

遵义市规模以上工业能源消费 碳排放测度及影响因素

郭晓芳¹

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

【摘要】: 节能减排是实现可持续发展的重要途径,也是资源环境友好城市建设的需要。基于 2001—2016 年遵义市规模以上工业能源消费统计数据,依据 IPCC《温室气体清单指南》对温室气体碳排放进行计算,运用 STIRPAT 模型对其影响因素测度。结果表明:①2001—2016 年遵义市规模以上工业能源消费量中以原煤、焦炭为主,其次是天然气,最后是汽油、煤油、柴油、燃料油;期间能源碳排放总量由 480.65 万 t 增加到 3404.38 万 t,年均增幅 13.01%,能源碳排放以煤炭类碳排放量为主。②2001—2016 年遵义市工业能源碳排放强度由 2.20t/万元降至 1.42t/万元,年均降幅 2.3%;能源结构以煤炭类碳排放为主,其年均占比为 98.87%,石油和天然气为辅。③遵义市工业能源碳排放影响因子中,常住人口、人均 GDP、城市化率、第二产业占比、单位 GDP 碳排放量的弹性系数分别为-0.0779、0.0871、0.0866、0.0802、-0.0802,表明人口与能源效率为抑制因素,经济、产业结构和城市化率则为促进因素。研究结果可为遵义市工业节能减排政策制定、低碳城市建设及可持续发展提供科学依据。

【关键词】: 规模以上工业 能源消费 碳排放 STIRPAT 模型

【中图分类号】: X321 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1003-6563(2020)06-0057-07

工业是国民经济发展的重要基础,也是满足人们生产生活的重要保障。中国是世界上重要的工业国家之一,工业能源消耗是中国重要的碳排放来源。中国工业能源消费碳排放占全社会碳排放很大比重,控制温室气体排放过程中,工业是不可或缺的关键环节。因此,计量工业能源碳排放对社会经济发展意义深远,也对当前节能减排具有实际参考价值。

能源碳排放研究开始于 20 世纪后期,中国能源碳排放研究近年来发展较快。20 世纪关于能源碳排放研究相对较少,如 Gad Fischer^[1]1992 年在人口与环境期刊提及能源碳排放问题;Yonghun Jung 等^[2]1996 年对韩国能源碳排放的研究,2010 年后相关研究呈现快速发展趋势。近年来能源碳排放研究对象涉及国家^[3]、省区^[4]、市县^[5]等较多层面,这些研究从不同程度揭示区域能源碳排放特征,为经济社会发展和节能减排提供了科学支撑。当前,关于工业能源碳排放研究也有一定进展,其研究主要集中于国家尺度工业能源消费碳排放测算^[6]、省区间工业碳排放分异格局^[7]、工业能源碳排放与经济社会发展的关联性^[8]等。

但省区以下研究主要集中碳排放整体趋势测算,如刘晓燕^[9]对安徽省工业能源碳排放的测算;王强等^[10]对福建省工业能源碳排放的测算;王玉等^[11]对河南省工业能源碳排放的测算。受资料限制,关于市以下能源碳排放的研究相对较少,如王乃举等^[12]对兰州市工业能源碳排放强度的测算;周跃云等^[13]对长沙市规模以上工业能源碳排放的测算;姚丽珍等^[14]对上海市工业能源生产碳排放的测算。综合以往文献可以发现,当前对能源消费碳排放和工业能源碳排放的研究已有一定研究基础,可为部门和区域节能减排提供参考。但当前关于工业能源碳排放研究主要集中于发达地区和城市,涉及西部工业城市的研究缺乏。

