

江西省碳排放影响因素研究

——基于LMDI分解法

门丹¹¹ 黄雄²

(1. 南昌大学 经济管理学院, 江西 南昌 330031;

2. 南昌大学 前湖学院, 江西 南昌 330031)

【摘要】：文章运用LMDI的分解方法将碳排放量增量分解成碳排放效率效应、能源消耗强度效应、产业结构效应与经济效率效应，并且综合考虑产业部门的碳排放和居民消费碳排放。分析结果显示：2012—2016年产业部门的能源消费强度效应和产业结构效应是促使江西省碳排放减少的主要驱动因素，经济规模效率和碳排放效率效应也对减排有一定促进作用，而居民消费的能源消费强度效应为增加碳排放。所以江西省要发展低碳经济、打造“江西样板”需要结合江西发展现状从优化产业结构、对人均GDP计算加入环境因素、调整能源消费结构、大力支持节能减排技术的发展等方面入手。

【关键词】：碳排放；LMDI分解；驱动因素；居民消费

【中图分类号】：F062.2 **【文献标识码】：**A **【文章编号】：**1671-4407(2019)05-031-05

1 引言

2017年10月江西省成为国家生态文明试验区^[1]，这就要求江西省经济不断升级，并且推动绿色发展。在生态文明建设的过程中，对产业结构的优化和碳排放量的控制是其中不可忽视的一个重要部分。而此时江西省正处于工业化发展的进程中，二氧化碳的排放量正在逐年升高。江西省需要保持经济发展的同时，也对碳排放进行合理控制。本文在江西省致力于建设好生态文明试验区的背景下，运用对数平均迪氏分解法^[2] (Log Mean Divisia Index, LMDI) 对江西省碳排放的强度变化进行分解并对实现减排提出建议。

碳排放分解方法主要有两个：指数分解法IDA (Index Decomposition Analysis) 和结构分解法SDA (Structural Decomposition Analysis)。其中，指数分解法又包括AMD分解方法和LMDI分解方法。LMDI法具有公式简洁的特点，适合对有连续变化规律的数据进行分解分析，并且其消除了用其他方法分解时有残余项的不足。

¹**基金项目：**国家社会科学基金青年项目“美国气候政策转向背景下中国参与国际气候谈判策略研究”(15CGJ003)；江西省高校人文社会科学研究青年基金项目“基于碳排放的江西省产业结构优化研究”(JJ1409)；江西长江经济带建设协同中心应急项目“江西低碳产业发展经验与问题研究”

第一作者简介：门丹(1983—)，女，辽宁阜新人，博士，讲师，研究方向为低碳经济、气候变化和世界经济。E-mail: gatesunred@163.com

目前国内对碳排放影响因素的研究主要有：原嫒等^[3]运用面板回归分析方法分析产业结构对碳排放的影响，得出减排要从降低峰值的高度、提前峰值的时间入手，以及应该促进产业升级促使第二产业逐渐向第三产业转型；顾阿伦等^[4]运用LMDI分解方法得出产业结构的变化对于减少碳排放有重要意义；郭朝先^[5]采用LMDI方法对中国1996—2009年的碳排放分解，综合考虑经济总量效应和产业结构效应；范丹^[6]在LMDI的分解模型基础上加入PDA方法对中国的能源碳排放从产业结构、经济产出、人口规模、能源绩效等方面进行分解分析。

对于江西省碳排放的研究有：傅春和卢艺芬^[7]运用物料平衡算法从时空格局上分析江西省碳排放的影响因素；杨锦琦^[8]从能源消费的角度对江西省碳排放的影响进行分析；曹俊文^[9]运用投入产出模型将产业部门分为高碳、隐含高碳和低碳产业对碳排放特征进行分析；殷乾亮^[10]运用LMDI法主要从能源消费强度效应方面对江西省的碳排放进行分析。

