DOI:10.19511/j.cnki.jee.2017.03.004

我国“十三五”碳排放路径预测：结构与趋势

汤维祺　鲁政委*

摘要：在过去的数十年中，我国实现了大幅度的节能减排，为全球气候治理作出了巨大的贡献。但工业部门低成本减排空间日渐萎缩，进一步大幅减排的难度和成本逐步高企。随着我国城镇化建设及收入的增长使建筑、交通以及生活等非工业部门碳排放占比不断提升，而这有望成为未来我国进一步推进减排的重要领域。本文借助LMDI法，对我国碳排放增长的驱动因素进行了分解分析，验证了工业能效的提升存在收敛较快的特征，难以长期持续地推动碳减排。进一步以LMDI分析框架为基础，从各推动因素出发逆推我国碳排放的总量与结构，结果也表明生活、交通以及服务业能耗将在“十三五”期间提供最主要的减排动力。因此，加快推动交通能效的提升、降低交通能耗，推广绿色低碳的交通出行模式，是实现碳减排目标的重要途径。

关键词：碳排放；LMDI；非工业部门；十三五

一、引言

深化节能减排、推动绿色低碳转型，是落实生态文明建设、实现绿色发展的重要抓手。自“十一五”以来，我国在节能减排方面作了大量的努力，并取得了举世瞩目的成就。按照国家发改委《可再生能源发展“十三五”规划》发布的数据，“十二五”期间碳强度下降超过了20%，非化石能源占比达到12%，可再生能源装机容量已占全球的四分之一，新增可再生能源装机容量占全球的三分之一，为全球应对气候变化作出了积极贡献。《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》则进一步设定了2020年前碳排放强度进一步下降18%的目标；而我国向联合国气候变化框架公约（UNFCCC）递交的《国家自主贡献预案（INDC）》则承诺到2030年，我国碳排放强度将比2005年下降60%～65%，我国节能减排工作还将进一步深入推进。

*汤维祺，兴业经济研究咨询股份有限公司，邮政编码：200041，电子信箱：tangwq@cib.com.cn；鲁政委，兴业经济研究咨询股份有限公司，邮政编码：200041，电子信箱：luzhengwei@cib.com.cn。

感谢匿名审稿人的宝贵建议，文责自负。

化石能源的使用，是人类活动碳排放的主要来源。根据世界银行《世界发展指数（WDI）》数据库的统计，2013年全球来自化石能源的碳排放占比达到了93.7%；国际能源署（IEA）的统计数据则显示能源系统温室气体排放占比为68%①。因此不难理解，全球碳排放的总体趋势在很大程度上由能源系统决定。对我国而言，由于我国总体上处于工业化过程中，承接了发达经济体大量高耗能产业转移，工业能耗占比较大。因此，推动高耗能产业节能减排，是我国过去很长时期中，推动落实减排目标的主要抓手。然而，从我国能源消费部门结构的历史变化趋势中不难看到，居民部门的生活能耗，以及交通部门、服务业的能耗占比近年来快速提升。根据国家统计局发布的数据，2015年我国工业能耗占总能耗比重达到68%，相比于"十二五"初期的74%下降了6个百分点。

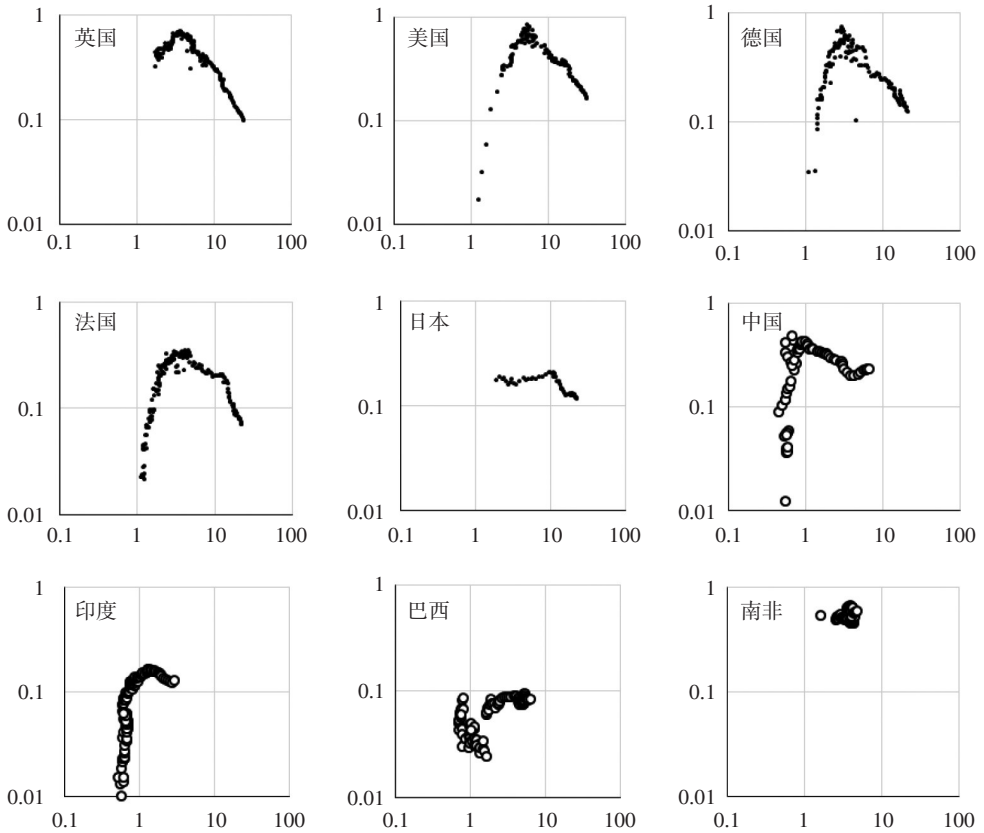
"十二五"期间我国工业的大规模节能改造带来的能效提升，固然是导致工业能耗下降的原因之一，但另一方面，我国产业结构升级、服务业快速发展却带来了交通物流能耗、建筑能耗的提升，以及居民收入的提高、城镇化建设的深化带来了交通及生活能耗的增长。不可否认，我国的减排形势以及减排潜力的分布已经发生了深远的结构性变化，而这种变化在进入"十三五"以后，还将继续深化。而要进一步实现我国承诺的大幅减排目标，就需要把握未来一段时期内我国碳排放总量与结构变化的趋势特征，优化工作部署、挖掘减排潜力。

