文章编号：1008－8857(2015)03－0148－06 DOI：10.13259/j.cnki.eri.2015.03.005

中碳强度指数与中国低碳发展

郭建科
（上海太比雅环保有限公司，上海 200122）

摘 要：中碳强度指数是为全国节能减排行业提供一个以单位国内生产总值(GDP)二氧化碳排放量为载体的指数系统，可有效反映时间序列上地区或行业碳排放强度的变化.2005—2011年中碳强度指数总体呈下降趋势.按中碳强度指数将我国各省级行政区分为五类，其中：大部分地区的指数均集中在0～100之间；指数高于100的四类和五类地区主要是煤炭生产大省和西部欠发达地区；而指数低于0的一类地区主要是经济发达地区.采用对数均值迪氏分解(LMDI)法分析陕西、贵州两省碳强度的影响因素时发现，能源强度下降是其碳强度指数下降的主要原因.结合“十二五”各地区的减排目标，预测了各省级行政区在剩余年份达成目标的压力，结果显示，我国的碳减排任务艰巨，其中内蒙古、宁夏等省份面临巨大的减排压力.

关键词：中碳强度指数；碳排放强度；碳减排；LMDI；减排压力

中图分类号：X 24 **文献标志码**：A

The relationship between SINO Carbon Intensity Index and low carbon economy development in China

GUO Jianke
(Shanghai TEPIA Environment Protection Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: SINO carbon intensity index is expressed as the carbon dioxide emission per GDP, which can reflect the changes of carbon emission intensity from different administrative regions with time. From 2005 to 2011, The SINO carbon intensity index of China showed a downward trend. The provinces can be classified into five categories based on the SINO carbon intensity index from high to low. The majority of the provincial indices are between 0 and 100. The provinces with coal mining industry and less-developed areas in western China are ranked fourth-class and fifth-class regions, whose indices are above 100. The provinces with indices below zero (first-class regions) are mainly developed areas. Further analyzing the carbon emission intensity of Shaanxi and Guizhou based on the LMDI method, the results showed that the decline of index could be attributed to the energy intensity reduction. According to the provincial emission reduction targets in the 12th Five-Year Work Plan, the emission reduction gaps in the remaining years of each province to achieve their targets were predicted. The results showed a significant emission reduction intensity gap. Especially, provinces such as Inner Mongolia and Ningxia are under great pressure to accomplish their targets.

Keywords: SINO carbon intensity index; carbon emission intensity; carbon emission reduction; LMDI; carbon emission reduction gap

收稿日期：2014－06－09

第一作者：郭建科(1968—)，男，硕士. 研究方向：碳排放指数体系研究. E-mail：guojk@tepia.com.cn

随着温室气体排放对气候的极端变化所带来的影响为大家所认识，国际社会共同应对气候变化的意愿越来越强烈，低碳未来已经成为社会经济发展的一个重要方向. 2005 年《京都议定书》第一承诺期生效以来，欧洲发达国家开始通过强制碳减排措施使全球二氧化碳排放控制在一定范围内. 2009 年底，国务院会议确定了将“到 2020 年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%～45%”的二氧化碳减排目标，作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划[1]. 2011 年 12 月，国务院正式印发《“十二五”控制温室气体排放工作方案》，明确了“十二五”时期控制温室气体排放的主要目标，并首次把单位国内生产总值二氧化碳排放下降指标作为约束性指标分解到地方，这对推动我国绿色低碳发展具有里程碑式的重要意义[2].

我国是一个排放大国，也是发展中国家，地区发展非常不均衡. 由于各地区资源、能源及产业结构差异性极大，衡量各省市的低碳发展不能一刀切. 中碳强度指数的概念由上海太比雅环保有限公司首先提出，将全国及各省级行政区（港澳台地区及西藏除外）在 2005—2011 年能源消耗所带来的二氧化碳排放与国内生产总值（GDP）的比值变化以数字的形式直观表现，以反映对应区域碳排放的现状. 中碳强度指数体系推出了一套既适合我国国情，又符合国际碳排放核算的计算方法，并将我国各地区能源使用与经济发展水平的关系清晰地表现出来，为推动低碳发展提供了简单、直观的衡量标准.