作者简介: 郭晓芳(1995-),女,贵州思南人,在读研究生,研究方向为资源利用与低碳发展。

遵义市位于贵州省北部，是贵州第二大城市，也是贵州最重要工业税收地区之一。2012 年遵义市确定为国家低碳试点城市^[15]。遵义市能源碳排放呈现较快增长趋势，工业能源碳排放增长更是重要的带动来源。但近年来遵义市经济发展迅速，工业能源消费与经济发展矛盾凸显。在试点低碳城市建设过程中，如何控制工业能源碳排放，平衡经济发展和能源消费，如期实现节能减排城市创建，是政府、学者等不得不关注的焦点问题，也是当前节能减排的难点问题。

因此，文章基于遵义市 2001—2016 年规模以上工业能源消费数据，测算其工业能源消费趋势和特征，以期研究结果为遵义经济社会发展、气候变化和节能减排任务如期完成提供科学参考。同时，也希望研究成果能为其他工业城市节能减排提供借鉴，共同实现中国低碳任务。

1 研究区概况、数据与方法

1.1 研究区概况

遵义市位于贵州省北部，是贵州省第二大城市，也是国家低碳试点城市。遵义市工业经济发达，其经济发展迅速。2001—2016 年遵义市人口数量由 722.08 万人下降到 622.84 万人，期间人口有所减少；2002—2016 年遵义市经济发展较为迅速，期间人均 GDP 由 3027 元上升到 38709 元，上升极为迅速；2001—2016 年遵义市城市化和产业结构不断调整，2016 年其城市化率已达到 49.78%，第二产业结构为 44% (表 1)。

1.2 数据来源

工业是一个完备的部门体系，包括众多的能源消费部门。由于统计数据中，工业统计口径多为规模以上工业，该口径可以反映区域工业能源碳排放的主体，故本文研究工业碳排放使用规模以上工业企业 (以下简称为工业) 作为口径。本文的研究数据主要来源于《贵州统计年鉴》(2001—2016)、《遵义统计年鉴》(2001—2016)。能源低位发热值、单位热值含碳量、碳氧化率等来源于《中国能源统计年鉴》、中国能源碳排放交易网 (<http://www.tanpaifang.com/tanjiliang/2014/0914/38053.html>) 等，见表 1、表 2。

表 1 各种能源的碳排放指标

能源种类	平均低位热量 /(kJ/t、m ³)	单位热值含碳量 / (tCO ₂ /tJ)	碳氧化率/%
原煤	20.908	0.02637	94
焦炭	28.435	0.0295	93
原油	41.816	0.0201	98
燃料油	41.816	0.0211	98
汽油	43.07	0.0189	98
煤油	43.07	0.0195	98
柴油	42.652	0.0202	98
天然气	38.931	0.0153	99

表 2 2001—2016 年遵义市经济与社会主要指标

年份	常住人口 /万人	人均 GDP /元	城市化率 /%	第二产业 占比/%	单位 GDP 碳排 放量/(t/万元)
2001	722.08	3027	23.94	36	2.20
2002	728.25	3331	24.94	35	3.55
2003	733.80	3816	25.99	36	3.24
2004	739.68	4465	27.08	39	2.82
2005	743.28	5733	28.21	33	3.36
2006	745.84	6929	29.31	42	3.47
2007	749.68	8596	30.31	41	2.58
2008	751.62	10813	31.14	41	2.27
2009	627.37	12256	33.11	40	2.28
2010	613.29	14650	35.98	42	1.83
2011	610.00	18335	37.40	44	1.90
2012	611.70	22296	39.48	46	1.59
2013	614.20	25852	41.30	47	1.57
2014	615.49	30484	43.88	46	1.52
2015	619.21	35123	46.46	45	1.28
2016	622.84	38709	49.78	44	1.42