从以上文献可以看出，现在对于碳排放比较全面的研究多数是从国家层面来分析的，对于地区的研究还比较少，尤其是针对江西省碳排放的影响因素的研究更加缺乏。针对江西省的研究也只是在产业结构、能源消费等单方面的研究分析，没有通过综合的模型把主要的几个影响因素结合起来进行分析讨论。大多数研究考虑的只是产业部门的碳排放量，而没有把居民消费这一部分考虑进去。本文在现有的研究基础上，采用LMDI分解方法，通过测算产业部门的碳排放以及居民消费的碳排放，研究碳排放效率效应、能源消耗强度效应、产业结构效应、经济效率效应4个方面对江西省碳排放的影响，为江西省发展成为生态文明试验区探索路径。

2 江西省碳排放现状

图1是江西省2012—2016年以1978年为基期的GDP（亿元）、二氧化碳排放量（万吨）和碳排放强度的走势图。可见在这5年江西省经济快速发展，同时碳排放量也在逐渐上升，但是江西省的碳排放量的增速在放缓，由2013年的8.95%到2015年的3.82%，到了2016年碳排放总量出现了负增长。江西省碳排放强度整体表现为逐年下降，这说明江西省每一单位的GDP所产生的二氧化碳排放量在下降，表明江西省致力于发展低碳经济，为二氧化碳的减排做出了贡献。

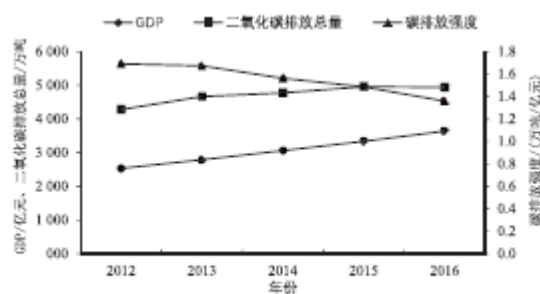


图1 2012—2016年江西省以1978年为基期的GDP、二氧化碳排放总量、碳排放强度走势

在《国家生态文明试验区（江西）实施方案》中江西省战略定位为中部地区绿色崛起先行区，要率先走出一条绿色崛起新道路。但是不容忽视的问题是，江西省能源消耗的原料主要是煤炭，煤炭占能源消耗量的比例一直超过65%，并且江西省能源比较匮乏，不能满足本省的能源消费需求，煤炭、石油、天然气等资源多来自进口，江西省发展低碳经济任重道远。

3 模型与数据处理

3.1 模型与研究方法

本文运用对数平均迪氏分解法（LMDI）分析江西省碳排放的影响，并且在Ang^[2]的基础上进行拓展研究，加入了居民消费对

碳排放的影响。本文将二氧化碳强度的要素分解成产业部门（第一产业、第二产业、第三产业）和居民消费两个部分。碳排放量由产业部门的碳排放量和居民消费的碳排放量两部分组成，其中，碳排放强度等于产业部门的碳排放量加上居民消费的碳排放量与地区生产总值的比值。进行拓展后的模型分解为：

$$M = \sum_{i=1}^3 M_i + M_r \quad (1)$$

$$I = \frac{M}{G} = \frac{\sum_{i=1}^3 M_i}{G} + \frac{M_r}{G} = \sum_{i=1}^3 \frac{M_i}{E_i} \times \frac{E_i}{G_i} \times \frac{G_i}{G} + \frac{M_r}{E_r} \times \frac{E_r}{P} \times \frac{P}{G} \quad (2)$$

式中： $i=1, 2, 3$ ，分别表示第一产业、第二产业、第三产业， r 表示居民消费， M 为碳排放量， G 为地区生产总值， I 为碳排放强度， P 为地区人口数量， E 为能源消耗量。将公式（2）整理得到公式（3）：

$$I = \sum_{i=1}^3 ICE_i \times IEI_i \times ISC_i + HCE \times REI \times EEC \quad (3)$$

