

面向考核的城市碳强度核算方法

——基于生产和消费的双重视角

吴旭 胡晓娟 蔡和*

摘要:本文针对我国开展碳强度考核的需求,提出设区市碳强度考核的核算方法,并以浙江省为例,从生产视角和消费视角计算了11个设区市的全社会能源消费碳强度。结果表明:设区市碳强度考核的能源品种核算范围需基于省级能源平衡表的能源加工转换和终端消费关系确定;设区市全社会能源消费测算可结合规模以上工业行业能源消费量和省级能源平衡表两类数据,分部门计算;基于消费视角的年度碳强度和“十二五”累计碳强度下降率高于基于生产视角的结果,且基于消费视角核算的年际变化趋势更稳定,符合设区市经济社会发展状况。本文建议应逐步完善设区市能源消费统计体系,减小基于消费视角的设区市碳强度核算方法的不确定性,加强与省级碳强度核算和温室气体清单能源消费碳排放核算结果的衔接。

关键词:能源终端消费;碳排放核算;生产视角;消费视角

一、引言

能源消费碳排放占全球温室气体排放的78%,是温室气体排放的最大来源(IPCC, 2014)。作为世界上最大的能源消费和碳排放国,中国消费了全球23%的能源(British Petroleum, 2017),并造成约25%的碳排放(Shan et al., 2016a)。在我国提交给联合国的国家自主贡献中,确定了到2030年左右达到碳排放峰值、单位GDP碳排放(简称“碳强度”)较2005年水平下降60%~65%的目标。开展碳强度目标考核是我国落实国家自主贡献碳减排目标的重要政

*吴旭,浙江大学经济学院,浙江省应对气候变化与低碳发展合作中心,邮政编码:310006,电子信箱:wx@zei.gov.cn;胡晓娟,浙江省应对气候变化与低碳发展合作中心,邮政编码:310006,电子信箱:hxxj@163.com;蔡和,浙江省应对气候变化与低碳发展合作中心,邮政编码:310006,电子信箱:ch@zei.gov.cn。

本文系中国博士后科学基金第61批面上资助项目“基于碳视角的城市产品和服务供给价值研究”(2017M611964)的阶段性成果。感谢匿名审稿人提出的宝贵意见。文责自负。

策手段。2016年,中共中央、国务院正式印发《生态文明建设目标评价考核办法》,确定将单位GDP二氧化碳排放降低率纳入“十三五”期间正式开展的年度评价和五年考核指标。同年,国务院印发《“十三五”控制温室气体排放工作方案》,指出要加强对省级人民政府控制温室气体排放目标完成情况的评估、考核,建立责任追究制度,逐步建立完善省市两级行政区域能源碳排放年度核算方法和报告制度,并将“十三五”碳强度降低目标分解到31个省、市和自治区(不包含香港、澳门和台湾地区)。随后,各省、市和自治区陆续出台省级“十三五”控制温室气体排放工作方案,将省级“十三五”碳强度降低目标分解到各设区市^①,并明确将开展年度考核工作。由此,针对能源消费来降低碳强度的目标考核已上升成为国家战略,而落实降低碳强度的目标任务的重要途径则是开展省市两级考核。因此,如何构建与省级能源消费碳排放衔接的设区市能源消费碳强度核算体系是当前面临的迫切问题。

国内外已有较多学者围绕城市能源消费碳排放开展了核算与分析(Dhakal, 2009; 张晚成、杨旸, 2010; Kennedy et al., 2011; 黎水宝等, 2015),而关于如何准确核算城市能源消费碳排放仍存在争议(Steininger et al., 2014)。从碳排放责任主体角度出发,城市能源消费碳排放主要可分为基于生产视角和消费视角两大类。基于生产视角的碳排放核算方法主要核算城市行政边界内人类生产和生活直接消费的化石能源碳排放,该方法在实践中应用较为广泛,影响力较大的如《IPCC 国家温室气体清单指南》,不仅被应用于国内外研究(Avignon et al., 2010; 黎水宝等, 2015; Shan et al., 2016b),也被应用于我国省级温室气体清单编制的实践中。尽管基于生产视角核算城市碳排放方法较成熟,能识别当地重要排放源并采取有效减排控碳措施,但由于城市与外部区域进行物质和能量交换时产生大量的间接排放,基于消费视角核算碳排放能更科学地体现城市减排责任,避免“碳泄漏”(丛建辉等, 2014)。因此,也有较多学者开展基于消费视角的城市碳排放核算和比较研究(Peters & Hertwich, 2008; Davis & Caldeira, 2010; 刘竹等, 2011; 王海鲲等, 2011),认为电力、热力消费隐含的间接排放应纳入考虑范围(Erickson et al., 2012; Kennedy et al., 2015)。国际地方环境理事会发布的《ICLEI 指南》则从实践角度对城市直接和间接碳排放核算方法进行了自下而上的探索(ICLEI, 2009),但在具体应用于中国城市能源消费碳强度核算时,也面临诸如边界不清晰、统计资料缺乏、计算过程复杂和结果误差较大等实际问题。同时,还有学者认识到城市清单核算的能源消费碳排放应该与省级清单形成对接(庄贵阳等, 2014),并有学者提出建立“国家-地区-城市-行业”四位一体的能源碳排放统计核算体系(何艳秋等, 2015)。

