

基于DEA模型的中国碳排放管制效率研究

陆敏¹, 王增武²

(1. 南京审计大学 统计科学与大数据研究院, 江苏 南京 211815;

2. 中国社会科学院 金融研究所, 北京 100028)

摘要: 选择投入、产出变量构建超效率数据包络分析 (DEA) 模型, 计算中国不同省份的碳排放管制效率, 研究碳排放管制效率的区域差异。结果发现, 中国碳排放管制效率整体呈现出逐年提高的趋势, 但区域差异性明显, 东部地区的碳排放管制效率较高, 中部地区次之, 西部地区较低, 东北区域则出现剧烈波动; 城市化水平、对外开放程度和产业结构优化程度对中国碳排放管制效率存在显著影响, 过度城市化会降低碳排放管制效率, 提高对外开放程度和产业结构优化程度可以提高碳排放管制效率。

关键词: 碳排放管制效率; 超效率DEA模型; 城市化水平; 对外开放; 产业结构优化

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4407(2019)06-013-05

Research of China's Carbon Regulation Efficiency Based on DEA Model

LU Min¹, WANG Zengwu²

(1. Institute of Statistic Science and Big Data, Nanjing Audit University, Nanjing Jiangsu 211815, China;

2. Institute of Finance and Banking, Chinese Academy of Social Science, Beijing 100028, China)

Abstract: Based on input and output variables, super efficiency DEA model is employed to calculate carbon regulation efficiency in different provinces of China, and explore the regional differences. Research results show that although China's carbon regulation efficiency is increasing year by year, the regional differences are apparent, carbon regulation efficiency in the eastern region is higher, followed by the central region, and the western region is lower, while there are violent fluctuations in the northeast China. Urbanization levels, degree of opening up and industrial structure optimization have significant effects on the carbon regulation efficiency in China. Excessive urbanization will reduce carbon regulation efficiency, and carbon emission regulation can be enhanced by improving degree of opening up and industrial structure optimization. In sight of these results, some feasible ways to increase carbon regulation efficiency in different regions of China are put forward.

Key words: carbon regulation efficiency; super efficiency DEA model; urbanization level; opening up; industrial structure optimization

1 引言

人类生产生活导致的温室气体排放对气候变化的影响已经引起全球社会的广泛关注, 为减缓二氧化碳排放造成的全球气候变暖, 世界各国政府一直在努力。在 2015 年通过、2016 年签署的《巴黎协定》上, 各缔约方承诺将把“全球气温升幅控制在 2°C 以内”作为目标, 并为把升温幅度控制在 1.5°C 以内而努力。随着全球经济的缓慢回暖, 全球范围内碳排放总量也会随之上升。《2017 全球碳预算报告》指出, 到 2017 年年底, 全球化石燃料及工业二氧化碳排放总量预计将比去年增长 2%。

中国是世界上最大的二氧化碳排放国, 其应对气候变化的行动一直是世界关注的焦点。虽然没有减排义务, 但中国作为负责任的大国, 在 2009 年哥本哈根

会议上, 就做出承诺“到 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放将比 2005 年下降 40% ~ 45%”。中国“十三五”规划又再次提出, 到 2020 年, 单位国内生产总值二氧化碳排放比 2015 年下降 18%, 碳排放总量得到有效控制的约束目标, 又一次彰显了中国降低二氧化碳排放的决心和勇气。2017 年 12 月, 国家发改委宣布中国统一碳排放交易市场正式开启, 这标志着中国利用市场手段降低二氧化碳排放迈出了关键一步。这些碳减排政策工具的贯彻执行, 对有效降低中国二氧化碳排放、促进产业转型升级、转变经济增长方式、加速生态文明建设发挥了重要作用, 但必须看到, 中国经济进入“新常态”后, 经济的高速增长也将伴随着二氧化碳排放总量缓慢增长。数据显示^[1], 虽然 2016 年中国(不包括