式中： $ICE_i = \frac{M_i}{E_i}$ 表示第 i 个产业部门的碳排放系数； $HCE = \frac{M_r}{E_r}$ ，表示第 i 个产业部门的能源消耗强度； $IEI_i = \frac{E_i}{G_i}$ ，表示第 i 个产业部门产业结构系数； $ISC_i = \frac{G_i}{G}$ ，表示居民消费的碳排放系数； $REI = \frac{E_r}{P}$ ，表示居民消费的能源消耗强度系数； $EEC = \frac{P}{G}$ ，表示经济效率系数。

令 $\theta(i) = ICE_i \times IEI_i \times ISC_i (i=1, 2, 3)$ ， $\phi = HCE \times REI \times EEC$ ，

则有：

$$\begin{aligned} I^T - I^0 &= \Delta I \\ &= \int_0^T \frac{dI}{dt} = \sum_{i=1}^3 \int_0^T \theta_{(i)} \left(\frac{d \ln ICE_i}{dt} + \frac{d \ln IEI_i}{dt} + \frac{d \ln ISC_i}{dt} \right) dt + \\ &\quad \int_0^T \phi \left(\frac{d \ln HCE}{dt} + \frac{d \ln REI}{dt} + \frac{d \ln EEC}{dt} \right) dt, \\ &\quad (t \in [0, T]) \end{aligned} \quad (4)$$

依据 LMDI 分解方法分解得：

$$\begin{aligned}
I^T - I^0 &= \Delta I \\
&= \sum_{i=1}^3 \frac{\theta_{(i)}^T - \theta_{(i)}^0}{dx} \ln\left(\frac{ICE_i^T}{ICE_i^0}\right) + \sum_{i=1}^3 \frac{\theta_{(i)}^T - \theta_{(i)}^0}{dx} \ln\left(\frac{IEI_i^T}{IEI_i^0}\right) + \\
&\quad \sum_{i=1}^3 \frac{\theta_{(i)}^T - \theta_{(i)}^0}{dx} \ln\left(\frac{ISC_i^T}{ISC_i^0}\right) + \frac{\varphi^T - \varphi^0}{\ln \varphi^T - \ln \varphi^0} \ln\left(\frac{HCE^T}{HCE^0}\right) + \\
&\quad \frac{\varphi^T - \varphi^0}{\ln \varphi^T - \ln \varphi^0} \ln\left(\frac{REI^T}{REI^0}\right) + \frac{\varphi^T - \varphi^0}{\ln \varphi^T - \ln \varphi^0} \ln\left(\frac{EEI^T}{EEI^0}\right) \quad (5)
\end{aligned}$$

$$\Delta I = \Delta I_{ICE} + \Delta I_{IEI} + \Delta I_{ISC} + \Delta I_{HCE} + \Delta I_{REI} + \Delta I_{EEC} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
\text{式中：} \quad \Delta I_{ICE} &= \sum_{i=1}^3 \frac{\theta_{(i)}^T - \theta_{(i)}^0}{dx} \ln\left(\frac{ICE_i^T}{ICE_i^0}\right), \quad \Delta I_{IEI} = \sum_{i=1}^3 \frac{\theta_{(i)}^T - \theta_{(i)}^0}{dx} \ln\left(\frac{IEI_i^T}{IEI_i^0}\right), \\
\Delta I_{ISC} &= \sum_{i=1}^3 \frac{\theta_{(i)}^T - \theta_{(i)}^0}{dx} \ln\left(\frac{ISC_i^T}{ISC_i^0}\right), \quad \Delta I_{HCE} = \frac{\varphi^T - \varphi^0}{\ln \varphi^T - \ln \varphi^0} \ln\left(\frac{HCE^T}{HCE^0}\right), \\
\Delta I_{REI} &= \frac{\varphi^T - \varphi^0}{\ln \varphi^T - \ln \varphi^0} \ln\left(\frac{REI^T}{REI^0}\right), \quad \Delta I_{EEC} = \frac{\varphi^T - \varphi^0}{\ln \varphi^T - \ln \varphi^0} \ln\left(\frac{EEI^T}{EEI^0}\right).
\end{aligned}$$