1.3 研究方法

1) 工业能源消费碳排放量测算。能源碳排放与工业能源碳排放密切相关，工业能源碳排放的计量过程中，众多学者采用总体能源碳排放的估算方法，即 IPCC 估算方法。故本文亦采用联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 提供的方法估算，对规模以上工业能源消耗的化石燃料测算。具体计算如下^[15]：

$$IC = \sum_i^i EC \times LV \times CF \times QC \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

$$C = IC/G \quad (2)$$

式中:IC 表示二氧化碳排放总量;EC 表示能源消费量;LV 表示平均低位发热量;CF 表示含碳量;QC 是能源燃烧时的碳氧化率;44 和 12 分别是 CO₂ 和 C 的分子数;i 表示能源种类;C 表示碳排放强度, G 表示 GDP。

2) 相关分析。相关分析揭示各影响因素之间的相关性，也是进行主成分分析的重要基础。相关分析原理是指两个变量之间的相关程度，用相关系数表示，相关系数介于 -1 到 1 之间，相关系数绝对值越大表示要素间关联程度越高^[16]，其表达式为^[17-18]：

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中:R 是相关系数, x_i 、 y_i 为变量。

3)STIRPAT 模型。STIRPAT 模型是在 IPAT 模型上改进, 即把环境的压力分解为人口、财富和技术, 是一种被广泛应用在人口、经济、资源对环境影响的模型^[17-18]。表达式为^[19]:

$$E = k \times P^b \times F^c \times T^d \times e \quad (4)$$

式中:E 表示环境压力;P 表示人口数量;F 表示富裕度;T 表示技术;b、c、d 分别表示人口数量、富裕度、技术等人文驱动力的指数;k、e 分别为模型的系数、模型误差。

$$Q = k \times P \times G \times E \times D \times T \times e \quad (5)$$

对数处理后, 得^[19]:

$$\ln(Q) = \ln(k) + a_1 \ln(P) + a_2 \ln(G) + a_3 \ln(E) + a_4 \ln(D) + a_5 \ln(T) + e \quad (6)$$

式中:Q 为碳排放量, k 为常数, P 为常住人口数, G 为人均 GDP, E 为城市化率, D 为第二产业占比, T 为单位 GDP 能耗, e 为模型随机项, a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 为弹性系数。当 P、G、E、D、T 每变动 1% 时, 引起 Q 的 $a_1\%$ 、 $a_2\%$ 、 $a_3\%$ 、 $a_4\%$ 、 $a_5\%$ 的变化。

2 规模以上工业能源消费特征

2.1 分能源工业能源消费特征

2001—2016 年遵义市工业能源呈现增长趋势, 煤炭和焦炭增长较为迅速。2001—2016 年遵义市工业能源消费以原煤、焦炭为主, 其次是天然气, 最后是汽油、煤油、柴油、燃料油。从表 3 可知, 原煤消费量由 2001 年的 193.47 万 t 增加到 2016 年的 1783.44 万 t, 年均增幅 15.9%, 2011 年后原煤消费均达 1000 万 t 以上。2001—2016 年焦炭消费量小幅度波动下降, 由 34.70 万 t 降至 2016 年的 0.06 万 t, 年均降幅 3.45%。2001—2016 年汽油、煤油、燃料油消费多年低于 1.00 万 t, 期间变化不明显。相反, 天然气整体下降, 由 5.32 亿 m^3 减到 1.15 亿 m^3 , 年均降幅 9.68%, 其中 2001 年、2005 年、2006 年为消费量较高年份, 分别为 5.32 亿 m^3 、5.03 亿 m^3 、5.03 亿 m^3 。遵义市是重要的煤炭城市, 也是工业经济相对发达城市。总体来看, 遵义市以煤炭为主体的工业能源结构未发生实质性改变, 其天然气等清洁能源发展较为缓慢, 需要进一步增强。2007 年、2015 年遵义规模以上工业煤炭消费量出现两次下降。原因在于 2007 年遵义市开展循环经济, 取得一定成效, 且 2015 年主要对规模以上工业进行调整, 淘汰, 进行产业升级。

