p_{i,k} = CO_{2,4}$$

根据公式(9)和公式(10),可得到

$$\sum_i \sum_k \text{tensity}_{ij} \times \text{gdp}_{i,j,k} = \frac{\sum_i sCO_{2,i} \times \text{gdp}_{i,j}}{CO_2 \times \text{gdp}_j} \times CO_{2,j} \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_k pco_i \times p_{i,k} = \frac{\sum_i sCO_{2,i} \times p_i}{CO_2 \times P} \times CO_{2,4} \quad (13)$$

为满足 a 条件,则将公式(12)和公式(13)左右两边分别除以 $\frac{\sum_i sCO_{2,i} \times \text{gdp}_{i,j}}{CO_2 \times \text{gdp}_j}$ 和 $\frac{\sum_i sCO_{2,i} \times p_i}{CO_2 \times P}$, 调整之后的结果为

$$\sum_i \sum_k \text{tensity}_{ij} \times \text{gdp}_{i,j,k} / \frac{\sum_i sCO_{2,i} \times \text{gdp}_{i,j}}{CO_2 \times \text{gdp}_j} = \text{hytensity}_j \times \text{gdp}_j \quad (14)$$

$$\sum_i \sum_k pco_i \times p_{i,k} / \frac{\sum_i sCO_{2,i} \times p_i}{CO_2 \times P} = \text{hypco} \times p \quad (15)$$

(2)在满足 a 条件的情况下,再满足条件 b,将调整后的指标(公式 14 和公式 15)代入,

$$\begin{aligned} \sum_i \sum_k xCO_{2,i,k} &= \sum_i \sum_k \left(\sum_{j=1}^3 \text{tensity}_{ij} \times \text{gdp}_{i,j,k} + pco_i \times p_{i,k} \right) \\ &= \sum_i \sum_{j=1}^3 \text{tensity}_{ij} \times \text{gdp}_{i,j} + \sum_i pco_i \times p_i \\ &= \sum_{j=1}^3 \text{hytensity}_j \times \text{gdp}_j + \text{hypco} \times P \\ &= CO_2 \end{aligned} \quad (16)$$

第四步:按照上述条件调整各县的排放量,根据主体功能区的区划将其包含的各县域的碳排放加总,得到各类主体功能区的碳排放。

$$CO_{2t} = \sum_{k \in T(t)} xCO_{2ik} \quad (17)$$

$T(t)$ 表示第 t 类主体功能区所包含的县域集($t = 1, 2, 3, 4$)。

1.3 数据来源

省级层面历年能源消耗数据来源于《中国能源统计年鉴》^[30]中的各省能源平衡表,市县级层面的历年各产业增加值、常住人口等数据来自《各地级市历年统计年鉴》以及部分市、县、区的国民经济与社会发展统计公报^[31]。部分年份的部分县市的缺失数据根据年增长率或采用插值法推算获取。

本文主要通过 IPCC 的推荐方法计算分品种能源 CO₂ 排放因子(除电力、热力等二次能源之外),其主要取决于不同能源的单位热值含碳量和碳氧化率,具体数据参考《省级温室气体排放清单》和《2008 年中国能源活动温室气体排放清单》。电力、热力的排放因子数据利用历年中国能源统计年鉴中目标省的能源平衡表的发电/热能耗和发电/热量计算其电力、热力排放因子。

2 案例分析

2.1 区域概况

广东省地处中国大陆最南部,生物资源丰富。广东省 2015 年常住人口达 1.08 亿,GDP 达 60524.1 亿元,人均 GDP 为 55787 元,2005—2015 年均 GDP 增长速度为 12.4%(以上数据均以 2005 年为基期进行调整),但经济布局不平衡,区域间公共服务和生活水平差距过大。全省经济发展空间高度聚集在珠三角,东西北地区发展相对滞后,各个地区碳排放空间分布呈现出大尺度的差异。本文选取广东省四类主体功能区(优化开发、重点开发、生态发展和农产品开发区)作为核算分析对象,因广东省禁止开发区为各类自然保护区,公园等,地点零散且碳排放量非常少,故此处不将其列为核算对象。针对广东省县域规划改变的问题,我们根据地理位置来判别其归于哪类主体功能区,文章核算的时间段为 2005—2015 年。