1　中碳强度指数的建立

中碳强度指数（SINO carbon intensity index，SCII）以中国碳强度目标——2020 年碳排放强度比 2005 年下降 45%为基准，将某一地区或行业每年的碳排放强度指数化，其中碳排放强度是指一个国家或地区、部门或行业内单位 GDP 产生的二氧化碳排放量.

中碳强度指数为全国节能减排行业提供了一个以碳排放强度为载体的指数系统，可有效反映时间序列上地区或行业碳排放强度的变化. 通过比较不同地区碳强度指数，为产业和能源结构调整和发展提供参考，对地区碳减排具有很强的指导和参考意义.

1.1　数据来源及数据处理

数据来源于 2005—2011 年全国及各省级行政区（港澳台地区及西藏除外）的相关数据，其中能源消费量数据全部来自《中国能源统计年鉴》[3]中的国家、地区能源平衡表；GDP 数据分别采集自《中国统计年鉴》[4]和陕西、贵州统计年鉴[5-6]. 中碳强度指数将随时根据最新统计数据进行修订.

中国及各省级行政区的能源平衡表涵盖了我国主要能源种类及使用量，有一次能源，例如原煤、石油、天然气；也有二次能源，如洗精煤、焦炭、焦炉煤气、汽油、煤油、柴油等. 考虑到一、二次能源之间的转换及化工产品加工过程中的固碳活动，中碳强度指数选取以下类别的能源种类计算其消耗：煤炭类的原煤、洗精煤、其它洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气，以及油气类的原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气和天然气等. 各类能源的消费量数据是以能源平衡表中对应的表观消费量为基础，扣除了作为原料、材料等非燃烧用途后的消费量.

全国及各地区的 GDP 数据采用的是以 2005 年为基期的不变价数据.

1.2　二氧化碳排放量的计算

CO_2 排放因子计算方法参照政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》[7]中的计算方法. 各类燃料的 CO_2 排放量计算式为

$$E = \sum_i \sum_j AC_{i,j} \cdot NCV_j \cdot CC_j \cdot O_j \cdot 44/12 \quad (1)$$

式中：E 为 CO_2 排放量，t；i 为部门分类；j 为能源种类；AC 为能源消耗量，t 或 m^3；NCV 为低位热值，$MJ \cdot kg^{-1}$；CC 为含碳量，$t \cdot TJ^{-1}$；O 为氧化率；44/12 为碳转换为 CO_2 的系数.

1.3　中碳强度指数的计算

根据全国及各地区的二氧化碳排放数据、GDP 数据，以及国家 2020 年碳强度目标，碳强度指数计算式为

$$SCII_{k,y} = \frac{CI_{k,y} - T_{cn,2020}}{T_{cn,2020}} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$T_{cn,2020} = CI_{cn,2005} \cdot (1 - n) \quad (3)$$

式中：$SCII_{k,y}$为地区 k 在 y 年的中碳强度指数，$T_{cn,2020}$为 2020 年中国碳强度的减排目标值，tCO_2·万元$^{-1}$；$CI_{k,y}$为地区 k 在 y 年的碳强度，tCO_2·万元$^{-1}$；$CI_{cn,2005}$为 2005 年中国的碳强度，tCO_2·万元$^{-1}$；n 为碳强度的下降百分比.

中国政府计划于 2020 年，全国单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 40%～45%，因此中碳强度指数系统的 n 取上限 45%. 全国及各省级行政区 2005—2011 年中碳强度指数分别如图 1、2 所示.