为此，本文拟首先归纳和对比全球及各主要发达经济体的能耗与碳排放历史变化趋势，探究总量及结构变化背后的推动因素，并以此为参照，对我国未来碳排放的变化趋势进行预测和分析。

二、国内外研究综述

碳排放的库兹涅茨曲线（CKC），是全球及地区碳排放增长路径最先被观察到的规律（Itkonen, 2012）。国别研究的结果表明，大部分发达经济体在进入21世纪之前大多已经出现了较明显的碳排放峰值，而碳排放强度则早在20世纪初甚至更早就出现了峰值。但多数发展中经济体则尚处在总能耗快速上升的阶段，且碳排放强度的变化也没有出现明显的下降趋势（如图1所示）。趋势特征的差异，显示了发达经济体与发展中经济体在碳排放总量变化推动因素上的差异。事实上产业结构、经济发展路径、技术进步路径，以及社会文化等多方面因素，加上资源禀赋的差异，都会导致各经济体碳排放路径出现变异。因此，归因分析是把握碳排放未来变化趋势进而分析潜在减排空间的重要手段。

①IEA统计的占比低于世界银行，主要原因在于IEA纳入了非CO_2温室气体。此外，这一数字近年来随着能源系统的去碳化而显著下降，2006年以前该占比超过80%。具体请参见IEA（2016）。



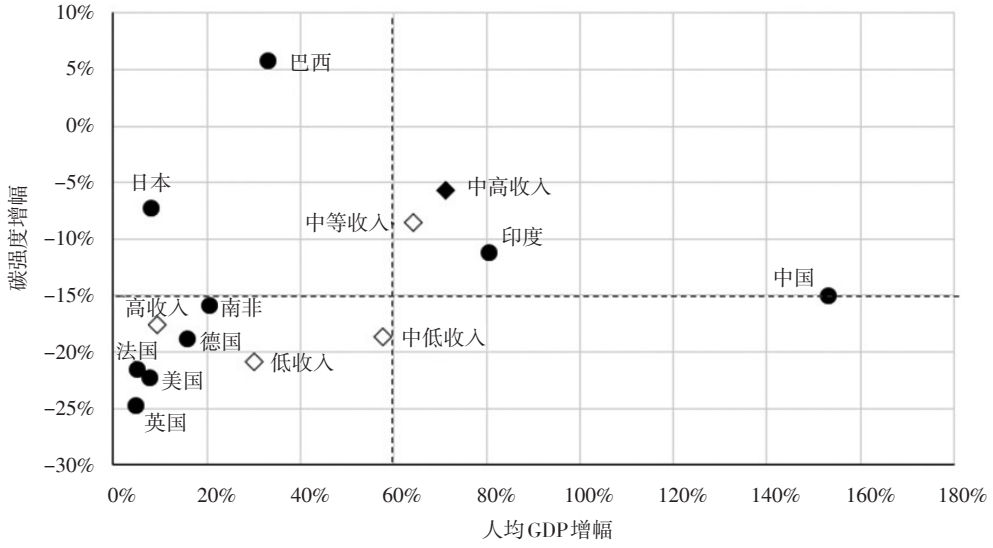
注：横轴为人均GDP（1990年国际元）对数值，纵轴为碳强度（吨/国际元）对数值；资料来源为CDIAC（http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_glob_2014.html）和GGDC（http://www.ggdc.net/MADDISON/oriindex.htm）。

图1　主要经济体碳排放强度与人均产出的关系

归因分析的目标是将目标变量的变化分解为各影响因素的贡献度。Feng等（2015）发表的研究，对美国在1997-2013年间的碳排放变化进行了归因分析。结果表明，1997-2007年间美国人均收入的增长带动消费增加，在很大程度上推高了总排放量；而随着2008年全球金融危机爆发，收入和消费大幅下降，加上持续作用的能源效率提升、产业结构与消费结构的轻型化升级，以及能源结构低碳化转型，使得碳排放总量快速下降。2016年，欧盟委员会组织ICF咨询公司、欧洲经济研究中心（ZEW）等多家研究机构开展了一项研究，对欧盟27个成员国1995-2012年间的碳排放进行了以LMDI为核心的因素分解分析（European Comission，2016）。结果表明，经济活动总规模的增长是推动欧洲碳排放上升的主要动力，但能源效率在过去十年中大幅提升，使得碳排放强度显著下降；同时各国国内产业结构的轻型化，以及低碳能源的占比提升，也都在一定程度上阻止了碳排放总量的上升。Schymura和Voigt（2014）则利用LMDI方法，对部分发展中经济体的碳排放增长进行了归因分析。与发达经济体的分析结果相比，发展中经济体碳排放强度以及能源结构变化带来的减排效果相对有限，不足以抵消经济总量快速增长带来的规模效应，导致总排放的上升。