上述研究主要聚焦于生产视角和消费视角的城市能源消费碳排放核算方法的差异和案例分析,但大多数仍停留在理论分析方面,在应用到我国碳排放强度考核方面仍存在以下不

^① 指设立下辖区(县)的城市,少数未设立下辖区(县)的城市不在本文研究之列。

足:(1)研究对象概念与研究边界不一致。大多数研究沿用发达国家的城市概念作为研究对象,但在案例研究时仍采用设区市范围的能源消费数据,即包括城市建成区和农村地区(刘竹等,2011;王海鲲等,2011);(2)城市能源碳排放核算纳入能源品种尚未统一,导致案例分析中多样化的能源品种类型(Dhakal, 2009;张晚成、杨旸,2010;刘竹等,2011);(3)设区市级能源碳排放基础统计数据不够完善,全社会消费口径的能源统计体系和推算方法仍未统一(Shan et al., 2016a),不能满足碳强度考核中具备较强可操作性的需求;(4)基于生产视角和消费视角的能源碳排放核算方法在实践应用中的量化比较刚起步(Mi et al., 2016),鲜有讨论全社会能源消费口径下两种核算方法的异同,尤其未能对电力消费产生的间接碳排放问题进行比较探讨,亟需补充案例研究。针对以上不足,本文从国家碳考核的实际需求出发,以中国行政体系下的设区市为研究对象,建立既能全面反映能源消费情况、又符合统计现状的能源消费品种体系,提出操作性较强的设区市全社会一次能源消费量和碳排放强度测算方法,进一步比较基于生产视角和消费视角的两种能源碳排放核算方法在实践应用中的优劣,并提出政策建议。

二、设区市全社会能源消费量测算方法

(一)设区市碳强度考核的能源品种核算范围

在已有的城市能源消费碳排放研究中,大多数研究均基于《中国能源统计年鉴》中《能源平衡表》提供的能源分类,再进行不同程度地增减,但均无统一的核算标准(Dhakal, 2009;刘竹等,2011;王海鲲等,2011;杨喜爱等,2012;Sugar et al., 2012;黄和平、王丽影,2017)。为满足设区市碳强度考核的需求,需要整理一套全面、符合统计实际、操作性较强的设区市能源品种统计口径。本研究基于中国能源平衡表,建立设区市主要能源加工转换和终端消费示意图,见图1。

1. 煤炭

能源平衡表中煤炭主要包括:原煤、洗精煤、其他洗煤、煤制品、煤矸石、焦炭、焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、其他煤气和其他焦化产品。其中,原煤绝大多数用于加工转换,经加工转换后的煤炭品种也大多数都被燃烧,仅有较少部分用于工业原材料。为简化设区市碳强度考核时面临的复杂煤炭品种,并避免重复计算,可不用单独统计焦炭、焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、其他煤气和其他焦化产品等煤炭品种,因为这些均是多个煤炭品种加工转换后得到或是中间过程的副产物,且基本用于发电、供热和终端燃烧消费,故统计加工转换前的煤炭品种即可基本覆盖其燃烧消费量。因此,统计用于发电、供热和终端消费的原煤、其他洗煤、煤矸石和型煤(煤制品),以及用于加工转换和终端消费的洗精煤等5类煤炭品种消费量(图1),即可满足设区市碳强度考核的需求。