基金项目: 江苏省哲学社会科学基金项目“区域碳交易体系的社会福利效应研究”(16GLB013); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目“应用经济学”(PAPD)

第一作者简介: 陆敏(1978—), 男, 江苏泰州人, 博士, 副教授, 研究方向为环境规制政策和创新。E-mail: lumin@nau.edu.cn

香港、澳门、台湾地区)煤炭消费在能源消费总量的占比下降了 2%，但中国能源消费总量增长了 1.3%，二氧化碳排放总量为 9 123 百万吨，依旧达到全球碳排放总量的 27.3%，中国的二氧化碳排放管制形势依然严峻。2018 年 5 月，在全国生态环境保护大会上，习近平总书记发表了重要讲话，提出新时代推进生态文明建设的原则和要求，这进一步传递了继续加强碳排放管制的政策信号。

如何客观地对二氧化碳排放管制的效率进行评价是中国碳排放管制体系的一个重要环节，可以及时分析碳排放管制效果、发现碳排放管制过程中的问题，找到提升碳排放管制效率的路径和方法，对后续相关碳排放管制政策的制定和完善具有重要的意义。

2 文献综述

碳排放相关问题一直是国内外学者研究的热点，大量文献从不同方面进行了广泛的研究，这其中对碳排放管制效率的研究并不多见。Böhlinger 等^[2]分析了在欧盟碳交易机制覆盖部门征收碳税带来的潜在效率损失，认为双重管制带来了成本的额外增加。常凯和王维红^[3]也提出双重管制会导致碳价上升，碳减排量下降，扭曲了碳减排效率。张伟等^[4]基于因素分解模型发现，中国的二氧化碳减排效率受能源使用和碳排放的技术因素影响。支燕^[5]基于 STIRPAT 模型研究了不同国家的碳排放管制效率差异，发现中国的碳排放管制效率最高，影响碳排放管制效率的主要因素是法治力度和政府效率。高杨和李健^[6]采用管制规划模型研究发现，碳排放管制目标确定时，可以通过调控碳排放标准和监督概率变动实现社会经济成本的最优成本效率。杨翱等^[7]比较了不同碳减排政策的优劣，运用 DSGE 模型模拟了不同政策对宏观经济变量稳定值的影响。肖红叶和程郁泰^[8]也研究了中国碳减排政策的效应，提出了 E-DSGE 模型进行仿真测度，认为目前环境政策没有对产出、消费、投资、就业与通货膨胀等经济系统基本面的稳定产生特别强烈的负面冲击。

上述文献主要是对碳减排政策效率进行评价研究，对碳排放管制效率的研究，只有 2013 年支燕^[5]运用 STIRPAT 模型进行的分析，但该文献比较了不同国家碳排放管制效率的差距，没有对中国碳排放管制效率进行研究，也缺乏对影响中国碳排放管制效率因素的分析。因此，本文通过选择投入、产出指标构建中国碳排放管制效率的超效率 DEA 评价模型，测算中国碳排放管制效率，研究效率区域差异，并寻求导致效率差异的可能因素。

3 实证分析

3.1 研究方法介绍

超效率 DEA 模型是一种超效率包络分析模型，它是一种基于传统 DEA 模型的新模型，传统 DEA 模型只能区别决策单元是否有效率，不能够对结果直接进行分析。超效率 DEA 模型弥补了传统 DEA 模型的不足，利用此模型所得出的值不只限制在 0~1 的范围之内，而是允许计算得到的值大于 1，更加方便对各决策单元做比较。具体模型如下：假设决策单元的数量为 n ，输入和输出的数据分别为 $(x_{ij}, y_{rj})(j=1, 2, \dots, n)$ ，对于第 $j_0(1 \leq j_0 \leq n)$ 个决策单元，利用超效率 DEA 模型计算第 j_0 个决策单元的效率值的公式为：

$$\begin{aligned} \min & \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right) \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + S_i^- = \theta x_{ij_0} \quad (i=1, 2, \dots, m) \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - S_r^+ = y_{rj_0} \quad (r=1, 2, \dots, s) \\ & \lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, j_0-1, j_0+1, \dots, n) \end{aligned} \quad (1)$$