全球产业转移的路径，是影响发达经济体和发展中经济体碳排放路径的重要因素。在全球化产业转移的过程中，发展中经济体承接了发达经济体大量高能耗、高排放的重化工业（“两高产业”），并依托产业转移带来的技术和生产力溢出，实现经济的快速增长。但这在客观上也使得发展中经济体的发展路径严重地倚重工业增长，使碳排放强度与经济增长出现同向变化的趋势。而与产业转移同时发生的技术溢出，则会“预支”发达经济体能源技术效率的提升，并使进一步提升工业能效难度加大。这就导致了承接发达经济体产业转移的中等及中高收入经济体经济增速较快，但碳强度下降幅度较低；而低收入经济体则相反（如图2所示）。Jobert等（2012）的研究也指出，发达经济体经济增长带来碳排放的下降，而发展中经济体的增长则反而会带来排放的增加。

针对我国碳排放的归因分析，国内研究沿袭了国外相关研究的路径，主要集中于从宏观角度，如经济发展、生产方式、产业结构、能源效率等方面入手，分析我国碳排放的驱动因素（Fan et al.，2007；魏一鸣等，2008；宋德勇、卢忠宝，2009；李小平、卢现祥，2010；张友国，2010；王锋等，2010；陈诗一，2011）。然而如前文所述，一方面，工业减排未来的潜力逐渐萎缩、减排成本不断提升；另一方面，随着居民收入的提升、第三产业的发展，交通、建筑能耗占比将逐渐提高，而这也可能成为我国未来减排的重要潜力来源，值得深入研究。但纳入非工业部门碳排放影响的研究，相形之下，比较缺乏。



注：实心原点表示单一经济体情况，空心菱形表示分组平均值；资料来源于世界银行《世界发展指数（WDI）》数据库。

图2　碳强度与人均GDP的动态变化对比（2003-2013年）

本文拟利用“对数平均迪维萨指数因子分解法（Log Mean Divisia Index，LMDI）”，通过在产业结构、能源效率等因素之外，进一步引入居民收入、汽车保有量、客货运周转等变量，细化

分析居民部门以及交通部门碳排放驱动因素。在此基础上，通过对LMDI分析框架下各项驱动因素的发展趋势进行预测，从而“自下而上”地对“十三五”期间我国碳排放总量与规模进行预测，探析我国进一步推进减排的潜在重点领域。

三、方法与数据

（一）研究方法

一个地区的碳排放可以分解为不同部门的排放：碳排放总量=农业排放+工业排放+建筑业排放+服务业排放+交通部门排放+生活部门排放；同时也可以分解为连续嵌套的影响因素，碳排放总量=（碳排放总量/一次能源消费量）×（一次能源消费量/GDP）×（GDP/人口）×人口①，对上式两边取对数并对时间求偏导，即可将碳排放量的变化分解为碳排放系数、能源消费强度、人均收入，以及人口增长四个因素变化的贡献度。然而在大部分情况下，并列与嵌套的影响因素并存，同时部分影响因素与目标变量之间的关系非线性，甚至存在不确定性，因此就需要更为复杂、系统化的方法。

LMDI作为一种典型的归因分析方法，因其使用简单、分解完全（无残差）、经济意义直观等特点，在相关研究中得到了广泛的应用（Ang & Liu, 2001；Ang，2015）。LMDI法通过构建扩展的Kaya恒等式并适当变形，将关系结构复杂的各个因子各自的贡献度分离出来，从而为进一步分析研究以及政策决策提供依据。

本文根据我国能源平衡表的结构，在行业维度上将总排放分解为农业（农、林、牧、渔、水利业）、工业、建筑业、服务业（批发、零售业和住宿、餐饮业，及其他非交通运输服务业），以及交通（交通运输、仓储和邮政业）和生活六个部门；在能源品种维度上，则分为煤炭、焦炭、石油、天然气、热力和电力六种。各部门排放由规模、产业结构、能源结构、能源技术效率等因素决定。据此，可以构建如下的扩展Kaya恒等式：

$$C=\sum_{i=1}^{4}\sum_{j}\frac{C_{ij}}{E_{ij}}\cdot\frac{E_{ij}}{E_i}\cdot\frac{E_i}{Y_i}\cdot\frac{Y_i}{Y}\cdot Y+\sum_{j}\frac{C_{5j}}{E_{5j}}\cdot\frac{E_{5j}}{E_5}\cdot\frac{E_5}{TD}\cdot VN\cdot VTD+\sum_{j}\frac{C_{6j}}{E_{6j}}\cdot\frac{E_{6j}}{E_6}\cdot\frac{E_6}{DI}\cdot P\cdot PDI \quad (1)$$

其中 C 表示碳排放；E 表示能耗；Y 表示经济产出；TD 表示公路运输周转量（由公路客运周转量和公路货运周转量构建而成，参见式（2）），等于民用汽车保有量（VN）与平均周转量（VTD）的乘积；DI 表示可支配收入总额，等于人口（P）乘以人均可支配收入（PDI）；下标 i 表示部门，$i(i=1, 2, \cdots, 6)$ 分别表示农业、工业、建筑业、服务业、交通、生活部门；$j(j=1, 2, \cdots, 6)$ 分别表示煤炭、焦炭、石油、天然气、热力和电力。