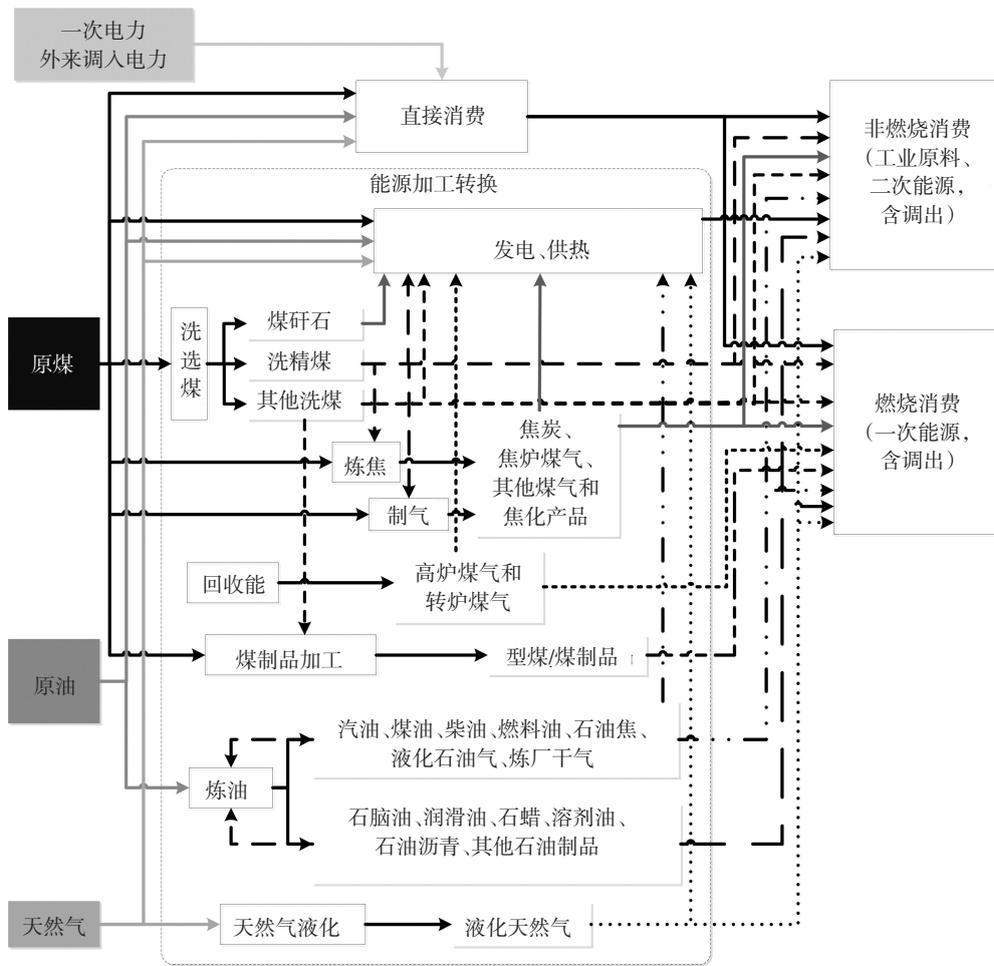


图1 设区市主要能源加工转换和终端消费示意图

2. 油品

能源平衡表中油品主要包括:原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、石脑油、润滑油、石蜡、溶剂油、石油沥青、石油焦、液化石油气、炼厂干气和其他石油制品。其中,原油绝大多数用于炼油,经过加工转换后用于燃烧消费的油品主要包括汽油、煤油、柴油、燃料油、石油焦、液化石油气和炼厂干气,而石脑油主要用作生产各类油品的重整和化工原料或溶剂,润滑油、石蜡、溶剂油、石油沥青和其他石油制品等主要用于非燃烧的用途,故可不考虑其燃烧碳排放。因此,统计用于发电、供热和终端消费的原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、石油焦、液化石油气和炼厂干气等8类油品消费量,即可满足设区市碳强度考核的需求。

3. 天然气

能源平衡表中天然气主要包括天然气和液化天然气,其中液化天然气是天然气液化的产物,因此统计用于发电、供热和终端消费的天然气和液化天然气等2类天然气消费量,即可满足设区市碳强度考核的需求。

4. 电力

能源平衡表中电力有一次电力生产、调入和调出的统计口径,故各设区市需考虑一次电力生产、外来调入电力和本市调出电力。

(二) 设区市全社会一次能源终端消费量测算

全社会一次能源消费可分为第一产业、第二产业、第三产业和居民生活部门的能源消费量。其中,第二产业可分为工业和建筑业,第三产业可分为交通运输业和其他行业。对于省级和部分设区市来说,可基于能源平衡表核算出全社会能源消费量,但我国大多数设区市能源统计体系中仅有规模以上工业行业的能源消费量(Shan et al., 2016a),故本研究将基于各设区市规模以上工业行业的能源消费量、省级能源平衡表和具有可得性的相关统计指标,构建设区市分部门的全社会能源消费量测算体系。

1. 全行业工业能源消费量推算方法

基于各设区市规模以上工业能源消费总量(E_{ind-Ai}),按如下步骤推算全行业工业能源消费量。

(1) 计算调整的规模以上工业终端消费总量(E_{ind-ai})。从各设区市规模以上工业消费总量中扣减规模以下工业行业通常不存在的发电、供热、炼焦或炼油等用于能源加工转换的能源消费量($E_{加工转换i}$),得到各设区市调整的规模以上工业终端消费总量,即:

$$E_{ind-ai} = E_{ind-Ai} - E_{加工转换i} \quad (1)$$

(2) 计算全省规模以下工业能源消费量推算值(E_{ind-bi})。基于规模以下工业增加值($V_{规下}$)和规模以上工业增加值比例($V_{规上}$),利用调整的规模以上工业终端消费量,得到全省规模以下工业终端能源消费量推算值,即:

$$E_{ind-bi} = E_{ind-ai} \times \frac{V_{规下i}}{V_{规上i}} \quad (2)$$

(3) 计算各设区市规模以下工业能源消费量占比(ρ_i)。基于各设区市规模以下工业能源消费量推算值(E_{ind-bi})占全省规模以下工业能源消费推算量($\sum E_{ind-bi}$)总和,得到各设区市规模以下工业能源消费量占比,即:

$$\rho_i = \frac{E_{ind-bi}}{\sum E_{ind-bi}} \quad (3)$$

(4) 计算各设区市规模以下工业能源消费总量(E_{ind-Bi})。基于省级能源平衡表,计算得到全省规模以下工业能源消费总量(E_{ind-B}),再根据 ρ_i ,将全省规模以下工业能源消费总量分配到各设区市,即:

$$E_{ind-Bi} = E_{ind-B} \times \rho_i \quad (4)$$

(5)计算各设区市全行业工业能源消费量(E_{indi}):

$$E_{indi} = E_{ind-Ai} + E_{ind-Bi} \quad (5)$$

通过以上推算方法,既考虑了各设区市自身规上和规下工业结构比例,又与全省能源消费总量进行了衔接,保证各设区市工业行业能源消费量总和与全省工业行业能源消费量保持一致。