本文将碳排放影响因素分解成为4个部分：

（1）碳排放效率效应：包括产业部门的能源活动对碳排放强度的影响（ ΔI_{ICE} ）以及居民消费的能源活动对碳排放强度的影响（ ΔI_{HCE} ）。

（2）能源消耗强度效应：包括产业部门的能源消耗强度系数（ ΔI_{IEI} ）与居民消费的能源消耗强度系数（ ΔI_{REI} ）。

（3）产业结构效应：各个产业部门结构占产业整体的比例对碳排放强度的影响（ ΔI_{ISC} ）。

（4）经济效率效应：产生一单位的地区生产总值所需要的人口数量对碳排放强度的影响（ ΔI_{EEC} ）。

3.2 数据来源与处理

本文的研究时段为2012—2016年。采用的产业部门分类以《国民经济行业分类》（GB/T4754—2011）为标准，第一产业包括农、林、牧、渔业，第二产业包括工业、建筑业等，第三产业包括交通运输、仓储和邮政业，批发、零售业和住宿、餐饮业以及其他部门。

各个产业部门以及居民消费的能源消耗量、各个产业产值的原始数据来源于2013—2017年《江西省统计年鉴》。因为获得的原始数据为“实物量”的统计数据，所以本文依照国家标准煤折算参考系数：煤炭、石油、天然气的折算系数分别是：0.7143吨标准煤/吨、1.4286吨标准煤/吨、1.2143吨标准煤/吨，转化成标准煤来计算得到。

本文依照2006年《IPCC国家温室气体清单指南》^[11]中计算二氧化碳排放量的方法，将一次能源的消耗量（以标准煤计）折算，为了便于比较，避免价格变化的影响，本文统一以1978年GDP为基期，得出二氧化碳的排放量（其中，煤炭类、石油类、天然气的转化系数分别为：0.7476、0.5825、0.4435）^[12]，公式如下：

$$\text{碳排放量} = \text{能源消耗标准煤量} \times \text{碳排放系数} \quad (7)$$

4 实证分析与讨论

4.1 整体分解结果

运用LMDI分解方法，通过公式（1）～公式（7）对江西省的碳排放强度进行分解。表1与表2是LMDI法分解所得结果。从总体情况来看，江西省的碳排放强度在逐年降低，其中产业部门的能源消耗强度效应和产业结构效应是江西省碳排放减少的主要因素，而居民消费的能源消耗强度是增加碳排放的主导因素。碳排放效率效应虽然贡献率占比不大，但也是促进江西省碳排放量减少的一个因素。经济规模效率效应也减少了碳排放量。

4.2 产业结构效应

产业结构效应为三大产业占比对碳排放量的影响（ ΔI_{ISC} ）。从表3可以看出，第二产业对降低碳排放量的影响最大，第二产业平均每年的碳排放系数为0.006548。

表1 2012—2016年江西省碳排放强度分解结果

年份	ΔI_{ICE}	ΔI_{HCE}	ΔI_{IEI}	ΔI_{REI}	ΔI_{ISC}	ΔI_{EEC}	ΔI
2012—2013	-0.00104	-0.00008895	-0.01944	0.00893	-0.00043	-0.00556	-0.01763
2013—2014	0.00118	-0.00039754	-0.09134	0.00654	-0.02204	-0.00550	-0.11156
2014—2015	-0.00024	-0.00033075	-0.02915	0.00515	-0.04590	-0.00512	-0.07559
2015—2016	-0.00071	-0.00006150	-0.06509	0.00190	-0.05877	-0.00489	-0.12762
2012—2016	-0.00084	-0.00083537	-0.20028	0.02163	-0.13186	-0.02023	-0.33241

表2 2012—2016年江西省碳排放分解结果（贡献率）

年份	$\Delta I_{ICE}/\%$	$\Delta I_{HCE}/\%$	$\Delta I_{IEI}/\%$	$\Delta I_{REI}/\%$	$\Delta I_{ISC}/\%$	$\Delta I_{EEC}/\%$	$\Delta I/\%$
2012—2013	5.90	0.50	110.29	-50.68	2.44	31.54	100
2013—2014	-1.06	0.36	81.87	-5.86	19.76	4.93	100
2014—2015	0.32	0.44	38.56	-6.81	60.72	6.77	100
2015—2016	0.56	0.05	51.00	-1.49	46.05	3.83	100
2012—2016	0.25	0.25	60.25	-6.51	39.67	6.09	100

