

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4729.2016.03.020

基于 LMDI 模型的电力行业碳排放的影响因素分析

彭文兵, 王诗婷

(上海电力学院 经济与管理学院, 上海 200090)

摘要:通过 LMDI 模型计算了各因素对电力行业碳排放的影响值和贡献率, 得出了经济发展对碳排放量的增加具有主要的拉动作用的结论. 在经济稳定发展的条件下, 发电能源结构是抑制碳排放的主要因素. 为了降低碳排放量, 应当大力开发新能源发电, 改善我国发电结构.

关键词:电力; 碳排放; LMDI 模型; 能源

中图分类号: F426.61; F205

文献标志码: A

文章编号: 1006-4729(2016)03-0301-05

Analysis of the Factors of Carbon Emissions in Electric Industry Based on LMDI Model

PENG Wenbing, WANG Shiting

(School of Economics and Management, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: LMDI model is used to calculate the influence and contribution rate of various factors on the electric power industry carbon emissions. The result indicates economic development plays a major role in increasing carbon emissions. Under the condition of steady economic development, power energy structure is the main factor to restrain carbon emissions. In order to reduce carbon emissions, the government should vigorously develop new energy power generation and improve the power structure.

Key words: electric power; carbon emission; LMDI model; energy

目前, 全球变暖的情况已经日益恶化, 我国作为世界上碳排放量较大的国家, 有义务承担碳减排的责任. 近年来, 我国一次能源消费中煤炭比重约为 70%, 其中发电用煤占据了接近 50%. 由此可见, 我国电力行业产生的碳排放量不可忽视, 分析电力行业的碳排放影响显得尤为重要.

曹洪刚等人指出经济增长和产业结构是导致碳排放增长的主要因素, 依靠技术进步降低碳排放增长的作用有待提高^[1]. 随着我国经济不断深入发

展, 提高低碳技术水平是实现碳减排的重要途径. 任晓松等人基于 STIRPAT 模型, 将中国工业碳排放的影响因素确定为人口规模、人均工业产值和工业技术水平, 结合灰色预测 GM(1,1) 模型得出人均工业产值对工业碳排放影响最大^[2]. 蒋金荷分析了 1995~2007 年经济规模、经济结构、能源强度对中国碳排放量的影响, 认为对碳排放影响最大的因素是经济发展^[3]. 贺红兵统计了我国 2005~2010 年的碳排放量, 运用 STIRPAT 模型对分解因素进

收稿日期: 2015-10-13

通讯作者简介: 王诗婷(1992-), 女, 在读硕士, 湖北咸宁人. 主要研究方向为新能源. E-mail: witnessd@126.com.

行了试验研究,得出了现阶段我国碳排放增长的主要驱动因素是经济增长,能源结构变化对我国碳排放减少起到的作用很小等结论^[4].

本文综合上述文献,通过 LMDI 模型分析了我国 2000 ~ 2014 年的发电煤耗率、发电结构、单位 GDP 电耗、国内生产总值对电力行业碳排放的影响,并分阶段地研究了各个因素对碳排放的贡献值.

1 我国碳排放现状

电力行业为我国的经济增长做出了重大贡献,21 世纪以来,中国工业化发展迅速,建立了很多燃煤电厂,发电规模不断扩大,也导致了碳排放量的不断增加,目前我国已经成为世界第二发电和消费大国.根据全球碳计划(Global Carbon Project)和国际气候环境研究中心等机构的数据显示,中国的二氧化碳排放量正在超越欧美的总量,人均碳排放量已经超过欧盟.

1.1 碳排放量情况

随着经济的发展,我国的碳排放量一直处于上升趋势,如图 1 所示.由图 1 可以看出,2000 ~ 2002 年,我国碳排放量基本处于平稳阶段,没有明显增长;2003 ~ 2008 年,碳排放量处于大幅度增长阶段;2009 ~ 2012 年,我国的碳排放量还没有下降趋势,甚至涨幅还有所提高;2013 ~ 2014 年,碳排放量停止了上升,处于较平稳状态.其中,电力行业的碳排放量一直占全国的 38% 左右.