2. 建筑业能源消费量推算方法

按照各设区市建筑施工面积占全省比重(μ_i),基于省级能源平衡表,将全省建筑业能源消费总量(E_{cons})分解得到各设区市第二产业中的建筑业能源消费量(E_{consi}),即:

$$E_{consi} = E_{cons} \times \mu_i \quad (6)$$

3. 第一产业和第三产业能源消费量推算方法

分别按照各设区市第一产业、第三产业中交通运输业和其他行业的增加值占全省总和的比重($\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$),基于省级能源平衡表,将全省第一产业、第三产业中交通运输业和其他行业能源消费总量($E_{agr}, E_{com}, E_{oth}$)分解得到各设区市第一产业、第三产业中交通运输业和其他行业能源消费量($E_{agri}, E_{comi}, E_{othi}$),即:

$$E_{agri} = E_{agr} \times \alpha_i \quad (7)$$

$$E_{comi} = E_{com} \times \beta_i \quad (8)$$

$$E_{othi} = E_{oth} \times \gamma_i \quad (9)$$

4. 居民生活能源消费量推算方法

按照各设区市常住人口占全省总常住人口的比重(λ_i),基于省级能源平衡表,将全省居民生活能源消费总量(E_p)分解得到各设区市居民生活能源消费量(E_{pi}),即:

$$E_{pi} = E_p \times \lambda_i \quad (10)$$

三、设区市全社会能源消费碳排放核算方法

为比较两种能源消费碳排放强度核算方法在设区市碳强度考核实践中的优劣,根据设区市全社会一次能源消费量测算结果,构建基于生产视角和消费视角的设区市全社会能源消费碳排放强度测算方法,下文进行详细的介绍。

(一)基于生产视角的碳排放测算

基于生产视角核算设区市全社会能源消费碳排放(C_{pro})时,主要核算全社会煤炭、油品和天然气等一次能源消费量带来的直接碳排放,再加上电力和热力净调入调出带来的间接碳排放。由于热力的传输范围较小,通常不会跨设区市运输,故本研究仅考虑电力净调入调出带来的间接碳排放。具体核算公式如下:

$$C_{pro} = (E_{ci} - E_{rci}) \times EF_c + (E_{oi} - E_{roi}) \times EF_o + (E_{ni} - E_{rmi}) \times EF_n + E_{ei} \times EF_e \quad (11)$$

式(11)中, E_{ci} , E_{oi} 和 E_{ni} 为第 i 个设区市煤炭、石油和天然气等一次能源的消费量(吨标煤); E_{rci} , E_{roi} 和 E_{rmi} 为第 i 个设区市煤炭、石油和天然气用作工业原料的消费量(吨标煤); EF_c , EF_o 和 EF_n 为第 i 个设区市煤炭、石油和天然气的碳排放因子(吨 CO₂/吨标煤),本研究采用国家发展和改革委员会在“十二五”考核期间公布的缺省值,分别为2.64、2.08和1.63^①; E_{ei} 为第 i 个设区市电力净调入(调出)量, EF_e 为电力净调入(调出)的碳排放因子(kgCO₂/kwh)。其中,电力净调入的设区市采用省级统一排放因子,可参考国家发展和改革委员会2016年公布的2012年省级电网平均二氧化碳排放因子或根据本省实际情况计算得到,公式如下:

$$EF_{e净调入} = \frac{\text{全省用于发电的煤油气碳排放} + \text{全省电力净调入量碳排放}}{\text{全省用电量}} \quad (12)$$

电力净调出的设区市采用本市发电碳排放因子,由下式计算得出:

$$EF_{e净调出} = \frac{\text{本市用于发电的煤油气碳排放}}{\text{本市发电量}} \quad (13)$$

(二)基于消费视角的碳排放测算

基于消费视角核算设区市全社会能源消费碳排放(C_{con})时,主要核算除电力外全社会煤炭、油品和天然气等一次能源的终端消费量带来的直接碳排放,再加上全社会用电量蕴含的间接碳排放。具体核算公式如下:

$$C_{con} = (E_{fci} - E_{rci}) \times EF_c + (E_{foi} - E_{roi}) \times EF_o + (E_{fni} - E_{rmi}) \times EF_n + E_{wei} \times EF_{e净调入} \quad (14)$$

(14)式中, E_{fci} , E_{foi} 和 E_{fni} 为第 i 个设区市煤炭、石油和天然气等一次能源的终端消费量(吨标煤); E_{rci} , E_{roi} 和 E_{rmi} 为第 i 个设区市煤炭、石油和天然气用作工业原料的消费量(吨标煤); EF_c , EF_o 和 EF_n 为第 i 个设区市煤炭、石油和天然气的碳排放因子(吨 CO₂/吨标煤),本研究采用国家发展和改革委员会在“十二五”考核期间公布的缺省值,分别为2.64、2.08和1.63; E_{wei} 为第 i 个设区市全社会电力消费量, $EF_{e净调入}$ 为各设区市电力的碳排放因子(kgCO₂/kwh)。采用全省统一的排放因子,可保持各设区市电力消费碳排放与全省电力消费碳排放衔接,可与基于生产视角核算的碳排放对比,并满足设区市碳考核的要求。

四、案例研究:以浙江省11个设区市为例

为比较基于生产视角和消费视角的两种碳排放核算方法在面向设区市的碳强度考核中的优劣,本研究基于上述方法,以浙江省2010-2015年的能源消费数据为例,开展对“十二五”

①数据来源于 http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201605/t20160525_804513.html。

时期浙江省11个设区市碳排放强度情况的实证分析。

(一)数据来源及处理

省级能源平衡表、规模以上工业能源消费量和用于推算的增加值等数据均来自省统计部门、电力部门和《浙江省统计年鉴》。

就煤炭看,由于浙江省其他洗煤和煤矸石的消费量仅占全省煤炭消费总量的0.1%左右,且在“十二五”期间逐年减少,故本研究采用的各设区市规模以上工业煤炭消费口径为原煤(包括无烟煤、烟煤和褐煤)、洗精煤和煤制品,并需要区分出用于发电和炼焦的消费量。