表 3 2001—2016 年遵义市规模以上工业能源消费量

年份	原煤 /万 t	焦炭 /万 t	汽油 /万 t	煤油 /万 t	柴油 /万 t	燃料油 /万 t	天然气 /亿 m^3
2001	193.47	34.70	0.32	0.01	0.41	0.00	5.32
2002	422.40	16.25	0.59	0.00	0.54	0.00	4.99

2003	435.74	22.59	0.43	0.05	0.69	—	4.98
2004	446.76	22.96	0.52	0.00	0.51	0.00	4.99
2005	644.65	22.30	0.46	0.01	1.43	0.04	5.03
2006	801.62	27.40	0.45	0.01	1.32	0.24	4.88
2007	703.75	39.51	0.37	0.00	0.79	0.37	5.03
2008	786.86	28.70	0.48	0.07	1.01	0.53	4.55
2009	880.72	30.59	0.54	0.07	1.24	0.31	4.07
2010	833.97	21.71	0.57	0.07	1.75	0.40	3.94
2011	1065.32	31.89	0.60	0.08	1.69	—	3.29
2012	1087.33	27.64	0.67	0.10	1.81	—	3.02
2013	1272.21	17.91	0.70	0.35	2.25	0.00	4.10
2014	1458.00	22.63	0.65	0.01	2.86	0.00	4.17
2015	1425.95	20.34	0.70	0.03	3.03	0.00	2.57
2016	1783.44	0.06	0.61	0.01	3.38	0.12	1.15

2.2 分能源工业能源消费碳排放特征

2001—2016年遵义市分种类工业能源碳排放呈现的阶段特征，其变化为快速—放缓。从表4可知，2010年前为第一阶段，工业能源碳排放增长快，年均增幅13.22%；2011年后为第二阶段，其增速变缓，年均增幅8.12%。2001—2016年遵义市原煤碳排放量由367.65万t增至3389.07万t，其中2005年、2011年、2016年增加较快，分别为1225.02万t、2024.43万t、3389.07万t。2001—2016年焦炭碳排放量波动较大，2001—2007年逐年增加，2007—2016年则出现下降趋势，到2016年仅为0.16万t。2001—2016年天然气、汽油、煤油、柴油碳排放量呈稳定波动趋势，波动年分别是2001年(天然气)、2013年(煤油)、2016年(柴油)。上述变化在于：2010年前遵义市处于工业化快速发展初期，工业为高消耗型企业，经济快速增长，城市扩张，基础设施建设需求大。2011年以来遵义市严格控制高耗能高污染行业，淘汰落后产业，大力发展高新技术等低碳经济产业。伴随着低碳试点城市创建，工业领域节能意识增强，也是促进能源转型升级的重要内因。

表4 2001—2016年遵义市规模以上工业主要能源消费碳排放量

年份	原煤 /万t	焦炭 /万t	天然气 /万t	汽油 /万t	煤油 /万t	柴油 /万t
2001	367.65	99.26	11.50	0.93	0.02	1.27
2002	802.68	46.49	10.79	1.71	0.01	1.66
2003	828.03	64.62	10.76	1.27	0.14	2.12
2004	848.98	65.67	10.78	1.51	0.01	1.59
2005	1225.02	63.78	10.87	1.35	0.02	4.43
2006	1523.31	78.36	10.54	1.33	0.04	4.08
2007	1337.34	113.01	10.91	1.09	0.01	2.46
2008	1495.26	82.11	9.83	1.39	0.20	3.11
2009	1673.63	87.51	8.80	1.58	0.21	3.85
2010	1584.79	62.09	8.52	1.67	0.22	5.41
2011	2024.43	91.21	7.11	1.76	0.23	5.24
2012	2066.25	79.05	6.54	1.95	0.30	5.61

2013	2417.58	51.23	8.87	2.06	1.06	6.97
2014	2770.64	64.72	9.02	1.89	0.03	8.86
2015	2709.73	58.19	5.56	2.04	0.10	9.37
2016	3389.07	0.16	2.50	1.78	0.04	10.45