值得注意的是，我国《能源统计年鉴》中仅发布了交通部门总能耗数据，而没有区分公路、

①这一分解式即为著名的Kaya恒等式，由日本经济学家Yoichi Kaya于1998年提出，用以分析碳排放变化的推动力，具体请参见Kaya和Yokoburi (1998)。

水路与航空各自的能耗。由于公路交通运输在交通部门能耗中占据绝对的主导地位，加之物流体系的发展，以及生产、生活方式的改变，道路交通成为各类交通形式中最大的变化因素，因此本文仅考虑公路交通排放①。公路交通运输包含公路客运和货运两类，要综合反映公路交通运输的需求，需要对客运和货运进行综合度量。为此，本文对公路客运周转量、货运周转量与交通能耗的统计相关关系进行了检验：

$$E_5 = \underset{(2.685)}{0.8123}PTD + \underset{(5.434)}{0.3352}FTD + \underset{(1.590)}{3019.17} \tag{2}$$

(2)式中，PTD 为公路旅客周转量，FTD 为公路货运周转量，参数下括号内的数值为 t 统计量，两个变量的系数均在1%的水平上通过了显著性检验。根据上式，可以构建一个“公路交通运输综合周转量指标”：

$$TD = 0.8 \times PTD + 0.3 \times FTD \tag{3}$$

令 $EFS_{ij} = emf_j \times E_{ij}/E_i = emf_j \times FS_{ij}$，表示 i 部门的能源结构对该部门碳排放的影响，其中 emf 为排放系数；$IS_i = Y_i/Y$ 表示产业结构；$EI_i = E_i/Y_i$ 表示能源效率；$EIT = E_5/TD$ 表示汽车能效水平；$EIR = E_6/DI$ 表示生活能效，则(1)式可以表示为：

$$C = \sum_{i=1}^{4}\sum_j EFS_{ij} \cdot EI_i \cdot IS_i \cdot Y + \sum_j EFS_{5j} \cdot EIT \cdot VN \cdot VTD + \sum_j EFS_{6j} \cdot EIR \cdot P \cdot PDI \tag{4}$$

对(4)式两边取对数，然后对时间 t 求全微分，再对要分解的目标时段 $0 \sim T$ 期求积分，可以得到：

$$\begin{aligned}\int_0^T \frac{d\ln C}{dt}dt = &\sum_{i=1}^{4}\sum_j \int_0^T \omega_{ij}\left(\frac{d\ln EFS_{ij}}{dt} + \frac{d\ln EI_i}{dt} + \frac{d\ln IS_i}{dt} + \frac{d\ln Y}{dt}\right)dt + \\ &\sum_j \int_0^T \omega_{5j}\left(\frac{d\ln EFS_{5j}}{dt} + \frac{d\ln EIT}{dt} + \frac{d\ln VN}{dt} + \frac{d\ln VTD}{dt}\right)dt + \\ &\sum_j \int_0^T \omega_{6j}\left(\frac{d\ln EFS_{6j}}{dt} + \frac{d\ln EIR}{dt} + \frac{d\ln P}{dt} + \frac{d\ln PDI}{dt}\right)dt\end{aligned} \tag{5}$$

其中，$\omega_{ij} = C_{ij}/C$。(5)式可以进一步近似地表示为：

$$\begin{aligned}\frac{C_T}{C_0} \cong &\exp\left(\sum_i\sum_j \upsilon_i \cdot \ln\frac{EFS_{ij,T}}{EFS_{ij,0}}\right) \\ &\exp\left(\sum_{i=1}^{4}\sum_j \upsilon_{ij} \cdot \ln\frac{EI_{i,T}}{EI_{i,0}}\right)\exp\left(\sum_{i=1}^{4}\sum_j \upsilon_{ij} \cdot \ln\frac{IS_{i,T}}{IS_{i,0}}\right)\exp\left(\sum_{i=1}^{4}\sum_j \upsilon_{ij} \cdot \ln\frac{Y_t}{Y_0}\right) \\ &\exp\left(\sum_j \upsilon_{5j} \cdot \ln\frac{EIT_T}{EIT_0}\right)\exp\left(\sum_j \upsilon_{5j} \cdot \ln\frac{VN_T}{VN_0}\right)\exp\left(\sum_j \upsilon_{5j} \cdot \ln\frac{VTD_T}{VTD_0}\right) \\ &\exp\left(\sum_j \upsilon_{6j} \cdot \ln\frac{EIR_T}{EIR_0}\right)\exp\left(\sum_j \upsilon_{6j} \cdot \ln\frac{P_T}{P_0}\right)\exp\left(\sum_j \upsilon_{6j} \cdot \ln\frac{PDI_T}{PDI_0}\right)\end{aligned} \tag{6}$$

其中，$v_{ij} = [(C_{ij,T} - C_{ij,0})/(\ln C_{ij,T} - \ln C_{ij,0})]/[(C_T - C_0)/(\ln C_T - \ln C_0)]$。将(6)式进一步简化，可以表示为 $D_C = D_{EFS} \cdot D_Y \cdot D_{IS} \cdot D_{EI} \cdot D_{EIT} \cdot D_{VN} \cdot D_{VTD} \cdot D_{EIR} \cdot D_P \cdot D_{PDI}$，等式右边分别表示能源结