就油品看,由于浙江省2015年已无原油终端消费,仅作为是生产各类油品的原料,为避免重复计算,本研究采用的各设区市规模以上工业油品消费口径为汽油、煤油、柴油、燃料油、石油焦、液化石油气和炼厂干气,并需要区分出用于发电和炼油消费量。就天然气看,本研究采用的各设区市规模以上工业天然气消费口径为天然气和液化天然气,并需要区分出用于发电的消费量。

就电力数据看,基于生产视角的碳排放核算电力净调入或调出量时采用各设区市全社会用电量和发电量之间的差值,基于消费视角的碳排放核算电力终端消费量时则采用各设区市全社会电力消费量扣减非化石能源部分的数据,这样可以体现各地市在发展非化石能源方面的工作,引导各设区市大力发展新能源,对浙江省而言,新能源的扣减范围包括太阳能、风电和生物质发电。核电考虑到是全省布局,各设区市无主动权,水电考虑到全省未来的发展潜力有限,故均不纳入扣减范围。

就增加值看,本研究对于第一产业、第二产业、第三产业和交通运输业增加值均采用2010年价的增加值来进行能源消费量的推算和各年碳强度的计算,以剔除年度间价格波动因素。由于统计口径原因,舟山市和丽水市在推算中存在2010年价规模以上工业增加值大于全行业工业增加值的不合理现象,故对于规模以上工业增加值和全行业工业增加值,本研究采用2015年价倒推至2010年价的算法,以保证全省的一致性和可比性。

(二)碳排放强度测算

基于生产视角和消费视角的碳排放核算方法,各设区市碳强度(CI_i)相较基准年的碳排放强度计算公式如下:

$$CI_i = \frac{C_{pro(con)i}}{V_i \times (1+a_{i1}) \times \dots \times (1+a_{it})} \quad (15)$$

(15)式中, $C_{pro(con)i}$ 为第*i*个设区市基于生产(消费)视角的碳排放; V_i 为第*i*个设区市的地区生产总值, a_{i1} 为第*i*个设区市地区生产总值的第1年的增速, a_{it} 为第*i*个设区市地区生产总值的第*t*年的增速。

(三)基于生产视角的碳强度下降率年际变化

如表1所示,“十二五”期间,基于生产视角核算的浙江省11个设区市碳强度年度平均下降率为2.97%~8.54%,且各设区市碳强度年度下降率呈现出较大的年际波动。其中,波动最大是丽水市,变异系数达到5.73,为全省碳强度年度下降率变异系数的13倍;最小的是衢州市,仅为0.36,低于全省碳强度年度下降率变异系数。这主要因为丽水市是化石能源消费小市,但大量消费本市生产的水电,水电受到年际间降水量等气候因素影响较大,水电生产量较多时为电力净调出市,电力碳排放因子较小,而生产量较少时为电力净调入市,电力碳排放因子较大,故导致碳强度出现年际间突然增加或减少的情况;衢州市是化石能源消费大市,而较少消费电力,且一直是电力净调入,故碳强度下降率年际波动较小。

表1 基于生产视角的浙江省11个设区市碳强度年度下降率

地市	年度下降率					年度平均下降率 ±标准差	变异系数
	2011	2012	2013	2014	2015		
杭州	0.96%	7.58%	6.18%	9.47%	9.33%	6.70% ± 3.48%	0.52
宁波	-1.73%	5.67%	4.16%	6.25%	0.47%	2.97% ± 3.46%	1.17
温州	0.59%	9.09%	5.54%	7.58%	1.03%	4.77% ± 3.83%	0.80
嘉兴	2.77%	3.42%	5.14%	7.55%	12.21%	6.22% ± 3.83%	0.62
湖州	8.96%	8.09%	8.43%	8.29%	2.22%	7.20% ± 2.80%	0.39
绍兴	7.92%	14.34%	4.36%	8.28%	7.82%	8.54% ± 3.61%	0.42
金华	3.79%	9.27%	9.54%	7.82%	2.03%	6.49% ± 3.39%	0.52
衢州	6.05%	5.45%	10.99%	7.23%	4.81%	6.91% ± 2.45%	0.36
舟山	7.05%	10.92%	3.19%	6.37%	6.46%	6.80% ± 2.75%	0.41
台州	0.14%	8.90%	0.80%	6.53%	3.02%	3.88% ± 3.76%	0.97
丽水	-31.72%	32.18%	-8.78%	17.52%	12.58%	4.35% ± 24.95%	5.73
全省	2.20%	8.39%	5.51%	7.83%	5.09%	5.80% ± 2.47%	0.43

(四)基于消费视角的碳强度下降率年际变化

如表2所示,“十二五”期间,基于消费视角核算的浙江省11个设区市碳强度年度平均下降率为4.90%~8.83%,且各设区市碳强度年度下降率呈现出较为平稳的年际波动。其中,波动最大是宁波市,变异系数达到0.85,最小的是湖州市,仅为0.20。这主要因为宁波市在浙江省是化石能源消费和电力消费大市,年际间的重工业项目投产安排对能源消费影响较大,而湖州市则一直比较稳定地调整和优化能源消费结构。

