

贡献量和敏感度双视角下云南省 高耗能行业碳排放控制研究

刘红琴 谭丽峰 杨红娟¹

(昆明理工大学 管理与经济学院, 云南 昆明 650093)

【摘要】: 高耗能行业是碳排放的主力军, 控制其碳排放是实现中国碳排放达峰以及进行绿色低碳转型的重要组成部分。论文在传统碳排放影响因素分析的基础上引入敏感度来表征减排效率, 从规模效应(人口、经济发展)、结构效应(工业化率、能源结构、行业结构)、技术效应(碳排放系数、能源强度)三种类型的七个影响因素出发, 研究 2006—2017 年各影响因素对云南省高耗能行业碳排放的贡献规律和敏感程度。结果表明: (1) 云南省高耗能行业能耗和碳排放集聚现象明显, 各行业碳排放规律存在行业差异, 但达峰节点存在趋同性; (2) 碳排放影响因素整体上以经济发展、工业化率和人口规模为增碳的正效应, 能源强度和行业结构表现为减碳的负效应; (3) 在三个五年规划期内, 碳排放影响因素的敏感度呈现明显的规律性, 表现出了从混乱到有序的过渡, 最敏感的因素实现了从能源强度向碳排放系数的转变。

【关键词】: 高耗能行业 碳排放 影响因素 敏感程度 贡献量

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2020)10-041-07

IPCC 第五次评估报告再次证实了全球气候变暖的事实以及人类活动是导致全球地表温度升高的主要原因, 进行碳排放控制是人类应对气候变化的重要举措。中国作为负责任的大国, 在巴黎气候大会提出于 2030 年左右实现碳排放达峰的目标。我国粗放型的工业经济增长贡献了超过 80% 的能源消费碳排放^[1], 而六大高耗能行业的能耗和碳排放在整个工业部门占据相当大的比重^[2], 因此, 进行高耗能行业碳排放控制是实现碳减排和碳排放达峰的重要路径。

1 相关文献综述

在碳排放控制策略和减排路径分析方面, 诸多学者采用碳排放影响因素分析作为辅助工具, 运用较广泛的碳排放影响因素分析方法包括计量经济学方法以及因素分解方法, 其中结构分解法和指数分解法是最常用的因素分解方法。

结构分解法主要侧重于外部性因素对碳排放的影响, 段玉婉和杨翠红^[3]运用结构分解技术探讨了能耗强度、碳排放强度等因素对中日能源消耗和碳排放的贡献; 张学刚和唐铁球^[4]构建了 SDA 模型从整体需求及行业层面对消费、投资、出口等驱动能耗的因素进行了系统分析; 许士春等^[5]采用结构分解法对消费、投资、调出和出口因素促进能源消耗的影响情况进行了分析。

指数分解法主要侧重于使用数理公式将各影响因素进行逐一分解, 可较明确地说明碳排放影响因素的问题, 最常用的指数分

¹作者简介: 刘红琴, 博士, 讲师, 研究方向为可持续发展管理。

杨红娟, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为持续发展管理。E-mail: 939738277@qq.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目“云南少数民族贫困地区生态文明建设的关键因素和有效路径研究”(71463034); 云南省应用基础研究项目“云南省碳排放总量控制目标分解研究”(2018FD041)。

解法为基于 Kaya 等式和拉氏指数分解 (AMD) 的对数平均迪氏指数分解法 (LMDI)^[6]。LMDI 模型作为常用的一种指数分解方法, 具有计算便捷、无残余项等优点, 在碳排放影响因素的分解中被许多学者广泛采用, 研究对象主要从国家、省份以及地区层面进行碳排放影响因素分析, 相关研究成果非常丰富。如佟新华和杜宪^[7]对日本碳排放强度影响因素及驱动效应测度进行了分析; 李慧芳和聂锐^[8]等对中国能耗变动影响因素进行了 LMDI 分解; 高彩玲等^[9]基于 LMDI 方法对河南省能源强度下降的驱动因素进行了分析; 田泽等^[10]测算了江苏省终端能源消费 CO₂ 排放总量并分析了驱动因素; 马晓明等^[11]对深圳市碳排放变化驱动因素开展了研究; 王彩明和李健^[12]、江方利等^[13]、宋敏和郭清卉^[14]则分别对河北、四川、陕西三省开展了能源消费碳排放影响因素研究。