①仅考虑公路交通碳排放，在相关研究中已有先例，如Wu等(2005，2006)。

构、经济总产出、产业结构、产业能效、交通能效、汽车保有量、行驶里程（汽车使用强度）、生活能效、人口以及人均可支配收入对总能耗的贡献度。

（二）数据说明

本文分析所用能耗数据为各年《中国能源统计年鉴》发布的分品种能源平衡表，根据国际能源署《世界能源关键统计2016》的推荐能源折标及排放系数分别计算各行业分品种能源消费的碳排放，其中电力消费的排放系数按照全国电网平均水平计算。行业增加值和居民收入来源于国家统计局数据库①，均为1978年不变价（分行业增加值按1978年定基指数推算，居民收入用1978年定基CPI指数平减）。

四、我国碳排放的驱动因素

本节利用LMDI方法，对我国1990年到2015年间能源消费与碳排放总量变化的驱动因素进行分解分析。如前文所述，LMDI因素分解分析的特征在于可以同时分析并列与嵌套形式并存的影响因素，即可以从横向与纵向两个角度，分析碳排放的影响因素。从横向看，可以将总能耗分解为经济生产部门（又可以进一步分解为农业、工业、建筑业与服务业）能耗、交通能耗，以及居民能耗；从纵向看，可以分析规模、结构和技术（能源效率）等因素对各部分能耗的影响。

因素分解分析为我们提供了更为细化的视角，依据分析结果不仅能够了解我国碳排放历史变化的驱动力，更便于我们“自下而上”地对未来的排放总量、结构以及减排潜力作出合理的预估。

（一）历史趋势分解

LMDI指数法可将一定时间段内的碳排放变化量（D_C）分解为：

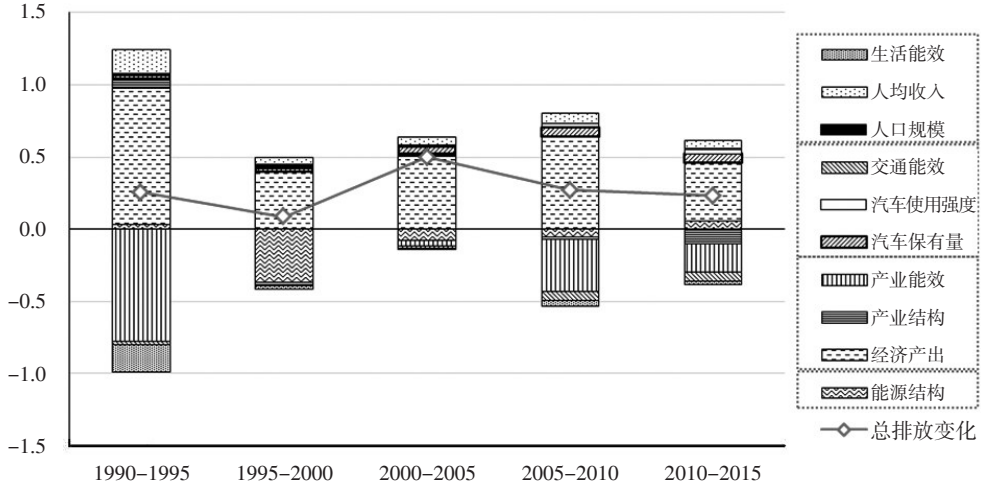
$$D_C = D_{EFS} \cdot D_Y \cdot D_{IS} \cdot D_{EI} \cdot D_{EIT} \cdot D_{VN} \cdot D_{VTD} \cdot D_{EIR} \cdot D_P \cdot D_{PDI} \tag{7}$$

等式右边分别表示能源结构、经济产出、产业结构、产业能效、交通能效、汽车保有量、汽车使用强度、生活能效、人口以及人均可支配收入对总能耗的贡献度。

图3和表1列示了我国1990年以来碳排放各个影响因素的贡献度。从中不难发现在所有的影响因素中，规模效应，包括经济产出规模、民用汽车保有量，以及收入的增长，都是推动碳排放增加的主要动因。尤其是经济产出规模的贡献度，在所有正向影响因素中占比始终在70%以上。这也反映出碳排放、能源消费量等与经济产出之间密切的相关性，凸显出目前我国总体的产业结构尽管逐步轻型化，但高能耗、高排放的工业部门占比依然较大，增加了碳排放与经济增长“脱钩”的难度。而要在保持较高经济增长速度的同时，实现节能减排目标，就必须在产业结构、能源效率等方面作出大幅度的调整。经济生产部门的能源效率提升是限制碳排放增长的主要因素。但同时，从历史变化趋势中也可以看到，生产能效的变化具有阶段

①数据库入口为：http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01。

性的特征。90年代随着我国对外开放与外资的进入,先进生产技术的引进在很大程度上提升了我国工业生产的技术水平,也提升了能源效率,但是这种效果很快便趋于收敛。一直到“十一五”起,随着我国节能减排政策逐步收紧,并且将工业节能作为主要的推动手段,使得生产部门的能效又一次出现集中的提升。但是对比“十一五”和“十二五”期间,能效提升的幅度却在逐步收敛,表明工业部门节能减排潜力逐步衰减、难度加大。由此可见,继续延续此前的减排政策路径,将难以进一步推动大幅度减排。为实现我国碳减排承诺目标,需要在产业结构、能源结构等方面作出更大程度的调整,发掘出新的减排潜力。