图 1、2 显示，2005—2011 年全国及各省级行政区的碳强度总体呈下降趋势，说明我国虽然是

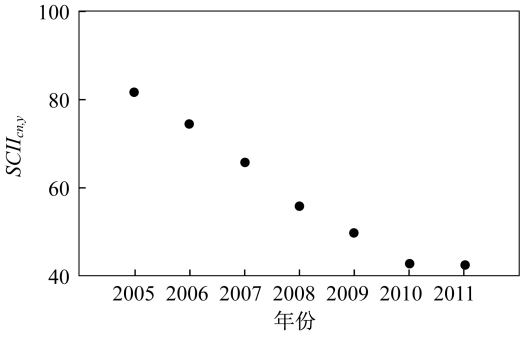


图 1 全国中碳强度指数(2005—2011 年)

Fig. 1 SINO carbon intensity index of China from 2005 to 2011

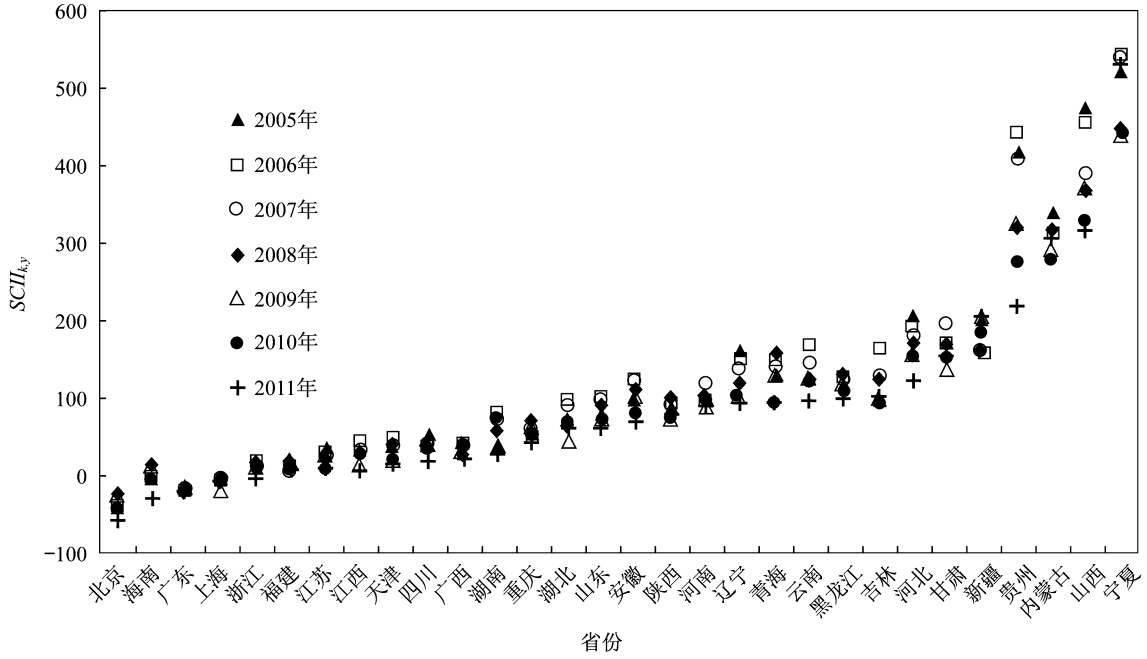


图 2 地区中碳强度指数(2005—2011 年)

Fig. 2 SINO carbon intensity index of the provinces in China from 2005 to 2011

能源消耗大国，但能源使用效率逐年提升. 此外，各地区碳强度差异明显，因此，在碳减排规划上，应与当地的发展历程相结合.

2 各地区中碳强度指数分析

从图 1 中可看出，自 2005 年以来 $SCII_{cn,y}$逐年下降，2011 年为 43. 本文将以 2011 年 $SCII_{cn}$为标准线分析地区中碳强度指数，将各省级行政区分为五类. 省级行政区按照中碳强度指数分类的结果如表 1 所示.