在现有影响因素研究文献中, 部分学者从行业角度采用 LMDI 模型进行了碳排放影响因素研究。韩钰铃和刘益平^[15]、赵涛等^[16]采用 LMDI 模型分别对江苏省和天津市工业部门碳排放影响因素进行了研究; 李雪梅等^[17]利用 LMDI 分解法研究了天津市高碳行业碳排放影响因素; 曹俊文和姜雯昱^[18]基于 LMDI 模型开展了电力行业碳排放影响因素分解研究; 武戈和谢钰思^[19]基于 LMDI 分解法分析了南京市工业 35 个行业在 2000—2010 年的碳排放变化; 赵先超和滕洁^[20]则使用 LMDI 模型对湖南省旅游业碳排放影响因素开展了研究; 姚震和罗世兴^[21]将 LMDI 模型运用于有色金属行业, 对中国有色金属行业进行了驱动因素分析。

综上所述, 传统的碳排放影响因素研究给碳减排策略制定做出了突出贡献, 其整体思路为: 从贡献量和贡献率角度研究各影响因素对碳排放的贡献情况, 继而识别出贡献量较大的因素进行碳减排政策的制定。然而, 贡献量主要是基于各影响因素的历史信息, 各影响因素的基数值直接影响着贡献量的大小, 贡献量大的因素不一定是减排效率最大的因素。本研究提出在 LMDI 分解模型的基础上采用敏感度系数来反映各影响因素的减排效率, 即对各影响因素碳排放的效率进行研究, 以便选择更高效的碳排放影响因素来制定更加有效的碳减排路径。并且选择云南省高耗能行业为研究对象, 从规模效应(人口、经济发展)、结构效应(工业化率、能源结构、行业结构)、技术效应(碳排放系数、能源强度)三种类型的七个影响因素进行碳排放影响因素贡献规律研究, 同时构建了碳排放影响因素敏感度模型, 开展了各因素对碳排放变化的敏感度分析, 以期对云南省进行高耗能行业碳排放控制提供决策参考。

2 研究方法和数据来源

2.1 LMDI 分解方法

LMDI (对数平均迪氏指数分解法) 是一种指数分解分析方法^[22-23], 即把一个目标变量的变化分解成若干个影响因素的组合。本文采用 LMDI 分解法, 将碳排放影响因素分解为碳排放系数、能源结构、能源强度、行业结构、工业化率、经济发展和人口七个因素进行研究。公式如下:

$$\begin{aligned} C &= \sum_{ij} C_{ij} \\ &= \sum_{ij} \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \times \frac{E_{ij}}{E_i} \times \frac{E_i}{Q_i} \times \frac{Q_i}{Q_0} \times \frac{Q_0}{Q} \times \frac{Q}{P} \times P \\ &= \sum_{ij} F_{ij} e_{ij} I_i S_i R Y P \end{aligned} \quad (1)$$

式中: C 表示二氧化碳排放总量; i 用于区分不同的行业类型; j 用于区分不同的能源类型; C_{ij} 表示第 i 种行业第 j 种能源消耗产生的二氧化碳; E_{ij} 表示第 i 种行业第 j 种能源的能源消费量; E_i 表示第 i 种行业的能源消费量; Q 表示国民生产总值; Q₀ 表示工业国民生产总值; Q_i 表示第 i 种行业的工业增加值; P 代表人口; F_{ij} 表示碳排放系数; e_{ij} 表示能源结构; I_i 表示能源强度; S_i 表示行业结构; R 表示工业化率; Y 表示经济发展; P 代表人口。

根据 LMDI 分解法将终端能源消耗二氧化碳排放量从基准年 0 到目标年 T 的变化分解为七个因素对总碳排放量的影响:

$$\begin{aligned}\Delta C &= C^T - C^0 \\ &= \Delta C_{emf} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{int} + \Delta C_{str} + \Delta C_{act} + \Delta C_{rat} + \Delta C_{pop} \quad (2)\end{aligned}$$

式中： ΔC 表示碳排放量从 0 到 T 年的变化量； ΔC_{emf} 表示 0 到 T 年碳排放系数对碳排放量的影响； ΔC_{mix} 表示 0 到 T 年能源结构对碳排放量的影响； ΔC_{int} 表示 0 到 T 年能源强度对碳排放量的影响； ΔC_{str} 表示 0 到 T 年行业结构对碳排放量的影响； ΔC_{act} 表示 0 到 T 年经济发展对碳排放量的影响； ΔC_{rat} 表示 0 到 T 年工业化率对碳排放量的影响； ΔC_{pop} 表示 0 到 T 年人口对碳排放量的影响。具体计算公式为：

$$\Delta C_{emf} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{F_{ij}^T}{F_{ij}^0} \right) \quad (3)$$

$$\Delta C_{mix} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{e_{ij}^T}{e_{ij}^0} \right) \quad (4)$$

$$\Delta C_{int} = \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta C_{str} = \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad (6)$$

$$\Delta C_{act} = \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{Y^T}{Y^0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta C_{rat} = \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{R^T}{R^0} \right) \quad (8)$$

$$\Delta C_{pop} = \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{P^T}{P^0} \right) \quad (9)$$