表 2 基于消费视角的浙江省 11 个设区市碳强度年度下降率

地市	年度下降率					年度平均下降率 ± 标准差	变异系数
	2011	2012	2013	2014	2015		
杭州	3.76%	7.68%	7.07%	9.29%	7.99%	7.16% ± 2.07%	0.29
宁波	-0.94%	7.93%	7.92%	7.78%	1.84%	4.90% ± 4.19%	0.85
温州	4.26%	9.21%	8.65%	8.62%	8.31%	7.81% ± 2.01%	0.26
嘉兴	1.52%	6.39%	5.90%	6.54%	6.14%	5.30% ± 2.13%	0.40
湖州	6.54%	8.65%	9.75%	7.20%	6.13%	7.65% ± 1.51%	0.20
绍兴	6.01%	11.65%	9.56%	7.69%	8.06%	8.59% ± 2.12%	0.25
金华	6.37%	10.55%	11.06%	9.77%	6.39%	8.83% ± 2.28%	0.26
衢州	8.56%	3.26%	12.24%	6.54%	3.81%	6.88% ± 3.68%	0.53
舟山	6.17%	12.55%	5.57%	5.66%	7.19%	7.43% ± 2.93%	0.40
台州	1.74%	8.65%	5.00%	7.66%	6.25%	5.86% ± 2.69%	0.46
丽水	-0.95%	8.68%	7.71%	9.04%	9.02%	6.70% ± 4.31%	0.64
全省	3.41%	8.35%	8.15%	8.06%	6.15%	7.16% ± 2.11%	0.29

(五) 基于生产视角和消费视角的“十二五”累计碳强度下降率对比

如图 2 所示,除嘉兴、丽水外,基于消费视角的浙江省设区市“十二五”累计碳强度下降率均比基于生产视角的结果高,但各设区市间差异(变异系数 0.16)小于基于生产视角(变异系数 0.24)的累计碳强度下降率。嘉兴和丽水由于是净电力调出市,且在“十二五”期间有较多电力调出,故从一定程度上减缓了核算碳排放总量的增速,使得碳强度下降速率变快。

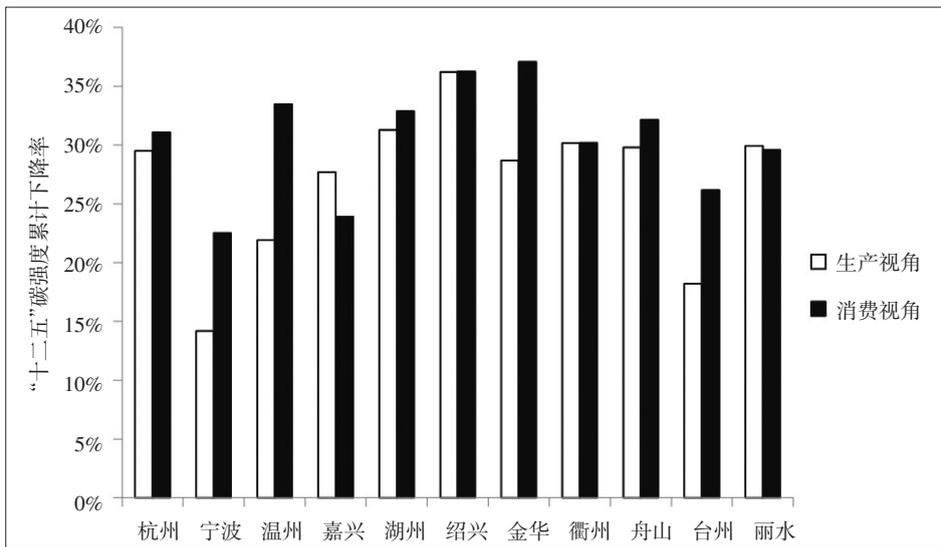


图 2 基于生产视角和消费视角的浙江省 11 个设区市“十二五”累计碳强度下降率

(六) 基于生产视角和消费视角的年度碳强度对比

如图3所示,从全省和各设区市六年的碳强度对比情况来看,除宁波、舟山、台州和温州、湖州、绍兴、金华的部分年份外,基于消费视角的碳强度均大于基于生产视角的碳强度。其中,嘉兴和丽水的两种方法碳强度差距较大,主要因为两市核电和水电调出量较大,且发电过程却无碳排放,基于生产视角核算的碳排放量较小;衢州则主要因为煤炭消费量较多,且本地发电碳排放因子低于全省平均,电力净调入较少,故基于生产视角核算的碳排放量也偏小。就生产视角核算碳排放较高的设区市看,宁波、舟山和台州主要因为发电、供热、炼焦和炼油等加工转换过程煤炭消费量较大,且均为电力净调出地区,发电类型为火电,净调出电量带来的碳排放扣减不足以抵消发电过程大量的碳排放;温州、湖州、绍兴、金华的部分年份基于生产视角核算碳排放较高也主要因为用于加工转换的能源消费量增加。可见,加工转换过程能源消费量的准确性是未来建立完善设区市能源统计体系的重点之一。