2.1 一类地区：$SCII_{k,2011} \leqslant 0$

一类地区的碳强度水平已低于全国计划于 2020 年达到的目标，在全国范围内属于低碳地区. 一类地区中，除海南外均为经济发达地区，其低碳强度水平既是经济发展快、区位优势明显的体现，也是近年来在能源使用及能源结构管理上不懈努力的成果；海南因为工业相对较少，生态环境较好，所以中碳强度指数很低.

2.2 二类地区：$0 < SCII_{k,2011} \leqslant 43$

二类地区的碳强度水平低于全国的平均水平，属于较低碳地区. 江苏与同处长三角地区的上海、浙江相比，指数相对较高，应该有较大的提高空间；四川的表现对西部地区有非常大的参考价值.

表 1　各省级行政区按照中碳强度指数分类

Tab. 1　The provinces classified by SINO carbon intensity index

地区	$SCII_{k,2011}$	类别	地区	$SCII_{k,2011}$	类别
北京	-51	一类	安徽	71	三类
海南	-29	一类	陕西	83	三类
广东	-18	一类	河南	88	三类
上海	-9	一类	辽宁	92	三类
浙江	0	一类	青海	94	三类
福建	10	二类	云南	94	三类
江苏	12	二类	黑龙江	97	三类
江西	14	二类	吉林	103	四类
天津	16	二类	河北	122	四类
四川	17	二类	甘肃	155	四类
广西	25	二类	新疆	204	五类
湖南	26	二类	贵州	217	五类
重庆	42	二类	内蒙古	309	五类
湖北	59	三类	山西	315	五类
山东	59	三类	宁夏	528	五类

2.3　三类地区：$43<SCII_{k,2011}\leqslant 100$

三类地区的碳强度水平大于全国的平均水平，但与平均水平较接近. 除青海、云南外，大部分是工业大省，碳减排的空间较大，是我国碳减排工作容易取得成绩的重点地区.

2.4　四类地区：$100<SCII_{k,2011}\leqslant 200$

四类地区的碳强度水平远高于全国平均水平，并且碳排放强度较高，碳减排的形势比较严峻. 四类地区的省份有 3 个，其中河北是我国重要的钢铁基地，消耗了大量的能源，也带来了大量的温室气体排放.

2.5　五类地区：$SCII_{k,2011}>200$

五类地区是全国碳强度水平最高的地区. 五类地区多为煤炭生产大省和西部欠发达地区，经济较为落后，能源结构单一. 其中宁夏的中碳强度指数高达 528，其主要原因在于其以煤炭为主的能源结构. 与宁夏 GDP 在同一水平的青海和海南的碳强度指数则要低很多，说明宁夏需要大力优化其能源结构.

2.6　陕西、贵州的碳强度因素分解

中碳强度指数是碳排放强度的指数化形式，碳排放强度的变化与能源结构、能源强度、经济结构的变化密切相关. 本文将碳强度因素分解为

$$CI_y = \frac{Em_y}{G_y} = \frac{Ee_y}{G_y}\cdot\frac{Em_y}{Ea_y}\cdot\frac{Ea_y}{Ee_y} = \frac{Ee_y}{G_y}\cdot\frac{Ea_y}{Ee_y}\cdot\sum\left(\frac{Em_{j,y}}{Ea_{j,y}}\cdot\frac{Ea_{j,y}}{Ea_y}\right) = e_y\cdot c_y\cdot\sum w_{j,y}s_{j,y} \tag{4}$$

式中：Em 为 CO_2 排放总量，t；G 为 GDP，万元；Ee 为能源终端消费量，t 标准煤；Ea 为能源表观消费量，即能源生产量加上净进口量，并减去库存变动量，t 标准煤；$j=1$ 为煤炭类能源，$j=2$ 为石油类能源，$j=3$ 为天然气类能源；e 为能源强度，t 标准煤·万元$^{-1}$；c 为表观－终端折算系数，反映整体的能源转换效率；w 为能源 j 的加权排放系数，tCO_2·t 标准煤$^{-1}$；s 为能源 j 的能源表观消费量占比.