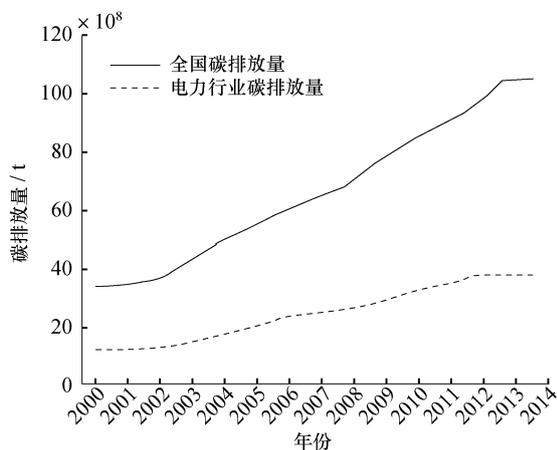


图 1 2000 ~ 2014 年我国碳排放量情况

1.2 经济发展状况

自 1978 年中国共产党十一届三中全会上

提出改革开放后,中国从计划经济走向市场经济.21 世纪初我国已经提前实现 GDP 比 1980 年翻两番的增长目标,在人口不断增长的情况下实现了人均 GDP 翻两番,2000 年的人均 GDP 较 1978 年增长了 20.62 倍.

1978 ~ 2000 年,我国年平均经济增长率达到了 9.52%,与日本、新加坡和韩国等国家经济高速增长期时的年平均增长率相当.但当时中国的城市与农村、东西部之间的经济发展差距仍然很大,技术和经济方面也落后于发达国家.2000 年,中国人均国内生产总值仅达日本的 2.3%,新加坡的 3.7%,韩国的 8.8%.

2000 ~ 2014 年,中国的年平均经济增长率高达 14.9%.2008 年中国成为世界第三大经济体.在金融危机爆发后的 2009 年,我国总产出已接近世界第二,近 30 年中我国的年平均经济增长率始终保持高于 9%.

1.3 我国能源生产和消费现状

经过长期的发展,我国已成为世界上最大的能源生产国和消费国.根据国家统计局数据显示,我国能源的生产和消费总量一直呈上升态势.2000 年我国能源消费总量为 1.455×10^9 t 标准煤,而能源生产总量仅为 1.35×10^9 t 标准煤,低于同年的消费量.到 2014 年,我国能源消费总量达 4.26×10^9 t 标准煤,能源生产总量为 3.6×10^9 t 标准煤.虽然近年来我国形成了全面发展的能源供给体系,技术设备等各方面有明显提高,能源生产量也在不断增加,但同时我国也面临着能源需求和能源消费量不断增加、能源生产速度低于能源消费速度的压力.2000 ~ 2014 年,我国的能源消费量均大于生产量.因此,我们应该注意节约能源,合理运用资源.

1.4 我国能源消费结构现状

我国能源资源丰富,形成了以煤炭为主、多元发展的能源消费结构.改革开放初期,我国煤炭消费量占一次能源消费总量的 70% 以上.2000 年,全国能源消费总量为 1.455×10^9 t 标准煤,其中煤炭消费比例为 69.2%,石油为 22.2%,天然气为 2.2%,水电、核电、风电共占 6.4%.近年来,我国大力发展可再生能源,煤炭消费比例略微降低.2014 年,全国能源消费总量为 4.26×10^9 t 标准煤,其中煤炭消费比例为

66.0%,石油为 17.1%,天然气为 5.7%,水电、核电、风电占 11.2%。由于煤炭价格低廉,我国又处于经济快速增长时期,因此煤炭仍是支撑我国发展的主要能源。但使用煤炭过多会导致雾霾、水资源污染、公共健康等问题,使中国的经济结构呈现出高碳、高污染、低效率的特点。因此,应当积极发展可再生能源,降低煤炭消费量。

1.5 我国电力生产情况

在我国经济高速发展时期,电力行业也在不断发展。国家大力投资电力基础设施建设,加快了农村电网的建设和改造,改善了电力发展的环境。1998 年全国装机容量已达 2.78×10^8 kW,跃居世界第 2 位。进入 21 世纪,我国电力装机容量的平均增速保持在 10% 以上,截至 2014 年底,全国发电装机容量达到了 1.37×10^9 kW。