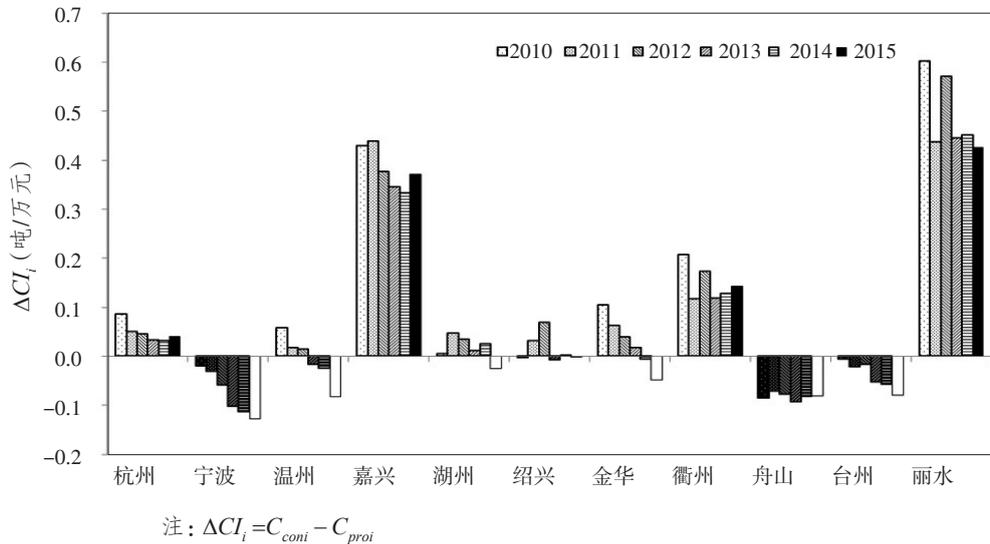


图3 基于生产视角和消费视角的浙江省11个设区市碳强度差异

五、结论与政策建议

本研究基于设区市碳强度考核需求,以设区市行政边界为研究对象,探讨了全社会一次能源消费量和碳排放强度的测算方法,并以浙江省11个设区市2010-2015年能源消费碳排放数据为实证,分析比较基于生产视角和消费视角的两种能源碳排放核算方法的差异,可得到以下基本结论:

(1) 设区市碳强度考核的能源品种核算范围需基于能源平衡表的能源加工转换和终端消费的关系及设区市统计现状确定。在设区市考核中,煤炭统计口径考虑用于发电、供热和终端消费的原煤、其他洗煤、煤矸石和型煤(煤制品),以及用于加工转换和终端消费的洗精煤等

5类,油品统计口径考虑统计用于发电、供热和终端消费的原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、石油焦、液化石油气和炼厂干气等8类,天然气统计口径考虑用于发电、供热和终端消费的天然气和液化天然气等2类,则既可以较全面涵盖用于燃烧的碳排放、又能够满足碳强度考核实际操作需求。各省级人民政府在开展设区市碳强度考核中,可结合本地能源消费结构适当对以上品种进行调整。

(2)设区市全社会一次能源消费测算可基于不同部门,结合规模以上工业能源消费量和省级能源平衡表两类数据开展。在推算各设区市全社会一次能源消费量时,第二产业的工业部门需基于规模以上工业能源消费量推算规模以下工业能源消费量,第一产业、第二产业的建筑业、第三产业和居民生活消费部门需基于省级能源平衡表总量进行分配。通过以上测算方法,既考虑各设区市能源消费结构、又能较好满足设区市考核结果与省级考核结果保持一致性。

(3)基于消费视角的设区市碳排放强度测算方法更适合于设区市碳强度考核的需求。以浙江省11个设区市的实证结果看,基于消费视角核算的碳强度对于电力调入调出量较大以及可再生能源生产量较大的设区市而言年际间变化趋势较为稳定,而基于生产端核算的碳强度波动较大。基于消费视角的碳强度核算方法既能体现出各设区市实际能源消费量,与各设区市经济社会发展状况较为符合,又能有效避免年度碳强度下降出现较大年际波动,有利于开展年度碳强度考核工作。此外,通过浙江省的案例分析,基于消费视角的碳强度核算方法还可体现各市在发展光伏、风电等可再生能源方面的成效,真正实现碳强度考核“指挥棒”的作用,促进各地能源消费的低碳化转型。

以上结论对各省级人民政府开展设区市的碳强度考核具有实践操作的指导意义。目前,本研究提出的基于消费视角的碳强度核算方法与我国现行省级碳强度考核方式和温室气体清单编制中能源活动碳强度核算方法仍不一致,可能会在具体结果上有出入,未来需继续加强这方面的研究。同时,各设区市仍缺乏能源平衡表,分部门能源消费数据还需要通过推算获得,我国应尽快建立省市两级行政区的能源碳排放年度核算统计体系,形成完善的市、县(区)的能源统计标准,保证不同尺度碳排放强度核算的准确性和可衔接性。

参考文献:

- [1] 从建辉,刘学敏,赵雪如.城市碳排放核算的边界界定及其测度方法[J].中国人口·资源与环境,2014,24(4):19-26.
- [2] 何艳秋,倪方平,钟秋波.中国碳排放统计核算体系基本框架的构建[J].统计与信息论坛,2015,181(10):31-37.
- [3] 黄和平,王丽影.基于能源代谢分析的南昌市能源消费碳排放综合生态效率研究[J].生态学报,2017,37(12):4191-4197.