注:纵轴度量碳排放年度变化量的对数值。

图3　我国碳排放的LMDI分解结果

表1　我国碳排放的LMDI分解数据结果

年份		1990−1995	1995−2000	2000−2005	2005−2010	2010−2015
总排放变化		0.255	0.087	0.500	0.271	0.231
能源结构		0.036	−0.368	−0.073	−0.049	0.055
生产部门	经济产出	0.941	0.399	0.506	0.641	0.410
	产业结构	0.066	−0.021	0.016	−0.017	−0.097
	产业能效	−0.777	0.001	−0.044	−0.361	−0.201
交通部门	汽车保有量	0.028	0.024	0.049	0.067	0.060
	汽车使用强度	0.003	0.007	0.007	0.026	0.031
	交通能效	−0.024	0.013	−0.019	−0.067	−0.063
生活部门	人口规模	0.009	0.006	0.004	0.003	0.003
	人均收入	0.159	0.047	0.058	0.067	0.057
	生活能效	−0.185	−0.021	−0.005	−0.039	−0.023

注:表中数值表示碳排放年度变化量的对数值。

(二)未来发展预测

LMDI分析是“自上而下”地将总排放的变化分解为不同驱动因素的贡献度。由于所有驱动因素都能够对应于实际的经济变量,因此可以在一定的假设条件下,反其道而行——对各

驱动因素相关变量变化趋势进行分析和外推,并据此逆推我国各部门未来能源消费与碳排放变化趋势,进而加总形成对全国碳排放的预测,也即“自下而上”的预测逻辑。

首先,根据各部门增加值历史增长趋势,指数外推得到“十三五”末的部门增加值,并加总得到GDP总规模(如图4所示);交通运输部门的规模变化,则根据公路客运与货运周转量分别通过指数外推后,再根据式(3)加总得到。

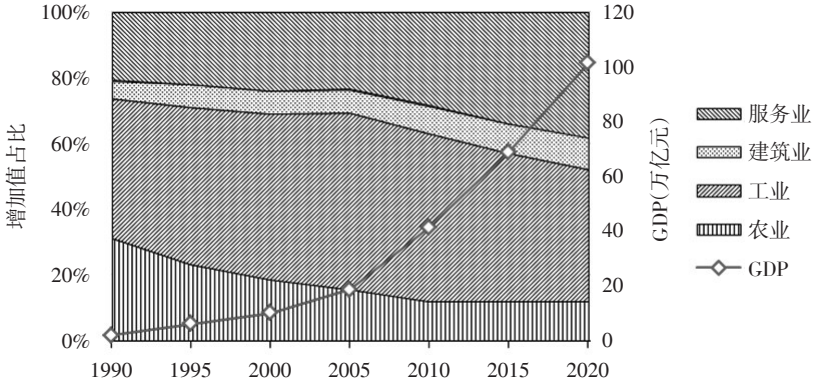
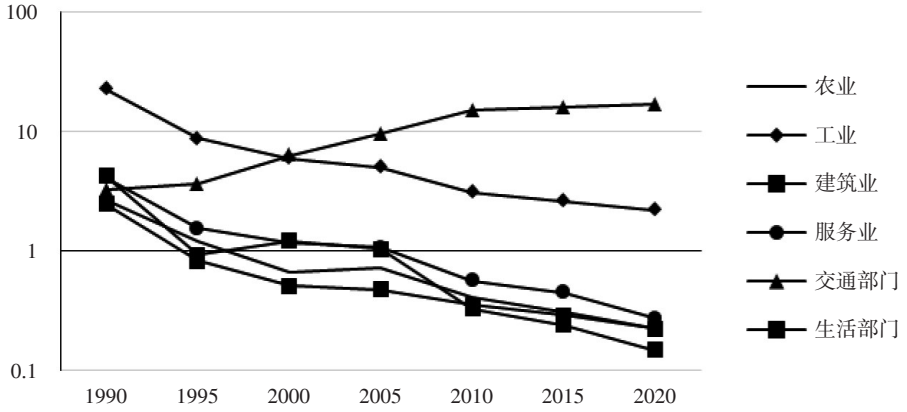


图4　我国碳排放预测的经济背景设定

人均可支配收入按照其与GDP历史数据间的回归关系系数,乘以预测值确定;人口增长规模则按照国务院2017年1月印发的《国家人口发展规划(2016-2030)》,设定为14.2亿。各部门的能源消费总量由部门规模和能源强度共同决定。除交通部门外,其他部门的能源强度预测根据历史数据按幂函数趋势外推得到;交通部门能源强度则按对数函数趋势外推①。具体如图5所示。



注:纵坐标刻度为对数刻度。

图5　各部门能源强度变化路径

各部门能源消费结构则按照分部门、分能源品种的能源历史消费量按指数外推,并根据前文得到的分部门能源消费总量预测水平进行平减。各类一次能源的碳排放系数继续沿用原数据,而对于热力和电力的碳排放系数,考虑到我国《“十三五”可再生能源发展规划》提出,

①趋势函数的形式按照历史数据实际变化情况,以及拟合情况确定。

到2020年我国可再生能源发电占比将达到15%。2015年我国可再生能源发电占比约为11%,因此下调电力排放系数4.5%①。

碳排放及部门结构的预测结果如图6和表2所示。从预测结果中可以看到,“十三五”期间我国碳排放总体增幅相较于“十二五”显著放缓,能源密集型进一步下降。能源和碳排放强度下降幅度分别为13.4%和17.6%,略低于减排目标。特别值得注意的是,“十三五”期间工业排放的占比在“十五”到“十二五”期间的十五年间持续下降之后,重新出现了增长。尽管本文预测“十三五”期间工业增加值占比继续下降,但是由于工业能效进一步大幅提升的空间有限,其他部门能效进步的速度相对于工业部门更低,导致工业排放占比的提升。这也提示我们在经过长达十五年的工业减排之后,进一步挖掘工业减排空间的难度加大,而其他部门,包括服务业、交通部门以及生活部门的能耗成为新的重点。