由于经济快速增长,电力需求也随之增加。电力供需偏紧,存在着地区用电增长差异较大、部分时段缺电严重等情况。

2 LMDI 模型及相关数据

2.1 LMDI 模型简述

目前,研究碳排放量影响因素的常用方法是 LMDI 分解方法。它用对数平均公式替换了简单算术平均权重,不仅可以进行多个因素的分解,而且无残差值^[5-6]。

为了研究我国电力行业碳排放量的情况,假设其影响因素为二氧化碳排放系数、发电煤耗率、发电结构、单位 GDP 电耗、国内生产总值等。

2.2 模型分解

为了研究各个因素对碳排放的影响,将总碳排放量分解为:

$$C_t = \sum_i i \frac{C_{i,t}}{E_{i,t}} \frac{E_{i,t}}{W_{i,t}} \frac{W_{i,t}}{Y_t} Y_t \quad (1)$$

式中: C_t ——第 t 年的碳排放量;

E_t ——第 t 年的能源消耗量(以标准煤计算);

W_t ——第 t 年的发电量;

Y_t ——第 t 年的国内生产总值;

$C_{i,t}$ ——第 t 年第 i 种能源的碳排放量;

$E_{i,t}$ ——第 t 年第 i 种能源的消耗量;

$W_{i,t}$ ——第 t 年第 i 种能源的发电量。

令二氧化碳综合排放系数 $F_{i,t} = C_{i,t}/E_{i,t}$;发电煤耗 $I_{i,t} = E_{i,t}/W_{i,t}$,发电结构 $S_{i,t} = W_{i,t}/W_t$,单位 GDP 电耗 $R_{i,t} = W_t/Y_t$ 。

那么式(1)可以转换为:

$$C_t = \sum_i i F_{i,t} I_{i,t} S_{i,t} R_{i,t} Y_t \quad (2)$$

第 t 年相对于基期(第零年)的碳排放量变化量为:

$$\Delta C = C_t - C_0$$

$$\Delta C = \Delta C_F + \Delta C_I + \Delta C_S + \Delta C_R + \Delta C_Y + \Delta C_{rsd}$$

$$D = \frac{C_t}{C_0} = D_F D_I D_S D_R D_Y D_{rsd}$$

式中: ΔC_F ——碳排放综合系数对碳排放量的贡献值;

ΔC_I ——发电煤耗率对碳排放量的贡献值;

ΔC_S ——发电结构对碳排放量的贡献值;

ΔC_R ——单位 GDP 电耗对碳排放量的贡献值;

ΔC_Y ——国内产值对碳排放量的贡献值;

D ——第 t 年相对于基期碳排放量的变化率;

D_F ——碳排放综合系数对碳排放量的贡献率;

D_I ——发电煤耗率对碳排放量的贡献率;

D_S ——发电结构对碳排放量的贡献率;

D_R ——单位 GDP 电耗对碳排放量的贡献率;

D_Y ——国内产值对碳排放量的贡献率;

ΔC_{rsd} ——对碳排放变化量进行分解后的余项;

D_{rsd} ——对碳排放变化率进行分解后的余项。

根据 LMDI 方法,各个因素可以分解为:

$$\Delta C_I = \sum_i i W_t \ln \frac{I_{i,t}}{I_{i,0}}$$

$$\Delta C_S = \sum_i i W_t \ln \frac{S_{i,t}}{S_{i,0}}$$

$$\Delta C_R = \sum_i i W_t \ln \frac{R_{i,t}}{R_{i,0}}$$

$$\Delta C_Y = \sum_i i W_t \ln \frac{Y_{i,t}}{Y_{i,0}}$$

$$\Delta C_{rsd} = 0$$

其中,

$$W_i = \frac{C_t - C_0}{\ln \frac{C_t}{C_0}}$$

假设 $\frac{\ln D}{\Delta C} = \frac{\ln C_t - \ln C_0}{C_t - C_0} = W$,那么:

$$D_I = \exp(W \Delta C_I)$$

$$D_S = \exp(W\Delta C_S)$$

$$D_R = \exp(W\Delta C_R)$$

$$D_Y = \exp(W\Delta C_Y)$$

$$D_{rsd} = 1$$

2.3 相关数据

能源消费量是指发电过程中的一次能源消费总量,包括煤炭、石油、天然气、水电.为了方便计算和分析,将所有能源都折算成标准煤量进行计算,换算公式如下:

1 t 煤炭 = 0.714 3 t 标准煤; 1 t 石油 = 1.428 6 t 标准煤; 1 m³ 天然气 = 1.214 3 t 标准煤.