2.2 核算结果分析

通过对各主体功能区的碳排放核算,我们可以了解各主体功能区历年的碳排放情况,并进行比较分析。由图 1 可知,广东省的高排放地区越来越密集,呈现区块化的分布情况。碳排放量最高的区域集中于优化开发区,而碳排放量高于 1000 万 t 的重点开发区主要在靠近优化开发区的区域。其余地区的各类主体功能区碳排放量多在 200—1000 万 t 范围内。小部分的农产品开发区和生态开发区的排放量在 200 万 t 以下。

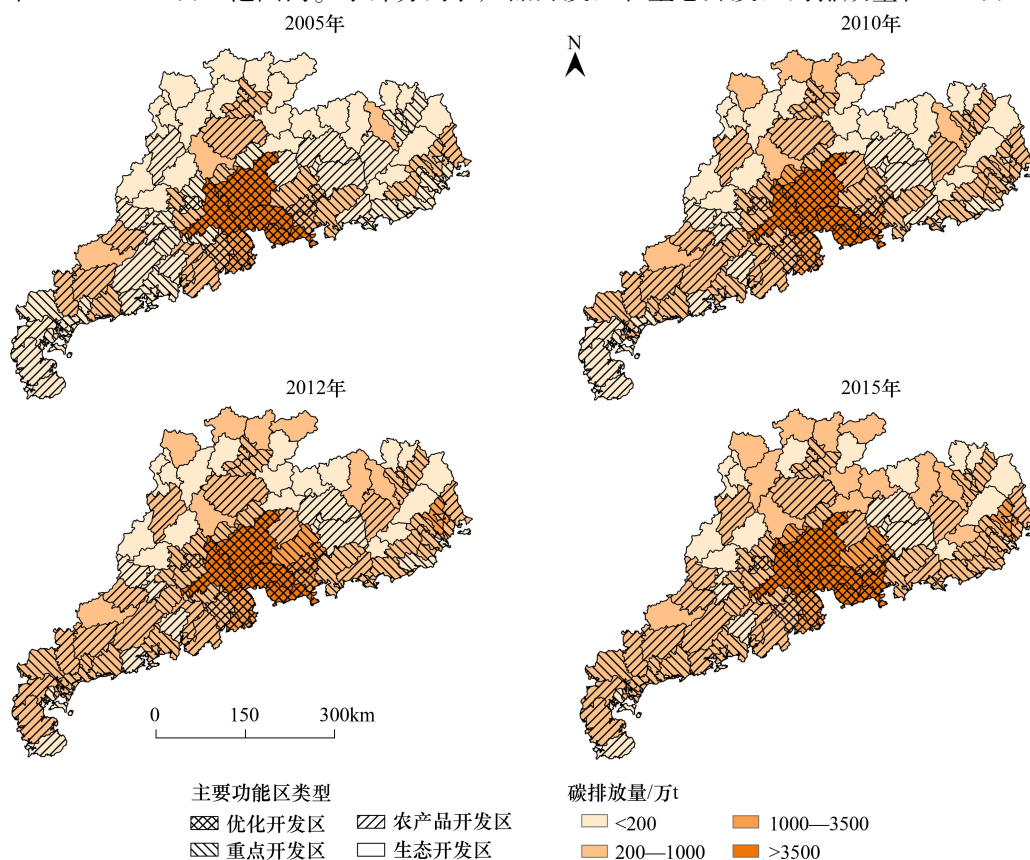


图 1 主要年份广东省各主体功能区碳排放量分布情况

Fig.1 The carbon emission distribution of main functional areas in Guangdong province in many years