第一产业表现为促进碳排放增长，但是影响较小，这个分析结果也符合行业发展的特性。如第二产业包括采矿业、造纸业等高能耗产业，而第三产业则为低碳、低能耗产业。近些年江西省致力于产业升级，结合自身特点大力发展旅游等行业，加快从传统的高能耗、高排放的第二产业转向发展低能耗、低排放的第三产业的步伐。从我们的分析中可以看出，这种方式对于减少碳排放量具有重要意义。

表 3 2012—2016 年三大产业对碳排放量的影响

年份	ΔI_{ISC1} (第一产业)	ΔI_{ISC2} (第二产业)	ΔI_{ISC3} (第三产业)
2012—2013	-0.00128	-0.00225	0.003104
2013—2014	-0.00055	-0.02659	0.005103
2014—2015	-0.00020	-0.05420	0.008497
2015—2016	-0.00039	-0.06874	0.010364
2012—2016	-0.00236	-0.15570	0.026190

4.3 经济效率效应

经济效率效应为产生一单位的地区生产总值所需要的人口数量。从图 2 可以看出，经济效率效应促进碳排放量减少，经济效率效应 $\Delta IEEC$ 平均值为-0.05058。这表明经济效率上升，即人均收入上升，人们的消费层级上升对于促进碳排放的减少有积极作用。可见，经济效率的发展与进行节能减排是可以同步进行的，在发展经济、提高人民物质生活水平的同时促进碳排放量减少。

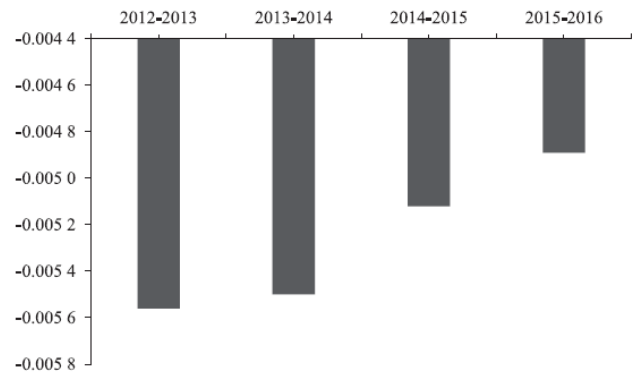


图2 江西省2012—2016年经济效率效应

4.4 碳排放效率效应

碳排放效率效应包括产业部门的碳排放系数（ ΔI_{ICE} ）与居民消费的碳排放系数（ ΔI_{HCE} ）。从图3中可以看到出，碳排放效率效应有利于碳排放量减少，居民消费的能源活动对碳排放量影响也很大，平均占比为49.86%，其中，2013—2015年其对碳排放的减排的贡献率显著上升。居民消费使用的能源主要是天然气、电力等清洁能源，而江西省的电力、天然气消耗量主要是用于居民生活，所以居民消费的能源活动对碳排放减少的贡献不容忽视。