式中： θ 为第 j_0 个决策单元的超效率值； ε 为非阿基米德无穷小量； n 是决策单元的数量，每个决策单元均包括 m 种输入变量和 s 种输出变量； S_i^- 和 S_r^+ 分别为输入和输出的松弛变量； x_{ij} 表示第 j 个决策单元在第 i 个投入指标上的值； y_{rj} 表示第 j 个决策单元在第 r 个产出指标上的值； λ_j 是各类指标的权重，可由模型求解。DEA 是一种环境效率评估模型，超效率值越大，说明技术越有效。

本文把影响碳排放管制效率的几种因素作为投入变量，把地区生产总值作为期望产出，碳排放则作为非期望产出。在超效率 DEA 模型中，采用“非预期产出作投入法”处理碳排放指标，由此来计算碳排放管制效率，运用 Matlab 来进行模型的计算以及数据处理。

3.2 投入指标选取

研究碳排放管制效率，首先要考虑哪些因素导致碳排放增加，已有研究成果对影响中国碳排放的基本因素已达成共识，人口、技术和产业结构是基本的影响因子，它们在短时间内很难有显著变化。因此，在选择投入指标时，只考虑上述基本面，并做了适当的改进，形成了城市化水平、对外开放程度以及产业结构这三个影响碳排放管制效率的指标。具体而言，首先，中国目前城市化水平还不高，城市化率仍处于不断上升阶段，城市化的发展进程中需要消耗大量能源，同时，城市化也使得城市人口越来越多，持续增加的城市人口导致能源消耗继续升高。所以，城市化水平的不断提升会导致各个地

区的碳排放量不断增加，进而影响地方政府对于碳排放的管制效率。城市化水平用城镇居民的人口数占总人口来表示。第二，中国对外贸易的增加加速了相关产品的生产过程，导致了更多的能源消耗，使得碳排放量也有所增加。同时，对外开放也会带来技术的相互交流，引进新技术，改进生产流程，带动了中国的生产效率的提高，而生产效率的提高也说明了技术的进步，从而碳排放的管制效率也会产生影响，所以本文将地区对外开放程度作为投入指标之一。对外开放程度用地区的外贸总额与GDP比率来表示。第三，产业结构用第三产业和第二产业之比来进行衡量。由于第三产业消耗的能源以及所产生的碳排放相对较少，所以不同地区产业结构的差异会导致碳排放量的迥然不同，政府在促进产业结构优化升级上的努力也会影响碳排放管制效率。

3.3 数据来源与处理

本文主要选取中国30个省份(不包括西藏及港澳台地区)2008—2016年的相关数据进行研究,所有投入变量数据、期望产出数据均来自《中国统计年鉴》(2009—2017年)。

非期望产出数据需要通过计算各省不同年份的碳排放量得到。各省份的能源消费相关数据来自《中国能源统计年鉴》(2009—2017年)。碳排放量包括各类化石燃料在消耗过程中所排放的直接碳排放量与电力调入调出产生的间接碳排放量之和,计算公式为:

$$TC_{it} = C_{D_{it}} + C_{P_{it}} \quad (2)$$

式中： $C_{D_{it}}$ 代表*i*省*t*年的省内直接碳排放量，即消耗化石燃料排放的碳排放量，计算公式为： $C_{D_{it}} = \sum E_{ijt} \times \rho_j$ ， E_{ijt} 代表*i*省*t*年*j*种能源的消耗量， ρ_j 代表*j*种能源的碳排放系数。主要的化石燃料包括汽油、原油、燃料油、原煤、焦炭和天然气。 $C_{P_{it}}$ 为电力调入调出所带来的间接碳排放量。在计算不同能源的消耗量时，通过不同能源的折标准煤系数，将不同能源的消耗量折算成标准煤，再运用碳排放系数计算出最终的碳排放量。具体的二氧化碳排放系数如表1所示。