其中： C_{ij}^T 表示目标年第 i 种行业第 j 种能源消耗产生的二氧化碳； C_{ij}^0 表示基准年第 i 种行业第 j 种能源消耗产生的二氧化碳； F_{ij}^T 表示目标年第 i 种行业第 j 种能源的碳排放系数； F_{ij}^0 表示基准年第 i 种行业第 j 种能源的碳排放系数； e_{ij}^T 表示目标年第 i 种行业第 j 种能源的能源结构； e_{ij}^0 表示基准年第 i 种行业第 j 种能源的能源结构； I_i^T 表示目标年第 i 种行业的能源强度； I_i^0 表示基准年第 i 种行业的能源强度； S_i^T 表示目标年第 i 种行业的行业结构； S_i^0 表示基准年第 i 种行业的行业结构； Y^T 表示目标年的经济发展情况； Y^0 表示基准年的经济发展情况； R^T 表示目标年的工业化率； R^0 表示基准年的工业化率； P^T 代表目标年的人口数量； P^0 代表基准年的人口数量。

2.2 碳排放敏感度分析模型

为了使碳排放影响因素分析更加全面, 本文引入弹性系数概念。碳排放弹性系数是指一定时期内碳排放变化受各因素影响的敏感程度。假设 X 为自变量, Y 为因变量, 则碳排放弹性系数 (EL) 的一般计算原理如下：

$$EL = \pm \frac{(Y_t - Y_0)/Y_0}{(X_t - X_0)/X_0} = \pm \frac{\Delta Y/Y_0}{\Delta X/X_0} = \pm \frac{\Delta Y}{\Delta X} \times \frac{X_0}{Y_0} \quad (10)$$

式中：“±”表示因素变动对碳排放变化的方向，“+”号表明因素变动对碳排放变化具有正向驱动作用，“-”号表明因素变动对碳排放变化具有抑制作用，为了便于分析比较，本文对弹性系数进行绝对值化处理。根据公式(3)~(9)及公式(10)可得出碳排放系数、能源结构、能源强度、行业结构、工业化率、经济发展和人口七个因素对碳排放变化的弹性系数，弹性系数的绝对值越大，表明各影响因素对碳排放变化的敏感程度越高。弹性系数计算公式如下：

$$\begin{aligned} EL_F &= \left| \frac{\Delta C_{coef}}{\Delta F} \times \frac{F_0}{C_0} \right|; EL_e = \left| \frac{\Delta C_{mix}}{\Delta e} \times \frac{e_0}{C_0} \right|; EL_I = \left| \frac{\Delta C_{int}}{\Delta I} \times \frac{I_0}{C_0} \right|; \\ EL_S &= \left| \frac{\Delta C_{str}}{\Delta S} \times \frac{S_0}{C_0} \right|; EL_R = \left| \frac{\Delta C_{act}}{\Delta R} \times \frac{R_0}{C_0} \right|; EL_Y = \left| \frac{\Delta C_{res}}{\Delta Y} \times \frac{Y_0}{C_0} \right|; \\ EL_P &= \left| \frac{\Delta C_{pop}}{\Delta P} \times \frac{P_0}{C_0} \right| \end{aligned} \quad (11)$$

其中： EL_F 表示碳排放系数对碳排放变化的敏感程度， EL_e 表示能源结构对碳排放变化的敏感程度， EL_I 表示能源强度对碳排放变化的敏感程度， EL_S 表示行业结构对碳排放变化的敏感程度， EL_R 表示工业化率对碳排放变化的敏感程度， EL_Y 表示经济发展对碳排放变化的敏感程度， EL_P 表示人口对碳排放变化的敏感程度。 C_0 表示基准年的碳排放变化量， F_0 表示基准年的碳排放系数， e_0 表示基准年的能源结构， I_0 表示基准年的能源强度， S_0 表示基准年的行业结构， R_0 表示基准年的工业化率， Y_0 表示基准年的经济发展， P_0 表示基准年的人口数量。 ΔF 表示0到T年碳排放系数的变化量， Δe 表示0到T年能源结构的变化量， ΔI 表示0到T年能源强度的变化量， ΔS 表示0到T年行业结构的变化量， ΔR 表示0到T年工业化率的变化量， ΔY 表示0到T年经济发展的变化量， ΔP 表示0到T年人口的变化量。