2.3 工业能源消费碳排放结构

从图1碳排放结构看，2001—2016年遵义市工业煤类碳排放占绝对优势，占比不断上升，石油类、天然气占比不断下降。2001年遵义市工业煤类碳排放占96.40%，石油、天然气仅占0.58%、3.02%。2016年遵义市煤类碳排放大幅度提升，达99.57%的占比，石油、天然气仅占0.07%、0.36%。期间，天然气碳排放比重逐年下降、石油类碳排放维持1%以下。2014年，遵义市为全国第一批新能源创建示范城市，且工业领域能源消费结构依然未发生改变。

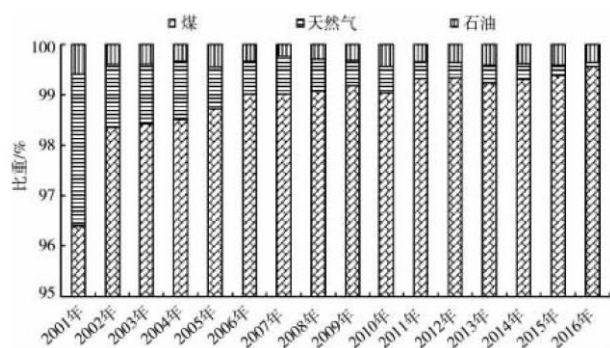


图1 2001—2016年遵义市能源消费碳排放结构

2.4 碳排放总量与强度特征

从图2碳排放总量、碳排放强度与GDP变化看，2001—2016年遵义市工业碳排放总量呈上升趋势，碳排放总量与GDP整体呈同步上升。2001—2016年工业能源排放总量由480.65万t增至3404.38万t，年均增幅13.01%，增速较快。期间，2004年、2007年、2010年、2015年碳排放总量波动下降，分别下降928.55万t、1465.98万t、1663.96万t、2785.00万t。2001—2016年遵义市工业能源碳排放强度由2.20t/万元降至1.42t/万元，年均降幅2.30%。碳排放强度出现“两高两低”浮动，“两高”是2002年、2006年，主要是工业生产技术水平低，能源利用效率低；“两低”是2001年、2015年，2001年工业数量较少，2015年受遵义市能源规划实施。2012—2016年遵义市处于第二批国家低碳城市试点阶段，工业技术明显提高，能源利用效率提高，使碳排放强度逐渐下降。

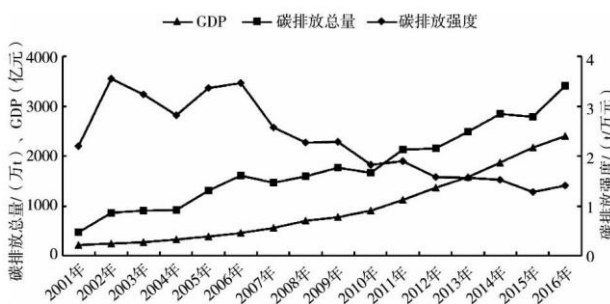


图 2 2001—2016 年遵义市碳排总量、碳排放强度与 GDP 变化

3 规模以上工业能源消费碳排放驱动因子

3.1 驱动因子模型检验

常住人口、人均 GDP、城市化率、产业结构、万元 GDP 碳排放量做因子相关分析，相关系数分别为-0.714、0.953、0.942、0.812、-0.704，且显著性水平都在 0.005 以下，呈显著性相关，说明所选因子对碳排放的影响具有代表性。对所选常住人口、人均 GDP、城市化率、产业结构、万元 GDP 碳排放量 5 个驱动因子做模型检验，得到表 5，其中 5 个因子初始特征值的方差分别为 87.256%、6.463%、3.588%、2.532%、0.157%，累积值分别为 87.256%、93.720%、97.308%、99.840%、99.997%；提取平方和载入的方差与累积值都为 87.256%，合计为 5.235%。因子分析相关矩阵可知， C_p 表示常住人口、 C_c 表示人均 GDP、 C_e 表示城市化率、 C_b 表示产业结构、 C_l 表示万元 GDP 碳排放量、 C_q 表示碳排放总量，因子分析相关系数分别为-0.714、0.953、0.942、0.824、-0.705，显著性水平都在 1% 以下。