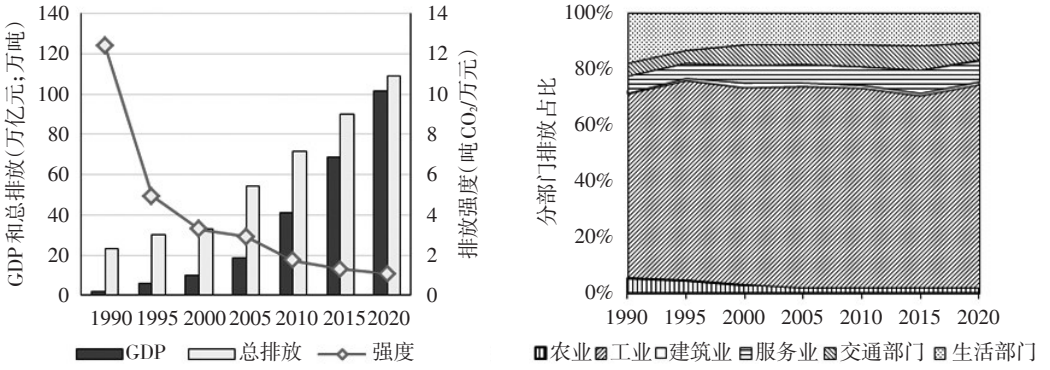


图6 “十三五”期间我国碳排放增长预测

表2 我国碳排放增长及结构变化预测

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
农业	排放	124.16	134.75	92.3	145.78	153.95	176.61	229.84
	(占比)	(5.31%)	(4.46%)	(2.8%)	(2.68%)	(2.16%)	(1.97%)	(2.11%)
工业	排放	1538.1	2156.01	2321.59	3860.14	5057.13	6146.47	7863.5
	(占比)	(65.73%)	(71.39%)	(70.44%)	(71.01%)	(70.92%)	(68.39%)	(72.18%)
建筑业	排放	29.44	32.24	55.99	88.73	80.15	100.25	117.92
	(占比)	(1.26%)	(1.07%)	(1.70%)	(1.63%)	(1.12%)	(1.12%)	(1.08%)
服务业	排放	127.1	158.33	206.39	338.02	482.5	730.9	850.74
	(占比)	(5.43%)	(5.24%)	(6.26%)	(6.22%)	(6.77%)	(8.13%)	(7.81%)
交通部门	排放	109.31	129.01	239.69	393.02	548.01	767.42	707.05
	(占比)	(4.67%)	(4.27%)	(7.27%)	(7.23%)	(7.69%)	(8.54%)	(6.49%)
生活部门	排放	411.91	409.84	380.07	610.63	808.72	1066.1	1125.95
	(占比)	(17.6%)	(13.57%)	(11.53%)	(11.23%)	(11.34%)	(11.86%)	(10.33%)

注:排放量单位为百万吨CO_2当量。

①由于2015年可再生能源发电占比为11%,化石能源发电占比为89%;而按照规划,到2020年可再生能源发电占比达到15%,也即化石能源占比85%。假定可再生能源发电不排放二氧化碳,而化石能源发电排放系数不变,则2020年电力平均排放系数为2015年的(1–15%) / (1–11%) = 95.5%。

五、结论与政策含义

本文通过LMDI因素分解方法，揭示了我国碳排放的历史变化趋势背后的驱动因素，并以LMDI分析框架为指引，通过对各驱动因素未来变化趋势分别进行预测，并逆向加总的方式，对我国“十三五”期间碳排放总量与结构的变化进行了预测。

通过对国外相关研究的梳理发现，发展中经济体碳排放的变化路径与发达经济体有很大的差异，受全球产业转移和技术溢出的影响，中等收入的发展中经济体随着经济增长，碳排放总量及强度很难如发达经济体一样进入下降通道，产业结构、技术效率以及碳排放强度均表现出较强的刚性。这就提示我们，在我国现有的经济产业背景下，要实现INDC和“十三五”规划等政策文件提出的大幅节能减排目标，就需要对生活、交通、建筑等非工业部门的能耗变化给予更多的关注。

因素分解分析的结果表明，经济规模的增长是推动碳排放增加的主要动因，凸显出目前我国高能耗、高排放的工业部门占比大，碳排放与经济增长“脱钩”难的现实。工业能效提升是限制碳排放增长的主要因素，但其变化具有阶段性特征，外部技术溢出和政策推动能够在一定程度上促进技术进步、提升生产能效，但是这种效应收敛很快，显示出工业部门持续快速提升能效难度较大，节能减排潜力逐步衰减。由此可见，继续延续我国原有减排政策路径，发掘工业减排空间将难以为继，实现我国碳减排承诺目标亟需发掘出新的减排潜力。

在考虑了目前已经发布的各项能源、产业减排规划，结合各部门规模增长、能源强度变化和能源结构变化，“自下而上”地对我国“十三五”期间的能耗与碳排放进行预测，结果表明在“十三五”期间我国能源与碳排放强度分别下降13.4%和17.6%，接近但依然没有能够实现“十三五”规划提出的15%和18%的减排目标。因此，“十三五”期间一方面要切实落实相关规划提出的各项低碳发展目标，同时也需要进一步扩大视野，开拓新的减排领域。

交通部门的能源效率近年来持续、大幅下降。居民交通模式的改变使得个人所有的汽车出行占比提升，网络电商、快递和个性化消费的兴起加大了小批量、多次数物流运输的需求，这些在很大程度上推升了单位客运和货运周转量的能耗。相比于其他部门能效水平的不断提升，交通部门已经成为不折不扣的“高耗能、高排放产业”。此外，工业部门能源效率的进一步提升空间非常有限。在这样的背景下，加快推动交通能效的提升、降低交通能耗，推广绿色低碳的交通出行模式，是实现碳减排目标的重要途径。

参考文献：

[1] 陈诗一. 中国碳排放强度的波动下降模式及经济解释[J]. 世界经济，2011，(4)：124–143.