根据公式(2)计算得到2008—2016年中国各省份的碳排放量，如表2所示，由于数据较多，表2仅列出了部分年份的碳排放量数据。

表1 各类能源的折标准煤系数和碳排放系数

能源名称	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力
折标准煤系数/(千克标准煤/千克)	0.714 3	0.971 4	1.428 6	1.471 4	1.471 4	1.457 1	1.428 6	13.3 [*]	1.229 ^{**}
二氧化碳排放系数/(吨碳/万吨标准煤)	0.747 6	0.855	0.585 7	0.553 8	0.571 4	0.592 1	0.618 5	0.448 3	2.213 2

注：上角标*表示单位为千克标准煤/立方米，**表示单位为千克标准煤/千瓦时；数据来源于《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2008)。

表2 2008—2016年各省份碳排放量(单位：万吨)

省份	2008年	2010年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
北京	5 596.99	6 069.53	6 033.10	5 801.37	5 980.55	5 915.84	5 918.69
安徽	9 912.10	11 765.90	13 604.97	14 837.96	15 336.15	15 505.31	15 918.61
福建	7 764.51	9 947.52	11 511.60	11 638.71	13 049.33	12 740.83	12 578.90
甘肃	6 236.74	7 017.22	8 452.42	8 854.81	8 959.48	8 794.16	8 497.02
广东	23 015.65	27 143.99	29 850.30	30 259.07	31 441.43	31 678.35	33 066.98
广西	5 639.35	7 540.51	9 662.56	9 823.51	9 985.14	9 734.80	10 143.54
贵州	7 766.18	8 803.37	10 747.38	11 259.84	11 103.26	11 042.42	11 711.97
海南	1 627.96	1 938.39	2 422.68	2 337.11	2 561.69	2 807.01	2 790.04
河北	25 661.45	30 242.29	34 656.21	35 155.17	34 039.62	33 427.05	33 696.26
河南	20 839.60	23 510.24	25 124.78	25 251.92	25 508.11	25 431.35	25 598.98
黑龙江	10 303.64	11 636.98	13 042.80	12 408.47	12 585.20	12 559.48	12 854.73
湖北	11 122.10	13 772.78	15 661.36	14 386.50	14 566.21	14 496.47	14 782.90
湖南	9 855.20	11 437.39	12 726.21	12 607.73	12 376.02	12 869.03	13 063.95
吉林	7 529.07	8 621.96	9 706.82	9 424.58	9 395.73	8 856.28	8 742.16
江苏	24 662.22	29 403.34	34 699.28	36 228.68	36 236.54	37 328.76	39 213.35
江西	5 480.48	6 771.49	7 762.90	8 352.20	8 647.77	9 094.03	9 435.69
辽宁	20 496.89	23 572.71	26 089.87	25 457.55	25 558.10	24 885.06	25 095.72
内蒙古	17 507.23	21 196.96	27 549.93	27 482.37	28 644.64	28 931.24	29 336.94
宁夏	4 007.03	5 144.48	7 249.18	7 768.02	7 973.73	8 254.03	8 232.96
青海	1 993.11	2 424.51	3 270.74	3 630.40	3 637.89	3 331.33	3 529.50
山东	33 933.00	39 486.26	44 155.91	43 916.00	46 579.50	51 237.91	54 605.18
山西	21 348.45	22 860.95	26 546.09	27 238.18	27 752.26	27 301.53	26 821.25
陕西	9 386.72	11 947.61	15 108.10	16 083.56	16 981.04	16 848.24	17 604.61
上海	10 032.03	11 076.43	11 336.04	11 836.67	11 003.63	11 334.37	11 560.57
四川	11 670.81	13 924.73	15 188.35	15 737.07	16 279.35	15 552.45	15 502.27
天津	5 351.94	6 922.27	7 680.08	7 993.38	7 843.39	7 745.37	7 489.59
新疆	7 217.67	9 539.14	13 719.10	16 270.96	18 602.65	19 502.70	20 760.02
云南	8 158.36	9 487.30	10 822.21	11 107.26	10 563.61	9 636.04	9 508.12
浙江	17 108.40	19 708.61	21 100.00	21 811.11	21 828.00	22 099.84	22 866.94
重庆	5 042.18	6 123.48	6 940.00	6 495.68	6 950.36	7 016.41	7 100.15