2.3 数据来源及处理

本文的数据均来自2006—2017年《云南能源统计年鉴》和《云南统计年鉴》，碳排放系数来源于《省级温室气体清单编制指南(试行)》(发改办气候〔2011〕1041号)；各年GDP已换算为2005年不变价，以消除通货膨胀带来的影响。高耗能行业不同能源类型的碳排放量采用IPCC提出的碳排放系数法计算得到。

通过对云南省各行业能源消费情况进行统计分析，云南省2006—2017年年均能耗超过500万吨标煤的高耗能行业共有四个，分别是化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业。研究期内四个高耗能行业占了云南省工业能源消费总量的70%以上，本研究以云南省四个高耗能行业作为研究对象。

3 结果分析

3.1 云南省高耗能行业能源消费碳排放分析

四个高耗能行业能源消费碳排放量水平如图1所示，黑色金属冶炼及压延加工业在“十一五”和“十二五”期间都是碳排放量最大的行业，在“十二五”末和“十三五”期间该行业碳排放量下降最明显。作为碳排放量第二大行业，2006—2017年，化学原料及化学制品制造业碳排放量均在2500万~3300万吨二氧化碳之间波动，呈现出相对平稳的状态。非金属矿物制品业研究期内碳排放量呈现波动式上升趋势，“十一五”期间碳排放量增长明显，增长了35%；“十二五”期间增幅为5%，是四个高耗能行业中碳排放量增幅最大的行业；2016年和2017年碳排放量增幅仍然较明显。有色金属冶炼及压延加工业是四个高耗能行业中碳排放量最小的行业，在2011年达到峰值后其碳排放量呈现出稳定下降趋势。

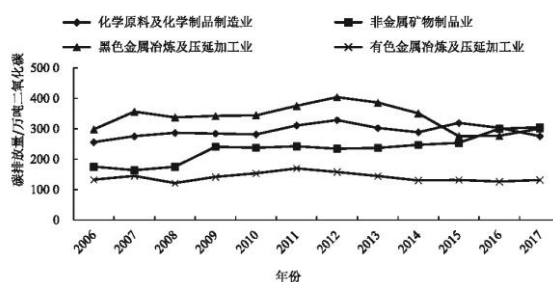


图 1 2006-2017 年云南省高耗能行业碳排放量

从各行业碳排放趋势看,四个高耗能行业在 2006—2017 年均达到了碳排放峰值(表 1)。碳排放量最大的黑色金属冶炼及压延加工业在 2007 年和 2012 年达到了峰值,化学原料及化学制品制造业分别在 2008 年、2012 年和 2015 年达到了峰值,非金属矿物制品业则在 2009 年和 2011 年分别短暂达峰,有色金属冶炼及压延加工业碳排放峰值出现在 2007 年和 2011 年。

四个高耗能行业能耗峰值和碳排放峰值出现时间对比如表 1 所示,云南省四个高耗能行业在 2006—2017 年均达到过能源消费峰值和碳排放峰值,部分行业出现了多个峰值。从峰值出现的时期看,四个高耗能行业在“十一五”和“十二五”期间均出现了碳排放峰值,而能耗峰值则主要出现在“十二五”时期。从能耗峰值和碳排放峰值出现的年份看,大部分出现能耗峰值的年份也都出现了碳排放峰值,黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业中有两次碳排放峰值早于能耗峰值的现象,主要是因为能源结构调整、技术改良(碳排放系数降低)等因素导致碳排放峰值比能耗峰值提前到来。

表 1 2006-2017 年云南省高耗能行业能耗峰值和碳排放峰值出现年份

出现峰值的时间	能耗峰值	碳排放峰值
化学原料及化学制品制造业	2008 年, 2012 年, 2015 年	2008 年, 2012 年, 2015 年
非金属矿物制品业	2011 年	2009 年, 2011 年
黑色金属冶炼及压延加工业	2013 年	2007 年, 2012 年
有色金属冶炼及压延加工业	2007 年、2012 年	2007 年, 2011 年, 2015 年

3.2 高耗能行业碳排放影响因素分析

四个高耗能行业能耗占工业总能耗的 70%以上,将四个高耗能行业采用文中提出的 LMDI 分解法对各个影响因素进行研究,各行业碳排放影响因素的贡献量如表 2 所示。