2.2.1 优化开发区

广东省的优化开发区主要为珠三角的核心区域,面积仅占全省区 13.55%,是四类主体功能区中区域最小的,但碳排放总量是四类主体功能区中最多的,碳排放量总体呈增长趋势,从 2005 年的 2.75 亿 t 增长至 2015 年 5.9 亿 t(图 2)。这与优化开发区的功能定位紧密相关,作为国际知名的制造业发展基地,其首要任务是经济发展。优化开发区历年 GDP 总量都为第一,从 2005 年的 1.7 亿元增长至 2015 年的 5.4 亿元,产业结构也在持续不断优化,2005 年第三产业占比为 47.1%,在 2009 年,三产占比首次超过二产占比,以年均 1.5% 的增长率增长至 2015 年的 54.5%(图 3,图 4);人口密集度最高,有着全省 46% 的人口,人口增长趋势也最快(图 5)。

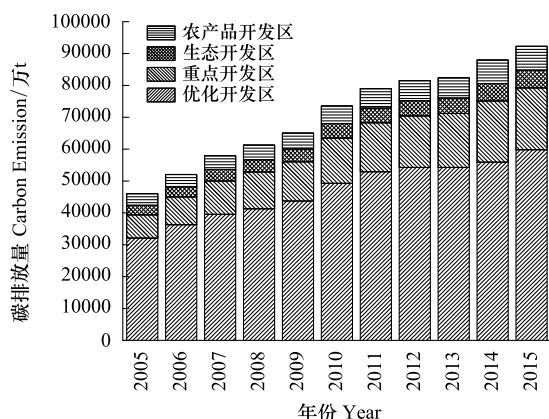


图2 广东省各主体功能区历年碳排放

Fig.2 The carbon emission of the four functional areas in Guangdong province during 2005—2015

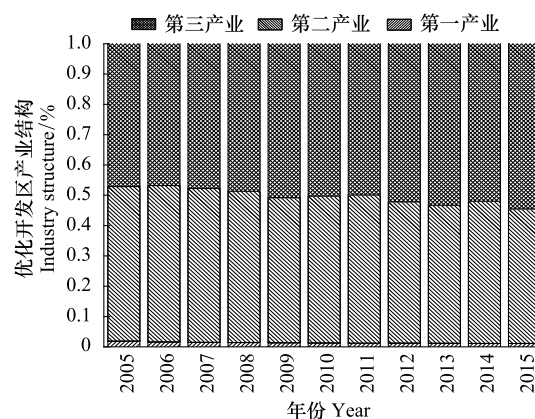


图3 优化开发区的产业结构 (%)

Fig.3 The industry structure of the optimizing development zone

核算期内,优化开发区的碳排放量增速呈现动荡下降再增长的趋势,2013 年的增速最低,之后逐步回升至 6.9%,2005—2015 年间平均增速为 6.5%。这一趋势与经济发展趋势是相对应的,2013 年优化开发区的 GDP 增速最低,仅为 3.99%(图 4)。由图 6 可知,虽然优化开发区的碳排放总量最多,但是碳排放强度是各主体功能区中最低,这主要因为其经济发展水平高,能源利用效率也相对较高,并且优化开发区还积极开发新能源和可再生能源,提升风能、太阳能等新能源利用水平。已建成的大亚湾和岭澳核电站及未来油气管网的一体化建设也将进一步优化其能源布局 and 结构。而优化开发区的排放量的占比则逐年递减,从 2005 年的 69.7% 下降至 2015 年 64.84%,这与优化开发区的 GDP 占比变动方向一致,优化开发区的碳排放与其经济发展高度相关。

2.2.2 重点开发区

重点开发区主要分布在珠江三角洲外围的广东东部和西部沿海地区,还有一部分点状分布在北部的山区内,面积占全省的 20.81%,2015 年人口为 3048 万,增速十分缓慢。重点开发区的 GDP 结构以第二产业为主,第三产业占比则逐年递增,2015 年二、三产占比分别为 50% 和 40%。根据图 2 结果,碳排放总量次于优化开