3.4 碳排放管制效率计算结果

采用超效率 DEA 模型计算碳排放管制效率, 得到中国 2008—2016 年碳排放管制效率的整体变化情况, 如图 1 所示。从图 1 可以发现, 2008—2009 年, 碳排放管制效率短暂下跌后, 随着中国碳排放管制政策、法规和规定的出台, 2009 年开始进入上升通道, 尽管 2011 年以来, 碳排放管制效率提高缓慢, 但 2015—2016 年碳排放管制效率增加明显, 上涨幅度达到 10% 左右。

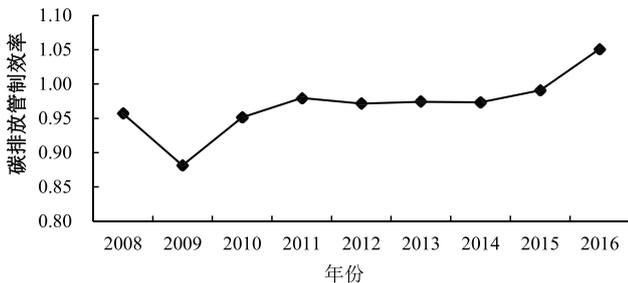


图1 2008—2016年我国碳排放管制效率平均值

进一步从不同经济区域来看, 2008—2016 年, 四大经济区域(东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江; 东部地区包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南; 中部地区包括山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南; 西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆)碳排放管制效率整体表现为下跌—上升—下跌—再上升的走势, 尤其是 2015—2016 年, 中国所有区域碳排放管制效率均呈现急剧上升态势(图 2), 说明近年来, 中国环境保护取得了较好的政策效果。同时, 除东北区域外, 东部地区的碳排放管制效率较高, 中部地区的碳排放管制效率次之, 西部地区的碳排放管制效率较低; 东北地区碳排放管制效率出现剧烈波动, 2010 年之前, 碳排放管制效率较高, 2012 年以后出现下降的趋势, 远低于其他三个区域, 东北区域在振兴经济的同时, 需要努力提高碳排放管制效率。

具体来说, 从不同省份 2008—2016 碳排放管制效率平均值及排名来看(表 3), 北京、辽宁、上海、吉林、浙江、安徽、广东和江苏的碳排放管制效率相对较高, 贵州、新疆、河南、黑龙江、青海和甘肃等地的碳排放管制效率相对较低。进一步分析发现, 除海南外, 东部地区的碳排放管制效率普遍较高, 排名比较靠前; 东北地区除了黑龙江以外的其余两个省的碳排放管制效率也较高; 中部地区不同省份碳排放管制效率差异较大; 而西部地区碳排放管制效率的排名普遍比较靠后。