对数均值迪氏分解（logarithmic mean divisia index，LMDI）法已被广泛用于碳排放强度分解的研究中[8-9]. 本文亦采用 LMDI 法，对碳排放强度进行分解，量化各因素对碳排放强度的贡献值. 由式(4)可知，CI 的变化是由 e、c、w_j 和 s_j 等因素的变化引起的. 根据 LMDI 模型，CI 的变化值可表示成这四个因素的贡献值之和，即

$$\Delta CI_{k,y} = CI^T - CI^0 = \Delta CI_e + \Delta CI_c + \Delta CI_w + \Delta CI_s \tag{5}$$

式中：上标 T 表示第 T 期，0 表示期初年；$\Delta CI_{k,y}$ 为第 T 期碳强度相对于期初年的变化值；CI^T 为第 T 期的碳强度；CI^0 为期初年的碳强度；ΔCI_e 为能源强度变化对碳强度变化的贡献值；ΔCI_c 为表观－终端折算系数变化的贡献值；ΔCI_w 为加权排放系数变化的贡献值；ΔCI_s 为能源结构变化的贡献值；变量单位均为tCO_2·万元$^{-1}$.

根据 LMDI 模型，第 T 期各因素的贡献值为

$$\Delta CI_e = \ln\left(\frac{e^T}{e^0}\right)\sum\frac{CI_j^T - CI_j^0}{\ln\left(\frac{CI_j^T}{CI_j^0}\right)} \tag{6}$$

$$\Delta CI_c = \ln\left(\frac{c^T}{c^0}\right)\sum\frac{CI_j^T - CI_j^0}{\ln\left(\frac{CI_j^T}{CI_j^0}\right)} \tag{7}$$

$$\Delta CI_w = \sum\ln\left(\frac{w_j^T}{w_j^0}\right)\cdot\frac{CI_j^T - CI_j^0}{\ln\left(\frac{CI_j^T}{CI_j^0}\right)} \tag{8}$$

$$\Delta CI_s = \sum\ln\left(\frac{s_j^T}{s_j^0}\right)\cdot\frac{CI_j^T - CI_j^0}{\ln\left(\frac{CI_j^T}{CI_j^0}\right)} \tag{9}$$

本文以陕西和贵州为例，利用式(4)～(9)计算出以 2005 年为基准年的碳强度影响因素 LMDI 分解结果，如图 3 所示.

由图 3(a)可知，陕西温室气体减排成绩不佳，碳

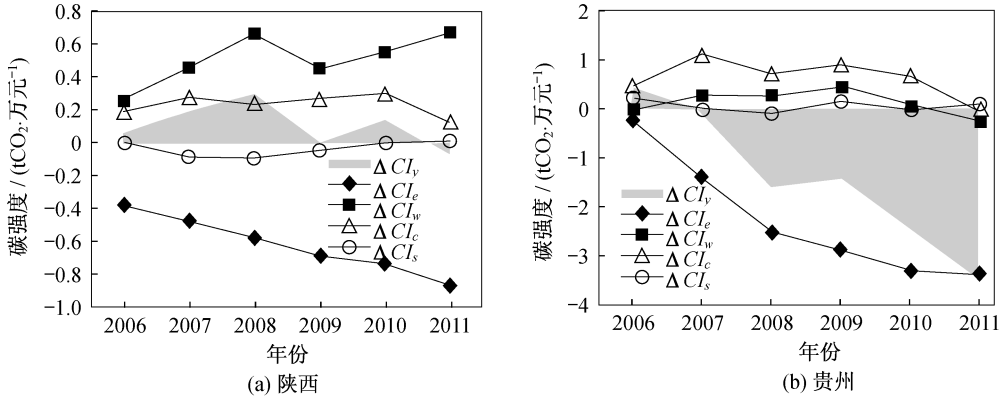


图 3 陕西、贵州碳强度及影响因子

Fig. 3 Carbon emission intensities and impact factors of Shaanxi and Guizhou

强度并没有降低.能源强度的下降是导致碳强度下降的重要因素；而加权排放系数和表观－终端折算系数起到了消极作用，使碳强度在 2006、2007、2008、2010 年均出现上升.这也反映出陕西的能源结构和能源转换效率有较大的改进空间.