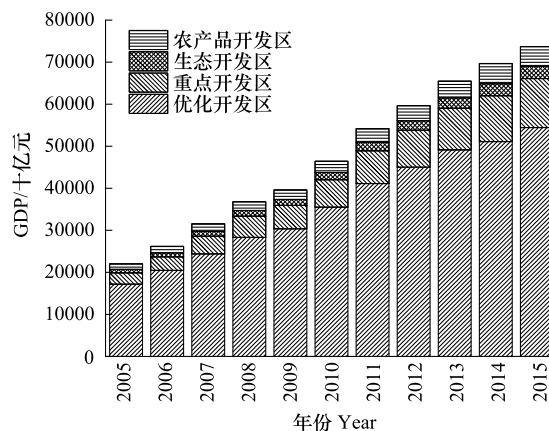


图4 广东省各主体功能区历年 GDP 总量

Fig.4 The GDP of the four functional areas in Guangdong province during 2005—2015

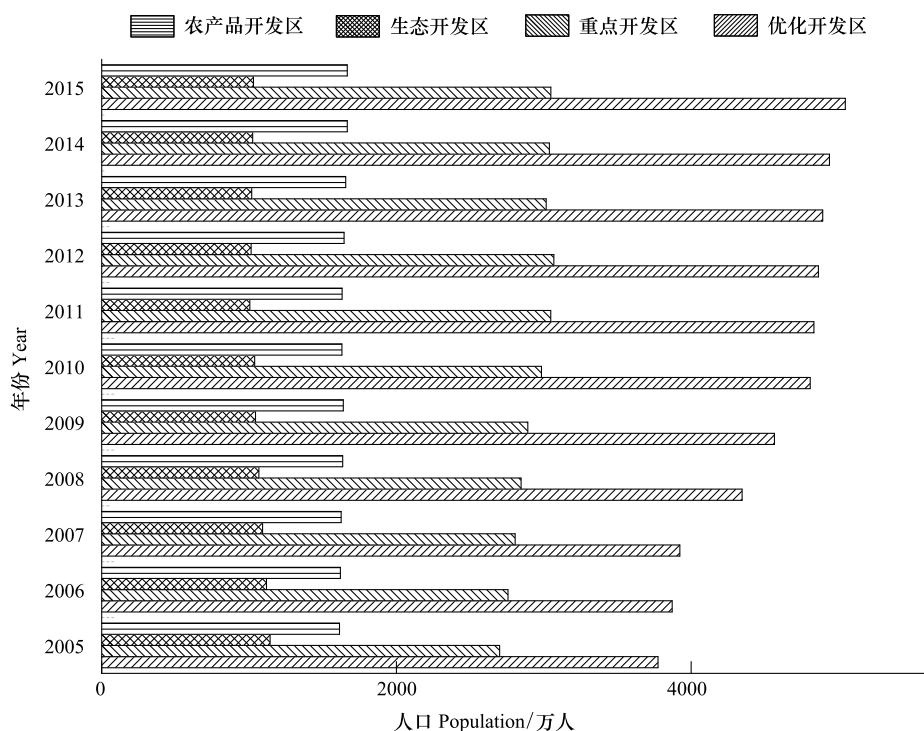


图5 各主体功能区历年人口数

Fig.5 The number of people in each functional area

发区,2005年排放量为7288.3万t,占比为15.83%;而2015年碳排放量增长至1.9亿t,占比也随着增长至21.04%,替代了优化开发区的占比下降。

重点开发区的碳排放增速有两个明显的波峰波谷,在2010与2014年这两年的增速较大,分别为15.56%和13.42%,与此同时重点开发区的GDP也保持着高速增长,增速均在10%以上(图2,图4)。这说明重点开发区经济的高速发展伴随着碳排放量的快速增加。重点开发区的碳排放强度为各类主体功能区第二高,仅次于生态开发区,高于全省水平,这也表明了相对于优化开发区,重点开发区需要更大力度的减排措施。