- [4] 黎水宝,程志,王伟,柳杨,王廷宁. 基于能源平衡表的宁夏二氧化碳排放核算研究[J]. 环境工程, 2015, 33(12): 130-133.
- [5] 刘竹,耿涌,薛冰,郝凤明,焦江波. 城市能源消费碳排放核算方法[J]. 资源科学, 2011, 33(7): 1325-1330.
- [6] 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[J]. 中国环境科学, 2011, 31(6): 1029-1038.
- [7] 杨喜爱,崔胜辉,林剑艺,徐礼来. 能源活动CO₂排放不同核算方法比较和减排策略选择[J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7135-7145.
- [8] 张晚成,杨旸. 城市能源消费与二氧化碳排放量核算清单——以上海市为例[J]. 城市管理与科技, 2010, (6): 17-21.
- [9] 庄贵阳,白卫国,朱守先. 基于城市电力消费间接排放的城市温室气体清单与省级温室气体清单对接方法研究[J]. 城市发展研究, 2014, 21(2): 49-53.
- [10] Avignon, A. D., F. A. Carloni, E. L. La Rovere, and C. B. S. Dubeux. Emission Inventory: An Urban Public Policy Instrument and Benchmark[J]. Energy Policy, 2010, 38(9): 4838-4847.
- [11] British Petroleum (BP). BP Statistical Review of World Energy[R]. 2017.
- [12] Davis, S. J. and K. Caldeira. Consumption-based Accounting of CO₂ Emissions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010, 107(12): 5687-5692.
- [13] Dhakal, S. Urban Energy Use and Carbon Emissions from Cities in China and Policy Implications[J]. Energy Policy, 2009, 37: 4208-4219.
- [14] Erickson, P., D. Allaway, M. Lazarus, and E. A. Stanton. A Consumption-based GHG Inventory for the U.S. State of Oregon[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(7): 3679-3686.
- [15] IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report[R]. 2014.
- [16] ICLEI. International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol Version 1.0[R]. 2009.
- [17] Kennedy, C. A., A. Ramaswami, S. Carney, and S. Dhakal. Greenhouse Gas Emission Baselines for Global Cities and Metropolitan Regions[M/OL]//Hoorweg, D., M. Freire, M. J. Lee, P. Bhadatata, and B. Yuen. Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda. (2011-06-02)[2017-07-25]. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/2312/626960PUB0Citi000public00BOX361489B.pdf?sequence=1>.
- [18] Kennedy, C., J. Steinberger, B. Gasson, Y. Hansen, T. Hillman, M. Havrůnek, D. Pataki, A. Phdungsilp, A. Ramaswami, and G. V. Mendez. Methodology for Inventorying Greenhouse Gas Emissions from Global Cities[J]. Energy Policy, 2015, 38(9): 4828-4837.
- [19] Mi, Z., Y. Zhang, D. Guan, Y. Shan, Z. Liu, R. Cong, X. C. Yuan, and Y. M. Wei. Consumption-based Emission Accounting for Chinese Cities[J]. Applied Energy, 2016, 184: 1073-1081.
- [20] Peters, G. P., and E. G. Hertwich. Post-Kyoto Greenhouse Gas Inventories: Production versus Consumption [J]. Climatic Change, 2008, 86(1): 51-66.
- [21] Shan, Y., D. Guan, J. Liu, Z. Liu, H. Schroeder, Y. Chen, and Q. Zhang. CO₂ Emissions Inventory of Chinese Cities[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2016a, (3): 1-26.
- [22] Shan, Y., J. Liu, Z. Liu, X. Xu, S. Shao, P. Wang, and D. Guan. New Provincial CO₂ Emission Inventories in China Based on Apparent Energy Consumption Data and Updated Emission Factors[J]. Applied Energy, 2016b, 184: 742-750.
- [23] Steininger, K., C. Lininger, S. Droege, D. Roser, L. Tomlinson, and L. Meyer. Justice and Cost Effectiveness of Consumption-based versus Production-based Approaches in the Case of Unilateral Climate Policies[J]. Global Environmental Change, 2014, 24: 75-87.

[24] Sugar, L., C. Kennedy, and E. Leman. Greenhouse Gas Emissions from Chinese Cities[J]. Journal of Industrial Ecology, 2012, 16(4): 552–563.

The Accounting Methods of Cities' Carbon Emission Intensity for Performance Evaluation: Based on Production Perspective and Consumption Perspective

Wu Xu^{a,b}, Hu Xiaojuan^b and Cai He^b

(a: School of Economics, Zhejiang University; b: Zhejiang Center for Climate Change and Low-carbon Development Cooperation)

Abstract: In order to satisfy the needs of carbon intensity performance evaluation in china, this paper explores the calculation method of cities' carbon emission intensity. Taking Zhejiang Province as a case, this paper also calculates the carbon intensity of the whole society energy consumption in 11 municipalities with districts based on production and consumption perspectives. Results show as follows. The calculation range of energy types for carbon intensity performance evaluation in municipalities with districts should be determined based on the relationships between energy processing, conversion and end consumption in the Provincial Energy Balance Table. We can calculate the whole society energy consumption from different departments, combining the energy consumption of industrial enterprises above designated size and the Provincial Energy Balance Table. The decline ratios of annual carbon intensity and the cumulative carbon intensity during 12th FYP Period based on the consumption perspective is higher than that based on the production perspective. The calculation results of variation trend between each year are more stable based on the consumption perspective, which is consistent with the socioeconomic development status. Therefore, we should put more attention on the improvement of energy consumption's statistics system on municipalities-level. Narrowing the uncertainties of carbon intensities based on the consumption perspective, and then enhancing the connection of the results on municipalities-level and provincial-level.

Keywords: Energy Terminal Consumption; Carbon Emission Accounting; Production Perspective; Consumption Perspective

JEL Classification: Q56, Q58

(责任编辑:朱静静)