从总变化来看,2006—2017 年,云南省四个高耗能行业中除了有色金属冶炼及压延加工业的碳排放增加量为负值外,其余行业碳排放变化量均为正值。碳排放变化量最大的是非金属矿物制品业,增加了 1298 万吨二氧化碳。

从各影响因素贡献情况看,2006—2017 年,经济发展、工业化率、人口三个因素在四个高耗能行业中均表现为增碳的正效应;并且从数值来看,经济发展是四个高耗能行业中最大的增碳因素。碳排放系数表现为减碳的负效应,能源强度和行业结构均只有一个行业表现为增碳的正效应,其余三个行业均为减碳的负效应。

从具体的行业角度看,各行业碳排放影响因素贡献率存在明显的个体差异(图 2)。化学原料及化学制品制造业碳排放增加的最大影响因素为经济发展,经济发展因素对碳排放的贡献率达到了 81%;能源强度和行业结构为化学原料及化学制品制造业主要的减碳因素,分别占总减碳因子贡献率的 45%和 35%。对于非金属矿物制品业,增碳效应主要集中在经济发展和行业结构两个因素,分别占增碳量的 56%和 37%;非金属矿物制品业的减碳效应则主要来源于能源强度因素,占总减碳贡献率的 88%。黑色金属冶炼及压延加工业各影响因素贡献率规律与化学原料及化学制品制造业相似,增碳效应集中于经济发展因素;减碳效应集中于行业结构和能源强度因素,而行业结构的减碳贡献率要大于能源强度的减碳贡献率。有色金属冶炼及压延加工业的减碳效应则集中于行业结构和碳排放系数两个因素。

表 2 各行业碳排放影响因素贡献量 单位:万吨

行业	碳排放系数	能源结构	能源强度	行业结构	经济发展	工业化率	人口	碳排放变化量
化学原料及化学制品制造业	-716	348	-1703	-1327	3191	200	201	194
非金属矿物制品业	-351	-12	-2800	1670	2503	128	159	1298
黑色金属冶炼及压延加工业	-578	-325	-1381	-1917	3724	273	232	29
有色金属冶炼及压延加工业	-966	32	170	-910	1393	59	87	-134

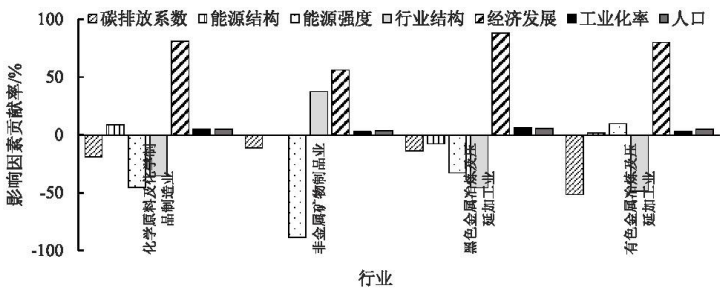


图 2 2006-2017 年云南省四个高耗能行业各影响因素贡献率情况

为了进一步揭示云南省高耗能行业各时期碳排放影响因素的特点,利用 LMDI 分解法对各年份碳排放影响因素进行研究,2006-2017 年云南省四个高耗能行业各年份碳排放影响因素如表 3 所示。

表 3 2006-2017 年云南省四个高耗能行业碳排放影响因素 单位:万吨

年份	碳排放系数	能源结构	能源强度	行业结构	经济发展	工业化率	人口	碳排放变化量
2006—2007 年	-75	80	-569	-54	969	379	62	792
2007—2008 年	-596	277	-1497	443	874	234	59	-204
2008—2009 年	136	-95	337	-515	1035	-73	59	883
2009—2010 年	-309	30	-934	-86	1110	200	67	78

2010—2011 年	-221	220	-2288	1396	1307	335	67	816
2011—2012 年	-569	66	-380	-459	1306	236	67	267
2012—2013 年	-636	-153	-519	-331	1194	-165	65	-546
2013—2014 年	-526	-62	472	-1144	751	-88	60	-535
2014—2015 年	253	-148	505	-162	768	-182	59	-366
2015—2016 年	-110	-39	557	-773	772	-208	60	259
2016—2017 年	14	-123	-1662	855	873	51	63	71
2006—2017 年	-2639	52	-5978	-2290	10959	720	688	1514