2.2.3 生态开发区

广东省生态开发区的面积占全省的34%,而2015年的GDP占比仅为3.98%,其功能定位是以保护和修复生态环境、提供生态产品为首要任务。因此该区域的碳排放总量都较少。2005年生态开发区的排放量为2995.91万t,占比为6.2%;10年间,碳排放增长近2倍,2015年达到5572万t。而其GDP从2005年798亿元增长至2015年2935亿元,增长268%;产业结构逐渐发展为2:3.7:4.3,三产占比逐渐递增。生态开发区的碳排放强度是四类主体功能区中最高,但是它的碳排放量很少,产业中工业占比很低或工业产值非常低,所以可认为其碳排放强度高是由于GDP发展水平较低导致的。而10年间生态开发区的碳排放强度下降速度最快,下降了50%,碳排放量的增长趋势得到显著控制。

3.2.4 农产品开发区

广东省农产品开发区是国家“七区二十三带”农业战略格局中华南农产品主产区,主要建设优质水稻、甘

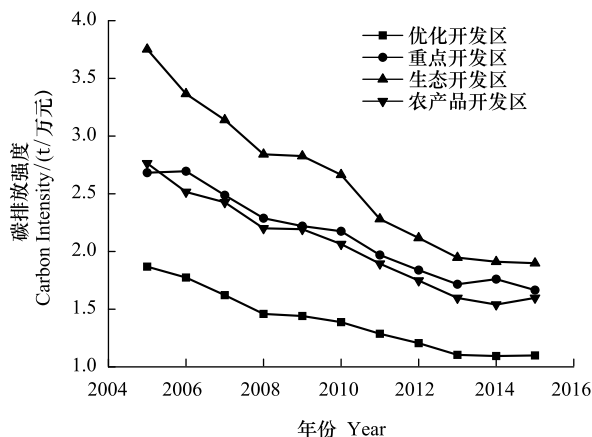


图6 各主体功能区历年碳排放强度

Fig.6 The carbon intensity in each functional area

蕉和水产品产业带。产业结构以三产为主,2015 年占比为 42%,二产则为 36%。农产品开发区 2015 年人口数为 1666 万人,涨幅不大。2005 年农产品开发区为 3637.6 万 t,2015 年增长至 7456.5 万 t,占比约为 8%,年均增速达 7.44%,高于全省平均水平。2005—2015 年间,农产品开发区的 GDP 平均增速达 13.5%,略高于全省平均水平。农产品开发区的碳排放强度仅略低于重点开发区,是仅次于重点开发区的下一个节能减排对象。

在图 2 中,农产品开发区的碳排放量大于生态开发区,两者的碳排放量增速变动趋势类似。但近三年,生态开发区的碳排放平均增速大于农产品开发区的增速,这需要引起重视,注意控制生态开发区的碳排放增速。

3 结论与政策建议

3.1 结论

主体功能区是以县域为基本单位的区域规划方案,其碳排放情况可为国家制定减排政策提供依据,为我国碳减排目标的落实提供更具体的对象。鉴于县域层面的能源数据不完善,本文利用县域的 GDP、人口和省级能耗指标对县域碳排放进行间接的核算,计算出各类主体功能区的碳排放量;并确保计算的各类主体功能区的碳排放总量与该省当年的碳排放总量相等,分部门的碳排放量与该省的分部门碳排放量一一对应相等。将该方法应用于广东省,计算了广东省四类主体功能区在 2005—2015 年的碳排放量情况。

四类主体功能区的碳排放变化情况与经济发展呈现高度正相关性,但总体来看 GDP 增长率会略大于碳排放增速。2005—2015 年间四类主体功能区的碳排放量大小排序都保持不变,依次为优先发展区,重点开发区,农产品开发区,生态开发区。总体来看,与全省的碳排放增速相比,重点开发区的碳排放增速高于全省的增速,优化开发区则接近于全省,生态和农产品开发区的碳排放增速均低于全省平均。杨子晖^[32-33]研究发现,中国存在着从“经济增长—能源消费—碳排放”的关系链,且在发展中国家普遍形成由碳排放到经济增长的非线性因果关系。而经济较快发展的重点开发区的碳排放量增长快于经济基础较好而 GDP 增速相对较慢的优化开发区,也可印证这一观点。四类地区中碳排放强度大小依次为生态开发区,重点开发区,农产品开发区和优化开发区,其中全省碳排放强度介于重点开发区与优化开发区之间。这也与鲁万波等^[34]的研究相呼应,地区经济发展水平高,能源利用效率也相对较高,碳排放强度则较低。