水电按当年发电的标准煤煤耗计算.

发电煤耗率是指发电厂每生产 1 kWh 的电力所需消耗的燃煤量(以标准煤计),2000 ~ 2014 年我国发电煤耗率如表 1 所示.

表 1 2000 ~ 2014 年我国发电煤耗量情况

			Gt				
年 份	发电煤耗总量	火力发电煤耗量	非火力发电煤耗量	年 份	发电煤耗总量	火力发电煤耗量	非火力发电煤耗量
2000	0.402	0.397	0.005	2008	1.354	0.903	0.451
2001	0.542	0.430	0.112	2009	1.440	0.964	0.476
2002	0.656	0.481	0.175	2010	1.545	1.066	0.479
2003	0.820	0.561	0.259	2011	1.804	1.205	0.599
2004	0.920	0.632	0.288	2012	1.912	1.185	0.727
2005	1.033	0.701	0.332	2013	1.959	1.211	0.749
2006	1.188	0.812	0.376	2014	2.045	1.250	0.795
2007	1.305	0.903	0.402				

注:火力和非火力发电煤耗率等于当年火力或非火力发电煤耗量除以当年发电煤耗总量.

单位 GDP 电耗是指每年一个单位的国内生产总值所消耗的电量,即耗电量与国内生产总值的比率,2000 ~ 2014 年我国单位 GDP 电耗如表 2 所示.

表 2 2000 ~ 2014 年我国单位 GDP 电耗

(kWh · 万元 ⁻¹)					
年 份	单位 GDP 电耗	年 份	单位 GDP 电耗	年 份	单位 GDP 电耗
2000	1.37	2005	1.35	2010	1.05
2001	1.34	2006	1.32	2011	0.97
2002	1.36	2007	1.23	2012	0.96
2003	1.41	2008	1.10	2013	0.92
2004	1.38	2009	1.09	2014	0.89

在本文中,假设电力生产量与电力消耗量平衡,不存在电损;发电结构主要分为火力发电和非火力发电.以上数据来源于中国统计年鉴.

3 模型结果及分析

在模型分析中,CO₂ 综合排放系数为定值,则 $\Delta C_F = 1, D_F = 1$. 根据 LMDI 分解方法以及 2000 ~ 2014 年的数据,发电煤耗率、发电结构、单位 GDP 电耗、国内生产总值对电力行业碳排放量的影响值和贡献率分别如图 2 和表 3 所示.

从图 2 和表 3 可以看出,导致电力行业碳排放量快速增加的主要原因是经济的快速发展和国内生产总值的大幅增长,而发电结构、发电煤耗率以及单位 GDP 电耗均为抑制因素.

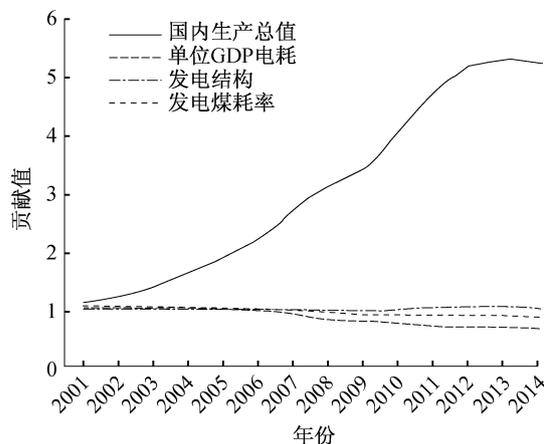


图 2 2000 ~ 2014 年各因素对碳排放量的影响值

不同时期,每个因素对碳排放量的影响程度都不同,大致可分为 3 个阶段进行研究.

第 1 阶段是 2000 ~ 2006 年,我国经济处于快速增长时期,由于经济结构的调整 and 消费拉动了对电力的需求,2001 年电力需求量同比增长接近 8%. 通过图表可以看出,在这期间发电结构、发电煤耗率以及单位 GDP 电耗对电力行业碳排放量的影响不大,其主要影响因素是国内生产总值的增加.这是因为我国电力行业发展速度跟不上 GDP 的增速,一直处于供小于求的情况,全国还有部分地区严重缺电.电力生产结构较为单一,火力发电比例高达 82.72%,发电能源主要依靠煤炭.