由图 3(b)可知，贵州减排工作取得了一定成效，碳强度明显下降.能源强度的下降对贵州碳强度的下降起着主要的作用；而另外 3 个因素对碳强度下降产生了一定的负面影响.

3 我国节能减排的发展状况和工作压力

3.1 全国总体节能减排工作发展良好

“十一五”期间，我国节能减排取得了阶段性的成果，完成了单位 GDP 能源消耗下降 20%的目标.在指数和碳强度方面，2005 年我国中碳强度指数为 82，对应碳强度约为3.3 tCO_2 ·万元$^{-1}$.截至 2010 年，我国中碳强度指数已下降为 43，对应碳强度约为 2.6 tCO_2 ·万元$^{-1}$，碳强度下降幅度超过 20%.

依照国务院文件[2]要求，我国在“十二五”期末，即 2015 年，碳强度需下降 17%，则中碳强度指数需下降至 19.2011 年全国中碳强度指数是 43，与 2010 年持平，意味着“十二五”第一年，碳减排事业进展不大.但是我国中碳强度指数呈接近线性下降的趋势，说明我国节能减排的工作总体上是富有成效的.

考虑到我国节能减排工作已进入精细化阶段，难度比现阶段的关停落后产能更大，需要从产业结构、能源布局和新科技发展等层面将低碳发展战略提升至新的高度.因此有必要测算未来持续减排的阻力.

3.2 “十二五”减排压力较大

国务院在印发《“十二五”控制温室气体排放工作方案》时明确了各省市的减排目标[2].本文将 2011 年碳强度和 2015 年目标差距的百分比定义为减排压力，各省级行政区目标指数和减排压力如表2所示，而此时全国2015 年目标指数为 19，减

表 2 各省级行政区减排压力

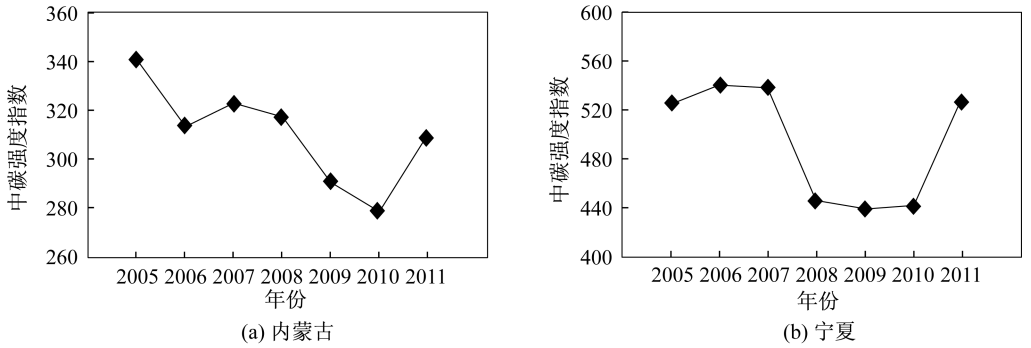
Tab. 2 The burden of carbon emission reduction of the provinces