3.2 政策建议

通过以上的结果分析,各主体功能区的碳排放情况存在显著差异,应结合他们的战略定位和碳排放量制定针对性的政策。优化开发区作为排放第一大户,尽管碳排放强度已最低,仍应作为节能减排的首要对象,继续加大第三产业增加值比重,发展高质量产业;在原有的新能源发展的基础上,继续扩大发展核电、可再生能源、油气管道等基础设施建设。优化开发区碳排放强度下降有助于降低主体功能区整体的碳排放强度。

重点开发区经济体量大,碳强度高,是广东省未来减排政策的下一个重点实施对象。从与优化开发区距离近的重点开发区的排放量普遍高于其他重点开发区的情况来看,未来当重点开发区在承接来自优化开发区的产业转移时应积极、有序、有选择性的发展;同时,要加快产业结构的调整,大力发展能耗较少的第三产业,助力其成为新的经济增长极,这样才能进一步促进全省产业升级与区域经济协调发展。另一方面,安全有效的建设阳江等地的核电设施及大型的油气基础设施建设,提高能源利用效率,促进重点开发区的经济和环境的双向发展。

对于农产品开发区应控制开发强度,优化开发方式,发展循环农业,促进农业资源的永续利用,加快农业科技进步和创新,加大力度发展有机食品和低碳农业,重视有机肥应用,改良中低产田和防止土地退化,在不破坏当地环境的前提下,积极提升经济发展水平。对于生态开发区,尽管生态开发区的碳强度最大,但其下降的幅度和速率是最快的。在不影响生态环境的基础上,因地制宜适度发展资源开采、农林牧渔产品生产和加工、观光休闲农业等生态环境友好型产业。对当地的民众,要加强宣传教育,保护生态环境,促进人与自然的和谐发展。

参考文献 (References):