[2] 李小平，卢现祥. 国际贸易、污染产业转移和中国工业CO_2排放[J]. 经济研究，2010，(1)：15–26.

[3] 宋德勇，卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 中国人口·资源与环境，2009，(3)：18-24.

[4] 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[J]. 经济研究，2010，(2)：123-136.

[5] 魏一鸣，刘兰翠，范英，吴刚. 中国能源报告(2008)：碳排放研究[M]. 北京：科学出版社，2008.

[6] 张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究，2010，(4)：120-133.

[7] Ang, B. W. and F. L. Liu. A New Energy Decomposition Method: Perfect in Decomposition and Consistent in Aggregation[J]. Energy, 2001, (6): 537-548.

[8] Ang, B. W. LMDI Decomposition Approach: A Guide for Implementation[J]. Energy Policy, 2015, 86: 233-238.

[9] European Commission. Decomposition Analysis of the Changes in GHG Emissions in the EU and Member States[EB/OL]. (2016-04-22)[2017-05-21]. https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ceb0fb6c-f4e2-11e6-8a35-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF.

[10] Fan, Y., L. C. Liu, G. Wu, H. T. Tsai., and Y. M. Wei. Changes in Carbon Intensity in China: Empirical Findings from 1980-2003[J]. Ecological Economics, 2007, 62: 683-691.

[11] Feng, K. S., S. J. Davis, L. X. Sun., and K. Hubacek. Drivers of the US CO_2 Emissions 1997-2013[J]. Nature Communications, 2015, 6：7714.

[12] IEA. CO_2 Emissions from Fuel Combustion[R]. 2016.

[13] Itkonen, J. V. A. Problems Estimating the Carbon Kuznets Curve[J]. Energy, 2012, 39(1): 274-280.

[14] Jobert, T., F. Karanfil., and A. Tykhonenko. Environmental Kuznets Curve for Carbon Dioxide Emissions: Lack of Robustness to Heterogeneity?[R]. 2012.

[15] Kaya, Y. and K. Yokobori. Environment, Energy, and Economy: Strategies for Sustainability[M]. Tokyo: United Nations Univ. Press. 1998.

[16] Schymura, M. and S. Voigt. What Drives Changes in Carbon Emissions? An Index Decomposition Approach for 40 Countries[R]. 2014.

[17] Wu, L. B., S. Kaneko., and S. Matsuoka. Driving Forces behind the Stagnancy of China's Energy-related CO_2 Emissions from 1996 to 1999: The Relative Importance of Structural Change, Intensity Change and Scale Change [J]. Energy Policy, 2005, 33(3): 319-335.

[18] Wu, L. B., S. Kaneko., and S. Matsuoka. Dynamics of Energy-related CO_2 Emissions 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.

The Structure and Trend of China's Carbon Emission in the 13th Five-Year Plan Period

Tang Weiqi and Lu Zhengwei

(CIB Economic Research and Consulting Co., Ltd.)

Abstract: China has achieved significant mitigation in CO_2 emission in the last decade, but increases in the difficul-

ty and costs in further mitigation have been observed. Considering the increasing share of household, transportation and building carbon emission, due to the urbanization and income increase in China, non-industrial sectors can be the new driver for carbon mitigation in China to achieve its ambitious commitments. With LMDI approach, we decompose CO_2 emission in China with respect to its drivers, and find that the effect of industrial energy efficiency improvements in unsustainable and converges fast. A “bottom-up” prediction of carbon emission in China for the 13th Five-Year Plan (FYP) period (2015-2020) indicates that household, transportation and service sectors would contribute most in CO_2 mitigation. Therefore, improving traffic energy efficiency, reducing traffic energy consumption, promoting green low-carbon travel mode, is an important way to achieve carbon emission reduction goals.

Keywords: Carbon Emission; LMDI; Non-industrial Sectors; 13th FYP Period

JEL Classification: Q56

(责任编辑:朱静静)

(上接第5页)

The Quantitative Relations of Some Key Indicators in China's National Emission Trading System Design

Zhang Xiliang

(Institute for Energy, Environment and Economy, Tsinghua University)

Abstracts: The primary climate policy of China is currently characterized by controlling its carbon dioxide emissions by reducing the carbon emissions per unit of GDP or improving the carbon productivity. Free allocation is the primary way for allowance allocation in the first phase of its national emissions trading system (ETS) construction. This paper describes the quantitative relations of some key indicators which should be taken into account in national ETS design, such as carbon intensity reduction target, the contribution of ETS in achieving the carbon intensity reduction target, the ETS coverage, total allowance allocation, industry carbon emission basic value, establishing an analytical framework which integrates the top-down approach and the bottom-up approach for cap-setting and allowance allocation. In the end, the paper points out the basic principle which the design and construction of ETS should follow, aiming to provide effective scientific guidance.

Keywords: ETS Design; National Climate Change Mitigation Target; ETS Cap-setting; ETS Allowance Allocation

JEL Classification: Q56

(责任编辑:卢　玲)