在上述结果的基础上, 本文将所有省份的城市化水平、对外开放程度和产业结构的平均值作为自变量, 碳

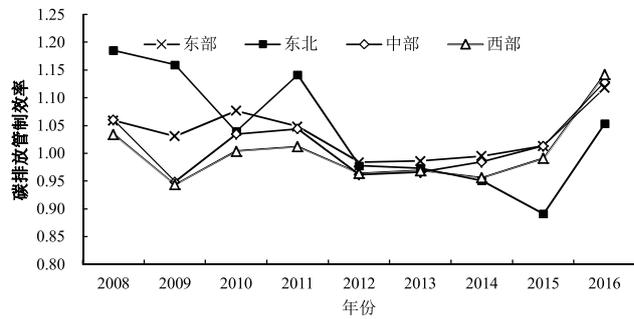


图2 2008—2016年不同区域碳排放管制效率变化趋势

表3 我国各省份碳排放管制效率及排名

省份	碳排放管制效率	排名	省份	碳排放管制效率	排名
北京	1.044	1	内蒙古	0.956	16
辽宁	1.003	2	陕西	0.955	17
上海	0.992	3	重庆	0.952	18
吉林	0.980	4	湖南	0.948	19
浙江	0.978	5	湖北	0.948	20
安徽	0.975	6	宁夏	0.942	21
广东	0.973	7	广西	0.942	22
江苏	0.972	8	海南	0.938	23
江西	0.969	9	山西	0.932	24
天津	0.965	10	贵州	0.931	25
四川	0.965	11	新疆	0.930	26
云南	0.965	12	河南	0.927	27
山东	0.963	13	黑龙江	0.924	28
河北	0.961	14	青海	0.921	29
福建	0.957	15	甘肃	0.846	30

排放管制效率平均值作为因变量, 进行多元线性回归分析, 考察这三个影响因素与碳排放管制效率的关系。统计分析结果如表 4 所示。

表4 多元线性回归分析结果

参数	非标准化系数		标准系数	t 值	显著性	共线性统计	
	B	标准误	β			容许	VIF
常量	2.379	0.429	—	—	—	—	—
城市化水平	-0.729	0.258	-1.477	-2.827	0.037	0.256	3.908
对外开放程度	2.598	0.919	1.27	2.826	0.030	0.217	4.606
产业结构	0.796	0.222	1.612	3.588	0.012	0.213	4.685

根据表 4 所得结果, 可以看出三个碳排放管制效率影响因素的 VIF 值均小于 10, 说明多重共线性不强, 同时显著性 P 值均小于 0.05, 所以城市化水平、对外开放程度和产业结构这三个影响因素都显著影响碳排放管制效率, 可以从这三个因素寻找碳排放管制效率区域差异的原因, 进而得到提高碳排放管制效率的路径。

首先从城市化水平来看, 碳排放管制效率与城市化水平呈现负相关关系, 过度的城市化水平会降低碳排放管制效率。因此, 对中、西部碳排放管制效率较低的区域, 在经济发展过程中, 要调整城市化的速度, 防止急速提高的城市化水平带来碳排放量的骤增, 进而影响碳排放管制效率。其次是对外开放程度, 表 4 显示, 对外开放程度和碳排放管制效率呈同向变化关系, 对外开放程度较低的中部和西部地区, 可以通过对外进出口贸易所带动的

经济增长以及相关生产技术的进步来提高碳排放管制效率。第三是产业结构,产业结构与碳排放管制效率正相关。产业结构明显优越的地区,第三产业产值所占比重较大,第三产业贡献较高,产生的碳排放总量也较少;产业结构比值相对较低的地区,第二产业产值占比依然较高,进而导致碳排放总量相对较多。因此,政府在优化产业结构上的作为将直接影响地区碳排放总量。产业结构的调整优化、增加第三产业的比重、把国民经济的重心逐步转移到第三产业上去,能够有效地提升碳排放管制效率。

4 结论及建议

本文运用超效率 DEA 模型来对碳排放管制效率进行测算,研究我国不同区域管制效率的差异,并寻找造成这种差异的可能原因。在对我国 30 个省份的碳排放管制效率进行研究分析之后,发现我国碳排放管制效率存在着明显的地区差异,东部地区碳排放管制效率相对较高,东北地区其次,中部地区不同省份碳排放管制效率水平差距比较大,中部地区还有很大的上升空间,而西部地区的碳排放管制效率相对较低。这种地区差异与中国经济区域的划分存在着一定的趋同性,通过进一步分析影响碳排放管制效率的各个因素,得出改善碳排放管制效率的可能路径。