从表 3 可以看出,2006—2017 年云南省高耗能行业碳排放量总增长量为 1514 万吨,经济发展、工业化率、能源结构和人口因素表现为正向的增碳效应,经济发展的增碳效应最为明显,2006—2017 年贡献量达 10959 万吨;碳排放系数、能源强度、行业结构三者表现出负向的减碳效应,其中以能源强度因素的减碳效应最为明显。

从各年份来看,大部分年份的碳排放变化量为正值,呈现碳排放量增长的趋势,尤其是 2006—2007 年、2008—2009 年、2010—2011 年碳排放增量明显;碳排放变化量为负值的情况集中出现在“十二五”末期,包括 2012—2013 年、2013—2014 年以及 2014—2015 年。

从不同阶段各影响因素贡献率情况(图 3)看,2006—2017 年,经济发展因素始终为主要的增碳效应因素,减碳因素则主要为能源强度、碳排放系数、行业结构、工业化率等,各减碳因素在不同时段的减碳贡献率存在明显的阶段性差异,整体呈现出碳减排重点从能源强度调整向行业结构调整,再转为多元并重,最后再回落到以能源结构调整为主的趋势。

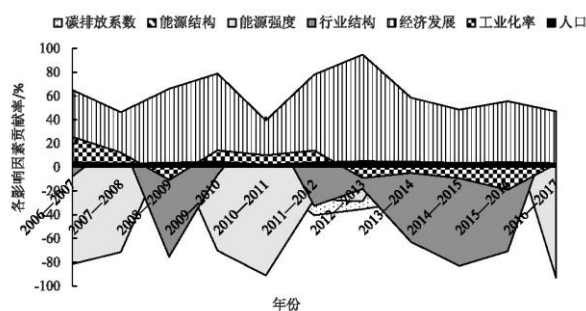


图 3 不同阶段各影响因素贡献率情况

“十一五”初期(2006—2008 年),减碳最主要的贡献因素为能源强度;“十一五”末期(2008—2010 年),行业结构的减碳贡献率占主导地位;“十二五”初期(2010—2011 年),能源强度是最主要的减碳因素;“十二五”中后期(2011—2015 年),呈现出行业结构、能源强度、碳排放系数多元并重的碳减排集中现象;“十三五”时期(2015—2017 年),碳减排重要因素从行业结构因素向能源强度因素调整。

3.3 各因素对碳排放变化的敏感程度分析

根据碳排放弹性系数公式,得出各因素对碳排放变化的敏感程度。弹性系数的大小直接决定其敏感程度,弹性系数越大,说明该影响因素对碳排放变化的敏感程度越大;弹性系数越小,说明该影响因素对碳排放变化的敏感程度越小。图 4 为各因素对碳排放变化的敏感程度。

整体而言,云南省高耗能行业不同研究阶段各因素对碳排放变化的敏感程度均存在一定的波动性,尤其以碳排放系数和能源强度表现最为明显。分阶段看,2006—2007 年、2008—2009 年,碳排放对各影响因素较敏感,且各影响因素的敏感度差异较大。为与国家政策相匹配,本文分别从“十一五”“十二五”和“十三五”三个阶段开展碳排放变化对各因素敏感程度的研究。各年份各影响因素对碳排放变化的敏感度排序情况如表 4 所示。

表 4 各影响因素对碳排放变化的敏感度排序

年份	敏感度排序
2006—2007 年	碳排放系数>能源强度>人口>能源结构>经济发展>人口>行业结构
2007—2008 年	人口>能源强度>碳排放系数>经济发展>能源结构>工业化率>行业结构
2008—2009 年	能源强度>碳排放系数>人口>工业化率>能源结构>经济发展>行业结构
2009—2010 年	能源结构>能源强度>碳排放系数>人口>工业化率>经济发展>行业结构
2010—2011 年	碳排放系数>人口>能源强度>能源结构>经济发展>工业化率>行业结构
2011—2012 年	能源强度>人口>能源结构>碳排放系数>工业化率>经济发展>行业结构
2012—2013 年	能源强度>人口>碳排放系数>能源结构>工业化率>经济发展>行业结构
2013—2014 年	能源强度>人口>能源结构>碳排放系数>工业化率>经济发展>行业结构
2014—2015 年	能源强度>碳排放系数>人口>经济发展>能源结构>工业化率>行业结构
2015—2016 年	碳排放系数>能源强度>能源结构>人口>经济发展>工业化率>行业结构
2016—2017 年	碳排放系数>人口>工业化率>能源强度>能源结构>经济发展>行业结构