表 5 因子分析解释总方差

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差/%	累积/%	合计	方差/%	累积/%
1	5.235	87.256	87.256	5.235	87.256	87.256
2	0.388	6.463	93.720			
3	0.215	3.588	97.308			
4	0.152	2.532	99.840			
5	0.009	0.157	99.997			
6	0.000	0.003	100.000			

注：提取方法主成分分析。

3.2 驱动因子测度分析

复相关系数为 0.882； R^2 数值在 0~1 之间，是正相关，Adjusted R^2 是对模型中变量数进行补偿效果，因此调整 R^2 小于 R^2 ， R^2 是 0.779，调整 R^2 是 0.763，估计的标准误差 0.254。表 7 中，ANOVA 和模型系数 F 值为 49.290，模型系数 FAC_1 是 0.461，常数是 7.368，标准误差分别为 0.064、0.066，显著性水平小于 1%，说明所选因子的模拟较好。

由表 6、表 7 可知。模型的 R^2 为 0.779，F 值为 49.290，t 检验的 Sig 值小于 0.01，说明模型模拟非常好，根据表 7 模型系数，可得综合变量 FAC_1 与因变量 C_q 的方程式：

$$C_q = 0.46FAC_1 \quad (7)$$

将方程 (6) 代入方程 (7) 可得：

$$C_Q = -0.0779C_P + 0.0871C_G + 0.0866C_E + 0.0802C_D - 0.0806C_T + \varepsilon \quad (8)$$

由方程(8)可得出遵义市 2001—2016 年碳排放驱动因子计量模型:

$$Q = k \times P^{-0.0779} \times G^{0.0871} \times E^{0.0866} \times D^{0.0802} \times T^{-0.0806} \times \varepsilon \quad (9)$$

由方程(9)式可知:遵义市 2001—2016 年碳排放的常住人口、人均 GDP、第二产业占比、城市化率、万元 GDP 碳排放量驱动因子的弹性系数分别为-0.0779、0.0871、0.0866、0.0802、-0.0802,表示当常住人口数每增加 1%时,碳排放量将下降 0.0779%,当单位 GDP 能耗每下降 1%时,碳排放量将减少-0.0802%,工业技术水平的进步一定程度上会降低碳排放量;当人均 GDP 每增加 1%时,碳排放量将增加 0.0871%;当城市化率提高 1%时,碳排放量将增加 0.0866%;当第二产业占比增加 1%时,碳排放量将增加 0.0802%。以上表明,当前遵义经济仍处快速增长,势必要消耗大量能源,从而使得碳排放量有所增加。因此,遵义市应积极加大产业升级补贴力度,引导重工企业技术升级与创新,扩大绿色、高质量经济空间,实现经济发展与低碳城市建设二维矛盾的有效协调。

表 6 模型汇总

复相关系数	R 方	调整 R 方	估计的标准误差
0.882	0.779	0.763	0.254

表 7 ANOVA 和模型系数

ANOVA	平方和	df	均方	F	Sig
回归	3.181	1	3.181	49.290	0.000
残差	0.904	14	0.65		
总计	4.085	15			
模型系数	B	标准误差	Beta	t	Sig
(常数)	7.368	0.064		116.011	0.000
FAC1	0.461	0.066	0.882	7.021	0.000

4 结果与分析

1) 2001—2016 年遵义市规模以上工业能源消费量中以原煤、焦炭为主,其次是天然气,最后是汽油、煤油、柴油、燃料油;期间碳排放总量由 480.65 万 t 增加到 3404.38 万 t,年均增幅 13.01%,以煤炭类碳排放量为主。2001—2016 年遵义市工业能源消费呈现较快增长,工业能源碳排放仍然处于较高水平。