第 2 阶段是 2007 ~ 2012 年,从图 2 可以看出,发电结构、发电煤耗率和单位 GDP 电耗从 2007 年开始具有较明显的抑制作用,并且其影响

在不断扩大,同时国内生产总值的贡献值没有第 1 阶段增速快,而是趋于平缓.这是因为我国经济在 2008 年左右受到国际金融危机的影响,导致增长势头迅速减缓.另一方面我国电力行业发展迅速,截至 2007 年底,我国装机容量高达 $7.18 \times$

10^8 kW,2008 年我国电力需求呈现稳定增长的趋势,各地供需形势基本保持总体平衡的状态.火力发电比例不断减小,水电、核电、风电比例不断增加,主要依靠煤炭的发电情况也在不断改善,清洁能源被越来越多地应用于电力生产中.

表 3 2000 ~ 2014 年各因素对碳排放量的贡献率

年份	ΔC_1	ΔD_1	ΔC_S	ΔD_S	ΔC_R	ΔD_R	ΔC_Y	ΔD_Y
2001	0.228	1.026	-0.223	0.975	-0.161	0.982	0.897	1.105
2002	0.337	1.036	0.010	1.001	-0.022	0.998	1.858	1.213
2003	0.154	1.015	-0.005	1.000	0.306	1.029	3.304	1.369
2004	-0.135	0.988	-0.090	0.992	0.095	1.009	5.266	1.611
2005	-0.230	0.981	-0.055	0.995	-0.125	0.989	7.364	1.863
2006	-0.283	0.978	0.066	1.005	-0.397	0.970	10.023	2.179
2007	-0.739	0.947	0.070	1.005	-1.386	0.904	13.471	2.675
2008	-1.066	0.924	-0.103	0.992	-2.878	0.808	15.554	3.165
2009	-1.183	0.919	-0.114	0.992	-3.158	0.798	17.229	3.436
2010	-1.675	0.891	-0.358	0.976	-3.854	0.767	20.298	4.046
2011	-1.882	0.889	0.183	1.012	-5.038	0.729	24.906	4.768
2012	-1.952	0.884	0.093	1.006	-5.541	0.704	26.059	5.221
2013	-1.636	0.911	0.568	1.033	-6.637	0.686	29.372	5.311
2014	-2.096	0.892	-0.084	0.995	-7.823	0.653	30.488	5.260

第 3 阶段是 2013 ~ 2014 年,国内生产总值对碳排放的影响作用处于平稳状态,单位 GDP 电耗在逐步下降.2014 年我国的碳排放量首次下降,同时全球温室气体增长速度也处于停滞状态.国内专家根据能源需求数据分析认为,其主要原因是近几年我国为了降低对煤炭的依赖度,在太阳能、风能以及水电等清洁能源的开发中投入了大量资金,降低了煤炭在能源消费中的比重,进而大大减少了碳排放量.

4 结 语

电力行业是我国经济发展的重要基础工业,它既可以创造清洁能源,但同时也消耗了大量的能源,排放了大量的污染物.从近 10 年的数据来看,我国电力行业目前还处于发展阶段,碳排放量的主要影响因素还是 GDP.但这一态势不会一直维持下去,当我国电力行业处于平稳发展阶段后,就要

从发电能源结构方面着手降低碳排放量.为了降低电力行业的碳排放量,应积极努力开发新能源,同时还要不断提高技术,才能有效降低发电煤耗率.

参考文献:

- [1] 曹洪刚,陈凯.中国省域碳排放的空间溢出与影响因素研究[J].东北大学学报,2015,17(6):573-578.
- [2] 任晓松,赵国浩.中国工业碳排放及其影响因素灰色预测分析[J].北京交通大学学报,2014,13(4):18-24.
- [3] 蒋金荷.中国碳排放量测算及影响因素分析[J].资源科学,2011,33(4):597-604.
- [4] 贺红兵.我国碳排放影响因素分析[D].武汉:华中科技大学,2012.
- [5] ANG B W,ZHANG F Q. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies[J]. Energy, 2000,25(12):1 149-1 176.
- [6] ANG B W. Decomposition methodology in industrial energy demand analysis[J]. Energy,1995(20):1 081-1 095.

(编辑 白林雪)