- [1] 张京祥, 殷洁, 何建颐. 全球化世纪的城市密集地区发展与规划. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 袁朱. 国外有关主体功能区划分及其分类政策的研究与启示. 中国发展观察, 2007, (2): 54-56.
- [3] Fan J, Li P X. The scientific foundation of major function oriented zoning in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(5): 515-531.
- [4] Su M R, Pauleit S, Yin X M, Zheng Y, Chen S Q, Xu C. Greenhouse gas emission accounting for EU member states from 1991 to 2012. *Applied Energy*, 2016, 184: 759-768.
- [5] Lean H H, Smyth R. CO₂ emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 2010, 87(6): 1858-1864.
- [6] Wang H K, Zhang Y X, Lu X, Nielsen C P, Bi J. Understanding China's carbon dioxide emissions from both production and consumption perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 52: 189-200.
- [7] Zhang M, Mu H L, Ning Y D. Accounting for energy-related CO₂ emission in China, 1991-2006. *Energy Policy*, 2009, 37(3): 767-773.
- [8] Ye B, Jiang J J, Li C S, Miao L X, Tang J. Quantification and driving force analysis of provincial-level carbon emissions in China. *Intergovernmental Panel on Climate Change. Applied Energy*, 2017, 198: 223-238.
- [9] Ren L J, Wang W J, Wang J C, Liu R T. Analysis of energy consumption and carbon emission during the urbanization of Shandong Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 103: 534-541.
- [10] 林伯强, 黄光晓. 梯度发展模式下中国区域碳排放的演化趋势——基于空间分析的视角. *金融研究*, 2011, (12): 35-46.
- [11] Lin B Q, Sun C W. Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China. *Energy Policy*, 2010, 38(1): 613-621.
- [12] 齐绍洲, 付坤. 低碳经济转型中省级碳排放核算方法比较分析. *武汉大学学报: 哲学社会科学版*, 2013, 66(2): 85-92.
- [13] Geng Y H, Tian M Z, Zhu Q A, Zhang J J, Peng C H. Quantification of provincial-level carbon emissions from energy consumption in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(8): 3658-3668.
- [14] 蔡博峰, 王金南. 长江三角洲地区城市二氧化碳排放特征研究. *中国人口·资源与环境*, 2015, (10): 45-52.
- [15] Liu L C, Liang Q M, Wang Q. Accounting for China's regional carbon emissions in 2002 and 2007: production-based versus consumption-based principles. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 103: 384-392.
- [16] Tan X C, Dong L L, Chen D X, Gu B H, Zeng Y. China's regional CO₂ emissions reduction potential: a study of Chongqing city. *Applied Energy*, 2016, 162: 1345-1354.
- [17] Mi Z F, Zhang Y K, Guan D B, Shan Y L, Liu Z, Cong R G, Yuan X C, Wei Y M. Consumption-based emission accounting for Chinese cities. *Applied Energy*, 2016, 184: 1073-1081.
- [18] 杨秀, 付琳, 丁丁. 区域碳排放峰值测算若干问题思考: 以北京市为例. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(10): 39-44.
- [19] 王海鲲, 张荣荣, 毕军. 中国城市碳排放核算研究——以无锡市为例. *中国环境科学*, 2011, 31(6): 1029-1038.
- [20] 赵荣钦, 张帅, 黄贤金, 秦耀辰, 刘英, 丁明磊, 焦士兴. 中原经济区县域碳收支空间分异及碳平衡分区. *地理学报*, 2014, 39(10): 1425-1437.
- [21] 刘建, 李月臣, 曾喧, 唐付平. 县域土地利用变化的碳排放效应——以山西省洪洞县为例. *水土保持通报*, 2015, 35(1): 262-266, 363-363.
- [22] 朱妮, 张艳芳, 位贺杰. 县域尺度下能源产区能源消费碳排放强度空间分异——以陕西省榆林市为例. *地域研究与开发*, 2014, 33(6): 164-169.
- [23] 刘晓, 王铮, 邓吉祥. 配额目标约束下区域减排的最优控制率. *生态学报*, 2016, 36(5): 1380-1390.
- [24] Wu L B, Kaneko S, Matsuoka S. Driving forces behind the stagnancy of China's energy-related CO₂ emissions from 1996 to 1999: the relative importance of structural change, intensity change and scale change. *Energy Policy*, 2005, 33(3): 319-335.
- [25] 国家统计局工业交通统计司. 中国能源统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2005-2016.
- [26] 王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究. *经济研究*, 2010, (2): 123-136.
- [27] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. (2010-07-12). <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- [28] IEA. CO₂ Emissions from fuel combustion 2016. (2016-07-29). http://www.oecd-ilibrary.org/energy/co2-emissions-from-fuel-combustion-2016_co2-fuel-2016-en.
- [29] 朱松丽, 汪航, 王文涛, 周湘, 刘燕华. “十二五”期间中国区域低碳经济与国土空间开发格局的协调发展研究. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(9): 135-142.
- [30] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2005-2016.
- [31] 广州市/中山市/汕头市/潮州市统计局. 广州市/中山市/汕头市/潮州市统计年鉴. 广州: 广州市统计出版社, 2005-2016.
- [32] 杨子晖. 经济增长、能源消费与二氧化碳排放的动态关系研究. *世界经济*, 2011, (6): 100-125.
- [33] 杨子晖. “经济增长”与“二氧化碳排放”关系的非线性研究: 基于发展中国家的非线性 Granger 因果检验. *世界经济*, 2010, (10): 139-160.
- [34] 鲁万波, 仇婷婷, 杜磊. 中国不同经济增长阶段碳排放影响因素研究. *经济研究*, 2013, (4): 106-118.