2) 2001—2016 年遵义市工业能源碳排放强度由 2.20t/万元降至 1.42t/万元,年均降幅 2.3%;能源结构以煤炭碳排放为主,其年均占比为 98.87%,石油和天然气为辅。2001—2016 年遵义市工业能源碳排放强度有较大幅度的降低,其能源利用效率有所

提升, 但总体处于较高水平。同时遵义市煤炭转型较为缓慢, 实现能源清洁化仍具有难度。

3) 遵义市工业能源碳排放影响因子中, 常住人口、人均 GDP、城市化率、第二产业占比、单位 GDP 碳排放量的边际弹性系数分别为-0.0779、0.0871、0.0866、0.0802、-0.0802, 人口与能源效率为抑制因素, 经济、产业结构和城市化则为促进因素。因此, 未来遵义市工业节能减排过程中应重视经济投入、产业调整等层面, 实现低碳城市创建。

参考文献:

[1] FISCHER G. Energy consumption and limits to global emissions of carbon dioxide: Australia and the world[J]. Population & Environment, 1992, 13(3):183-191.

[2] JUNG YH, 刘宝廷. 韩国未来的能源需求和二氧化碳排放的方案[J]. AMBIO-人类环境杂志, 1996, 25(4):258-261.

[3] 王勇, 毕莹, 王恩东. 中国工业碳排放达峰的情景预测与减排潜力评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(10):131-140.

[4] 黄蕊, 王铮, 丁冠群, 等. 基于 STIRPAT 模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测[J]. 地理研究, 2016, 35(4):781-789.

[5] 周跃云. 城市规模以上工业碳排放的行业差异研究——以长沙市为例[J]. 求索, 2016(4):112-117.

[6] 钱萍, 马彩虹. 中国能源消费碳排放时空动态变化[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(10):93-100.

[7] 苏凯, 陈毅辉, 范水生, 等. 市域能源碳排放影响因素分析及减碳机制研究——以福建省为例[J]. 中国环境科学, 2019, 39(2):859-867.

[8] 马晓君, 陈瑞敏, 董碧滢, 等. 中国工业碳排放的因素分解与脱钩效应[J]. 中国环境科学, 2019, 39(8):3549-3557.

[9] 刘晓燕. 基于 STIRPAT 模型的工业能源消费碳排放影响因素分析[J]. 生态经济, 2019, 35(3):27-31.

[10] 王强, 伍世代, 林羽珊. 中国东南沿海地区工业能源消费碳排放的驱动因素分析[J]. 资源科学, 2015, 37(6):1239-1248.

[11] 王玉, 杜宏巍. 河北省工业结构调整对碳排放的影响分析[J]. 商业经济研究, 2017(10):200-202.

[12] 王乃举, 黄翔. 兰州市工业能源碳排放强度及效应研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(6):2242-2251.

[13] 周跃云. 城市规模以上工业碳排放的行业差异研究——以长沙市为例[J]. 求索, 2016(4):112-117.

[14] 姚丽珍, 谢晓敏, 张庭婷, 等. 上海市工业能源生产力评价和技术效率分析[J]. 科技管理研究, 2017, 37(12):73-78.

[15] 田中华, 杨泽亮, 蔡睿贤. 广东省能源消费碳排放分析及碳排放强度影响因素研究[J]. 中国环境科学, 2015, 35(6):1885-1891.

[16]黄蕊, 王铮, 丁冠群, 等. 基于 STIRPAT 模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测[J]. 地理研究, 2016, 35(4):781-789.

[17]汪菲, 王长建. 新疆能源消费碳排放的多变量驱动因素分析——基于扩展的 STIRPAT 模型[J]. 干旱区地理, 2017, 40(2):441-452.