“十一五”(2006—2010 年)时期,不同年份的碳排放影响因素敏感度均存在较大差异,每个年份碳排放敏感度最大的因素均不同。2006—2007 年碳排放敏感度最大的因素为碳排放系数,2007—2008 年碳排放敏感度最大的因素为人口,2008—2009 年碳排放敏感度最大的因素为能源强度,2009—2010 年碳排放敏感度最大的因素为能源结构。

“十二五”(2011—2015 年)时期,不同年份的碳排放影响因素敏感度呈现出一定的规律。2011—2015 年碳排放敏感度最大的因素均为能源强度,2010—2014 年碳排放敏感度第二大的因素均为人口,而且 2010—2014 年碳排放敏感度排名最后的三个因素均为工业化率、经济发展和行业结构。

“十三五”时期,暂时只涉及 2015—2016 年和 2016—2017 年两个阶段,这两个阶段碳排放影响因素敏感度也呈现出了一定的规律,碳排放敏感度最大的因素均为碳排放系数。

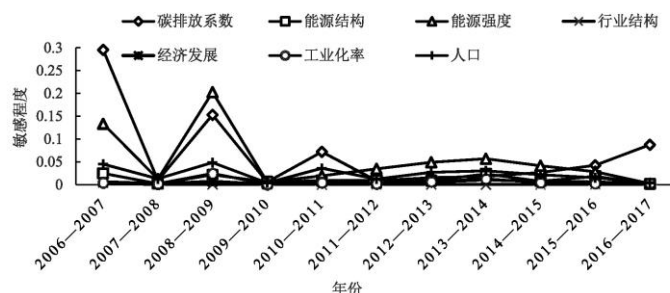


图 4 各因素对碳排放变化的敏感程度

根据敏感度分析,整体来看,云南省高耗能行业“十一五”期间处于绿色低碳发展的探索阶段;“十二五”期间处于能源强度控制阶段;“十三五”逐步进入了绿色创新阶段。

4 结论和建议

本文构建了碳排放影响因素和碳排放敏感度分析模型,从规模效应(人口、经济发展)、结构效应(工业化率、能源结构、行业结构)、技术效应(碳排放系数、能源强度)三种类型的七个影响因素进行碳排放影响因素贡献规律研究和碳排放影响因素敏感度分析。并且选择“一带一路”窗口省份的云南省作为研究对象,对其高耗能行业碳排放影响因素和敏感度展开研究,以期对云南省高耗能行业碳排放控制提供政策建议。研究结论如下:

(1) 云南省高耗能行业能源消费碳排放存在明显集聚效应。从总量来看,化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业以及有色金属冶炼及压延加工业这四个行业能源消费量和碳排放量都占了整个高耗能行业的 70%以上,进行云南省工业能源消费碳排放控制应该着重对该四个高耗能行业进行管控。从能源消费量和碳排放量达峰情况来看,四个高耗能行业在 2006—2017 年均达到了多个峰值,达峰节点有明显趋同性,能耗量峰值和碳排放量峰值有明显的重合现象,且峰值多出现在“十二五”期间。

(2) 从高耗能行业碳排放影响因素来看,研究期内,经济发展、工业化率、能源结构和人口因素表现为正向的增碳效应,经济发展的增碳效应最为明显;碳排放系数、能源强度、行业结构三者表现出负向的减碳效应,其中以能源强度因素的减碳效应最为明显。从不同时段各影响因素贡献率情况看,各减碳因素在不同时段的减碳贡献率存在明显的阶段性差异,整体呈现出从能源强度调整向行业结构调整,再转为多元并重,最后再回落到以能源结构调整为主的趋势。

(3) 从碳排放影响因素的敏感程度分析来看,碳排放系数和能源强度这两个因素的敏感程度最大,不同时期敏感程度不同。“十一五”时期,不同年份的碳排放影响因素敏感度均存在较大差异;“十二五”时期,不同年份的碳排放影响因素敏感度呈现出一定的规律,敏感度最大的因素均为能源强度,第二大的因素均为人口,而工业化率、经济发展和行业结构的敏感程度较低。“十三五”时期,2015—2017 年碳排放敏感度最大的因素均为碳排放系数。根据敏感度分析,整体来看,云南省高耗能行业“十一五”时期处于绿色低碳发展的探索阶段;“十二五”时期处于能源强度控制阶段;“十三五”时期逐步进入了绿色创新阶段。

根据以上三个结论,云南省高耗能行业低碳发展应在“一带一路”倡议的基础上,综合考虑各行业贡献情况和各影响因素共同作用,并根据各影响因素对碳排放变化的敏感程度进行适时调整。建议如下:

首先,云南省高耗能行业碳排放控制应该抓重点行业,以化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业以及有色金属冶炼及压延加工业作为主要控制对象,同时进行能耗和碳排放双重控制。

从控制方式看,在保持经济稳定增长的前提下,应该从优化产业结构、降低工业占比等方面来考虑减缓碳排放的增长,同时提高能源使用效率、调整能源结构以实现能源强度和碳排放系数的双重减碳作用。由于云南省高耗能行业逐步实现了从能源强度控制阶段向绿色创新阶段的过渡,随着碳强度空间的进一步压缩,未来需要探索更多的技术减排路径,通过技术绿色创新和加大清洁能源使用比重来打造更加清洁、高效的绿色发展之路。

参考文献:

- [1]陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009(4):41-55.
- [2]杨冕, 卢昕, 段宏波. 中国高耗能行业碳排放因素分解与达峰路径研究[J]. 系统工程理论与实践, 2018(10):2501-2511.
- [3]段玉婉, 杨翠红. 中国与日本能源消耗和 CO₂ 排放差异的空间结构分解[J]. 系统工程理论与实践, 2017(8):2083-2090.
- [4]张学刚, 唐铁球. 需求驱动我国能源消耗效应研究——基于改进的两级分解法[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2016(6):103-113.
- [5]许士春, 刘沅涛, 龙如银. 2002—2012 年江苏省化石能源消耗的影响因素[J]. 资源科学, 2016(2):333-343.
- [6]Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition [J]. Energy, 1998, 23(6):489-495.
- [7]佟新华, 杜宪. 日本碳排放强度影响因素及驱动效应测度分析[J]. 现代日本经济, 2015(5):87-94.
- [8]李慧芳, 聂锐. 中国能耗变动影响因素的 LMDI 分解[J]. 统计与决策, 2018(13):135-138.
- [9]高彩玲, 麻冰涓, 田采霞. 河南省能源强度下降的驱动因素分析——基于 LMDI 方法[J]. 资源开发与市场, 2014(12):1458-1462.
- [10]田泽, 董凯丽, 吴凤平. 江苏省终端能源消费 CO₂ 排放总量测算及驱动因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015(11):19-27.
- [11]马晓明, 石达菲, 蔡羽. 深圳市碳排放变化驱动因素分析[J]. 现代管理科学, 2016(12):64-66.
- [12]王彩明, 李健. 基于 LMDI 的河北省能源消费碳排放量核算及影响因素实证分析[J]. 科技管理研究, 2017(10):258-266.
- [13]江方利, 黄伟斌, 马光文. 四川省能源消费碳排放影响因素分解研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(S1):45-48.
- [14]宋敏, 郭清卉. 基于 LMDI 方法的陕西省能源消费碳足迹因素分解研究[J]. 统计与信息论坛, 2015(4):60-64.
- [15]韩钰铃, 刘益平. 基于 LMDI 的江苏省工业碳排放影响因素研究[J]. 环境科学与技术, 2018(12):278-284.
- [16]赵涛, 田莉, 许宪硕. 天津市工业部门碳排放强度研究:基于 LMDI-Attribution 分析方法[J]. 中国人口·资源与环境, 2015(7):40-47.

-
- [17]李雪梅,郝光菊,张庆.天津市高碳排放行业碳排放影响因素研究[J].干旱区地理,2017(5):1089-1096.
- [18]曹俊文,姜雯昱.基于 LMDI 的电力行业碳排放影响因素分解研究[J].统计与决策,2018(14):128-131.
- [19]武戈,谢钰思.工业碳排放的驱动因素研究——基于南京市工业 35 个行业的 LMDI 模型分析[J].环境污染与防治,2014(2):105-110.
- [20]赵先超,滕洁.基于 LMDI 的湖南省旅游业碳排放影响因素分解[J].环境科学与技术,2018(9):192-199.
- [21]姚震,罗世兴.基于 LMDI 法的中国有色金属行业能源消费驱动因素分析[J].济南大学学报(自然科学版),2018(6):454-458.
- [22]陈贵景,常克亮,陈慧琴,等.基于生产侧和消费侧的京津冀地区电力工业 CO₂ 排放因素分解分析[J].科技管理研究,2019(20):251-258.
- [23]Shi L Y, Sun J, Lin J Y, et al. Factor decomposition of carbon emissions in Chinese megacities[J]. Journal of Environmental Sciences, 2019, 75(1):209-215.