政府在制定碳排放管制政策时需充分考虑中国不同地区经济发展水平、产业结构等基本情况,形成差异化的管制政策。当前,中国已经进入生态文明建设新时代,生态文明理念已经深入人心,各项生态环境保护政策不断出台,地方政府也竭尽全力治理经济发展中的过度排放,但必须看到中国仍存在经济发展不平衡、不充分的问题,对碳排放的管制不能一刀切,需要考虑不同省份的承受能力,碳排放管制效率的地区差异要求政策制定时必须分类实施,制定经济可行、细化的管制政策。

中、西部地区可以通过适度控制城市化水平、扩大对外开放程度和优化产业结构来改进碳排放管制效率。中、西部地区经济发展需要加快推进城市化水平,但本文研究显示,城市化水平的提高会降低碳排放管制效率。因此,中、西部地区的城市化需要跟严格的环境保护政策相结合,防止过度城市化带来严重的环境问题,避免走上“先污染后治理、边治理边污染”的老路。中、西部地区还需要进一步扩大对外开放程度,尽管对外开放可能会导致“污染转移”,但对外开放带来的技术革新和产

业变革会降低环境污染水平,进而整体上提升碳排放管制效率。当然,碳排放管制效率的提高归根结底还是要通过中、西部地区产业结构的优化开始,主动进行高污染行业的“关停并转”,引进的行业必须是碳排放较低的行业,从根本上改善碳排放管制效率。

东部地区碳排放管制效率的提高则应主要依靠产业结构优化升级。东部地区城市化水平已经很高,而对外开放程度也远高于其他地区。因此,继续调整产业结构则成为东部区域各省份提高碳排放管制效率的有效途径。

东北地区也需要通过适度控制城市化水平、扩大对外开放程度和优化产业结构来提高碳排放管制效率。尽管辽宁、吉林的碳排放管制效率平均值排名靠前,但必须清醒地看到,2012 年以来,碳排放管制效率极速下滑,原因是多方面的,从本文的分析因素来看,东北地区长期以来产业结构不合理,第二产业比重过高,尤其是能源相关产业占比过大,第三产业、第二产业比率较小,碳排放总量很大。因此,东北地区需要以国家振兴东北政策为契机,下定决心摆脱对能源工业的依赖,实现产业结构升级。在产业结构优化过程中,东北地区也同样面临着城市化和对外开放的困惑,东北地区不少资源枯竭型城市转型困难、城市人口急剧降低、对外开放程度极低,这也是导致碳排放管制效率较低的重要原因。[2]

参考文献:

- [1]BP. BP世界能源统计年鉴2016[R]. 伦敦: BP, 2017.
- [2]Böhlinger C, Koschel H, Moslener U. Efficiency losses from overlapping regulation of EU carbon emissions [J]. *Journal of Regulatory Economics*, 2008, 33(3): 299-317.
- [3]常凯, 王维红. 双重管制政策下碳减排效率[J]. *科技管理研究*, 2011 (10): 161-164.
- [4]张伟, 朱启贵, 李汉文. 能源使用、碳排放与我国全要素碳减排效率[J]. *经济研究*, 2013 (10): 138-150.
- [5]支燕. 碳排放管制效率、政府能力与碳排放[J]. *统计研究*, 2013 (2): 64-72.
- [6]高杨, 李健. 考虑成本效率的碳减排政策工具最优选择[J]. *系统工程*, 2014 (6): 119-125.
- [7]杨翱, 刘纪显, 吴兴奔. 基于DSGE模型的碳减排目标和碳排放政策效应研究[J]. *资源科学*, 2014 (7): 1452-1461.
- [8]肖红叶, 程郁泰. E-DSGE模型构建及我国碳减排政策效应测度[J]. *商业经济与管理*, 2017 (7): 73-86.

(责任编辑: 保文秀)