地区	2015 年目标指数	减排压力/%	地区	2015 年目标指数	减排压力/%
海南	－16	－18.16	山西	256	14.23
贵州	216	0.42	广西	7	14.62
四川	12	4.25	河南	59	15.50
云南	86	4.35	新疆	156	15.64
河北	109	5.55	天津	－2	15.72
北京	－55	8.03	湖北	34	15.84
山东	43	9.81	甘肃	112	16.67
江西	3	10.29	上海	－26	18.33
青海	73	10.69	广东	－34	19.80
黑龙江	75	11.44	陕西	45	20.64
安徽	51	11.65	吉林	60	21.35
重庆	23	13.22	江苏	－12	21.59
辽宁	67	13.42	福建	－14	22.19
浙江	－14	13.95	内蒙古	218	22.25
湖南	8	14.22	宁夏	355	27.54

排压力为16.94%. 我国大部分省级行政区的减排任务艰巨：减排压力较小的省份，如河北、山东，正处于优化工业结构、加速产业升级的转型期，在产业结构调整的过程中，容易取得碳减排佳绩；产业结构比较成熟的地区，如上海、广东、江苏，结构优化的空间较小，因此减排压力与其较低的碳指数形成较明显的反差；经济发展水平较低或者是能源输出大省，如内蒙古、宁夏，产业结构、工业结构落后，能源结构较为单一，减排的空间很大，减排压力同样不小.

3.3　部分地区压力紧迫

内蒙古、宁夏的减排压力均超过 20%. 图 4 为内蒙古、宁夏 2005—2011 年中碳强度指数. 可见，其面临的减排任务十分艰巨.



(a) 内蒙古　　(b) 宁夏

图 4　内蒙古、宁夏中碳强度指数

Fig. 4　SINO carbon intensity index of Inner Mongolia and Ningxia

内蒙古、宁夏的中碳强度指数走势较为波折. 两省均属于高排放和高经济增长类型[10]，经济发展对能源依赖很重，其在推进节能减排方面遇到的困难较大. 而 2011 年两省(区)的指数均出现明显回升，这是因为全球经济危机之后国家出台的“4 万亿元刺激经济方案”[11]对第二产业起到了明显的拉动作用，导致了两省碳强度的反弹.

4　结　论

国务院把“十二五”时期的温室气体减排任务分解到各省级行政区，这标志着中国的碳减排事业进入到了具体实施阶段. 中碳强度指数研究体系的推出，为省级行政区低碳经济发展提供了统一的衡量标准；为分析、改善各地区产业结构、能源结构寻找减排技术路线和对策，进而为实现二氧化碳排放的控制目标，提供工作方向和参考依据. 主要结论为：

(1) 中碳强度指数体系直观地考量了我国整体和各省级行政区碳减排情况，2005—2011 年全国及各省级行政区的碳强度总体呈下降趋势. 依据 2011 年指数情况将省级行政区分为五类地区，其碳排放特点各异，其中：大部分地区的指数都集中在 0～100；指数高于 100 的四类和五类地区主要是煤炭生产大省和西部欠发达地区；而指数低于 0 的一类地区主要是经济发达地区.

(2) 中碳强度指数在计算 CO_2 排放量时，使用的是能源平衡表中各类能源的表观消费量，扣除了作为原材料使用的固碳部分，对排放量估算更为准确.

(3) 对陕西、贵州等省份碳强度进行因素分解，运用 LMDI 法计算各因素贡献值，发现能源强度的下降是其碳指数下降的主要原因，而能源结构是影响其减排的薄弱环节之一.

(4) 结合“十二五”各省区的减排目标，发现我国的碳减排压力较大，其中内蒙古、宁夏等省份面临的碳减排压力最高.

参考文献：

[1] 郑国光. 全力以赴做好气候变化大会科技支撑工作[EB/OL]. [2009－11－27]. http://www.gov.cn/gzdt/2009－11/27/content_1474989.htm.

[2] 国务院. 国务院关于印发“十二五”控制温室气体排放工作方案的通知[EB/OL]. [2012－01－13]. http://www.gov.cn/zwgk/2012－01/13/content_2043645.htm.

[3] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴(2011)[M]. 北京：中国统计出版社，2011.