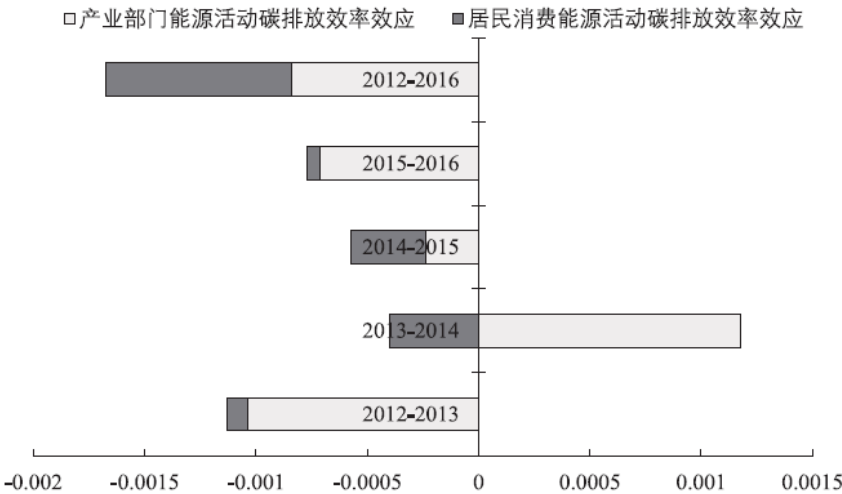


图3 2012—2016年产业部门和居民消费碳排放效率效应

产业部门能源活动的强度对减排的影响在2012—2014年比较明显。可见，江西省的产业部门已进行能源结构升级，使用清洁能源，减少使用高排放的能源，并且提高技术水平，提高单位能源消耗量的排放量。但是产业部门的能源结构对于碳排放强度的影响还有很大的发展空间，对产业部门的能源结构进行优化升级会大幅度提升碳排放效率效应对碳排放量的负作用。

4.5 能源消耗强度效应

能源消耗强度效应分成两部分，分别为产业部门的能源消耗强度效应（ $\Delta I_{IEI} = \Delta I_{IEI1} + \Delta I_{IEI2} + \Delta I_{IEI3}$ ）和居民消费的能源消耗强度效应（ ΔI_{REI} ）。产业部门的能源消耗强度是一单位地区生产总值（GDP）所消耗的能源量，这个指标反映出地区经济发展的能源利用效率。从表2中可以看出，产业部门的能源消耗强度效应对减排的贡献率比较大，是碳排放量减少的主要因素。

从表4可以看出，第一产业的能源消耗强度效应在整个产业部门中占比微小，但是整体对碳排放增加有负效应。第二产业的能源消耗强度效应所占比例是最大的，2012—2016年，占比超过85%。而第三产业正在以逐年增加上升的比例对减排做出贡献，但是占比还是较小。虽然江西省在近年的发展产业结构在调整，第二产业占比在逐渐减少，第三产业占比在逐渐增加，但是，由于第二产业自身对于能源消耗强度的影响很大，第二产业的能源消耗强度效应对产业部门的能源消耗强度效应起主导作用。

表4 2012—2016年江西省能源消耗强度效应

年份	ΔI_{IEI1}	ΔI_{IEI2}	ΔI_{IEI3}	ΔI_{IEI}	ΔI_{REI}
2012—2013	0.000304697	-0.01802	-0.00173	-0.01944	0.008933
2013—2014	-0.000493366	-0.0903	-0.00054	-0.09134	0.006536

2014—2015	-0.000977225	-0.02076	-0.00742	-0.02915	0.005147
2015—2016	-0.000350199	-0.04593	-0.01881	-0.06509	0.001903
2012—2016	-0.001592	-0.17106	-0.02763	-0.200028	0.02163

居民消费的能源消耗强度效应是指每个人所消耗的能源量。我们可以看出，居民消费的能源消耗强度对碳排放增加起着正向促进作用，但是影响占比较小。随着城镇化进程的加快，人们的消费观念也在改变。例如：人们拥有的私家车越来越多，人们对于节约的意识有所降低，等等。居民消费的能源消耗强度效应也在逐渐成为阻碍碳排放量减少的一个重要因素。

5结论与建议

本文通过LMDI分解方法从产业结构、经济效率、碳排放效率和能源消耗强度4个方面对江西省2012—2016年的碳排放量进行了分解分析。可以看出：产业部门的能源消耗强度效应和产业结构效应是影响江西省碳排放量减少的主要因素；居民消费的能源消耗强度效应是增加江西省碳排放的主要驱动因素；经济效率效应对碳排放有比较明显的负效应；碳排放效率对江西省碳排放增长有抑制作用，但是影响较小。根据以上的分析结果，结合江西省的发展现状针对性地提出几点建议：

（1）根据江西省的实际发展情况，优化产业结构，促进产业升级，加强对高能耗产业的整改。产业结构效应中影响最大的是第二产业，所以第二产业的转型升级对于低碳经济的发展具有重大意义。但是我们不能单纯的只是降低第二产业的占比，去发展排放较少的第三产业。因为许多研究表明，以第三产业为主导的后工业化社会是不存在的^[13]，所以我们更多的是要对产业进行“去产能”，淘汰那些高排放的企业，并对高能耗、高排放行业进行资源整合。“绿水青山就是金山银山”，利用江西省旅游资源丰富的特点，大力发展旅游业。

（2）把对环境影响的因素计入人均GDP总值的计算中。经济效率效应能够促进节能减排，所以大力发展经济、提升人民的物质生活水平对于江西省的发展至关重要。但是，过去我们在提高GDP的过程中忽视了对环境的保护，而如今，一系列环境恶化、资源短缺等问题凸显，我们已经不能以牺牲环境为代价来发展经济。江西省作为中部地区经济相对落后的地区，应该统筹经济发展和环境保护协调发展，在对人均GDP测算中加入环境因素，创造出一条绿色发展的道路，打造出“江西样板”。

（3）调整能源消费结构，提倡使用清洁能源。江西省的能源消费大多来自煤炭和石油。这两种能源不仅污染排放严重而且利用率低，与天然气和电力等清洁能源相差甚大。随着人民物质生活水平的不断提高，私家车的使用率也在快速上升，政府应该对新能源汽车给予一些政策优惠，促进人们选择更加低碳的出行方式。

（4）鼓励节能减排技术的研究，提升能源的使用效率。技术对于节能减排至关重要，政府应该大力推动节能减排技术的研究，吸引技术人才，并且向先进的国家、地区学习先进技术。推动第二产业技术进步的同时，提升第一产业的技术水平，对农、林、牧、渔等进行工业化改革，提高生产效率。

参考文献：

[1] 中共中央办公厅、国务院办公厅. 国家生态文明试验区（江西）实施方案[EB/OL]（2017-10-03）. http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2017-10/03/nw.D110000renmrb_20171003_1-05.htm.

-
- [2]Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: Apractical guide [J]. Energy Policy, 2005, 33(7): 867-871.
- [3]原媛, 席强敏, 孙铁山, 等. 产业结构对区域碳排放的影响——基于多国数据的实证分析[J]. 地理研究, 2016(1): 82-94.
- [4]顾阿伦, 何崇恺, 吕志强. 基于LMDI方法分析中国产业结构变动对碳排放的影响[J]. 资源科学, 2016(10): 1861-1870.
- [5]郭朝先. 产业结构变动对中国碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2012(7): 15-20.
- [6]范丹. 中国能源消费碳排放变化的驱动因素研究——基于LMDI-PDA分解法[J]. 中国环境科学, 2013(9): 1705-1713.
- [7]傅春, 卢艺芬. 江西省二氧化碳排放量时空演变及影响因子研究[J]. 江西社会科学, 2011(3): 252-256.
- [8]杨锦琦. 江西能源消费、碳排放与低碳经济发展研究[J]. 企业经济, 2014(10): 36-39.
- [9]曹俊文. 江西省产业部门碳排放特征及减排途径——基于1992—2007年投入产出分析[J]. 经济地理, 2011(12): 2111-2115.
- [10]殷乾亮. 江西能源消费碳排放分解研究[J]. 江西社会科学, 2012(6): 71-74.
- [11]Eggleston S, Buendia L, Miwa K, et al. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [R]. Hayama: IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.
- [12]国家发改委委员会能源研究所. 中国可持续发展能源暨碳排放情景分析 [EB/OL]. (2010-09-07). <https://wenku.baidu.com/view/7068bdc708a1284ac85043ba.html>.
- [13]赵儒煜, 邱振卓. 产业结构与碳排放关系研究述评[J]. 经济纵横, 2014(10): 110-113.