(下转第 158 页)

表 2 测试数据

Tab. 2 The test data

发动机	功率/kW	输入量					输出量					分解率/%
		q_1/($m^3 \cdot h^{-1}$)	Q_3/m^3	T_1/℃	ρ_1/($kg \cdot m^{-3}$)	M_1/kg	q_2/($m^3 \cdot h^{-1}$)	Q_4/m^3	T_2/℃	ρ_2/($kg \cdot m^{-3}$)	M_2/kg	
G	12	116	40.8	300	2.79	113.8	43.7	15.4	50	2.00	30.8	73
D	48	126	42.0	220	2.68	112.6	31.0	10.3	40	2.00	20.6	82

从表 2 可以看出，针对发动机 G 测试时，20 min内输入废气 113.8 kg，输出废气仅30.8 kg，即 20 min 内分解了发动机 G 排出的废气达 83 kg，分解率达 73%. 针对发动机 D 测试时，分解率高达 82% . 测试结果显示，本文设计的射流、紊流、红外谐振装置可分解黑烟、废气和 $PM_{2.5}$ 颗粒，而且已分解的发动机废气可变成单质可燃的混合气体，经收集后返回发动机，不仅可节能，而且可增加生产能力. 进一步改进设计可以分解更多的废气.

测试中，已分解的废气变成了离子（H^+、O^{2-}、N^{2+}、C^{4+} 等）. 它们经过钢板外壳，变成了原子（H、O、N、S、C 等），可穿过体心立方晶体的间隙逃逸. 以发动机 D 的测试结果为例，20 min内便处理了废气 92 kg，而不必另外消耗能量，成本仅为 MBBS 装置的折旧成本. 本装置分解 1 t 废气成本小于人民币 10 元. 测试结果表明，MBBS 装置处理废气不仅廉价、高效，而且处理量大.

4 结束语

利用气体射流、紊流、分子红外谐振共同作用的方法，设计出一套分解废气的装置. 实验测试结果表明，该装置 20 min 内处理发动机排出的废气的分解率最高达 82%，且廉价、高效，处理大. 这为进一步处理 $PM_{2.5}$ 粒子和废气污染，实现节能减排提供了一种可行性方案. .

参考文献：

[1] 杨林军. 燃烧源细颗粒物污染控制技术[M]. 北京：化学工业出版社，2011.

[2] 优肯斯坦 M B. 分子的结构及物理性质[M]. 张乾二，译. 北京：科学出版社，1960.

[3] 曾庆衿. 用射流和红外谐振分解废气的装置及方法：中国，ZL200810025891.0[P]. 2012 - 05 - 23.

[4] 姚允斌. 物理化学手册[M]. 上海：上海科学技术出版社，1985.

（上接第 153 页）

[4] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2012.

[5] 陕西省统计局，国家统计局陕西调查总队. 陕西统计年鉴(2012)[M]. 北京：中国统计出版社，2012.

[6] 贵州省统计局，国家统计局贵州调查总队. 贵州统计年鉴(2012)[M]. 北京：中国统计出版社，2012.

[7] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[EB/OL]. [2013 - 06 - 09]. http://www.ipcc-nggip. iges. or. jp/public/2006gl/chinese/index. html.

[8] 朱聆，张真. 上海市碳排放强度的影响因素解析[J]. 环境科学研究，2011，**24**(1)：20 - 26.

[9] 董军，张旭. 中国工业部门能耗碳排放分解与低碳策略研究[J]. 资源科学，2010，**32**(10)：1856 - 1862.

[10] 岳超，胡雪洋，贺灿飞，等. 1995—2007 年我国省区碳排放及碳强度的分析：碳排放与社会发展Ⅲ[J]. 北京大学学报：自然科学版，2010，**46**(4)：510 - 516.

[11] 世界自然基金会，国务院发展研究中心资源与环境政策研究所. 中国经济刺激计划对气候和能源的影响[R]. 北京：世界自然基金会，2010.