

中国建筑业碳排放效率区域差异及收敛性分析 ——基于 SBM 模型与面板单位根检验

宋金昭, 郭芯羽, 王晓平, 胡 振

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 目前, 关于建筑业碳排放的研究主要集中在总量和效率的测算方面, 缺乏相关收敛性的研究。本文在计算 2005—2015 年我国 30 个省域建筑业碳排放量的基础上, 运用 SBM-Undesirable 模型测算了各省建筑业的碳排放效率, 并通过面板单位根检验方法分别对全国及三大区域建筑业碳排放量和碳排放效率进行了随机收敛性分析。研究结果表明, 研究期内我国建筑业碳排放量整体先上升后下降, 各地区碳排放量和碳排放效率差距较大, 且均呈现东、中、西部渐次递减趋势, 东、中部平均碳排放效率在 0.7 上下波动, 西部仅为 0.5~0.6; 全国建筑业碳排放量不存在随机性收敛, 而效率指标收敛, 东部和中部地区两项指标均随机性收敛, 西部地区发散。本文的研究结果将为我国制定更为合理的建筑业碳减排目标、区域间有差异而区域内统一的碳排放效率优化政策提供有力依据。

关键词: 建筑业; 碳排放效率; SBM-Undesirable 模型; 随机性收敛

中图分类号: TU-9

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2019)02-0301-08

Regional differences and convergence test of carbon emission efficiency of construction industry in China using SBM model and panel unit root test

SONG Jinzhao, GUO Xinyu, WANG Xiaoping, HU Zhen

(School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an, China)

Abstract: At present, researches on carbon emissions in construction industry mainly focus on quantity and efficiency, which lack the research on convergence. The paper calculated the carbon emission of China's 30 provincial construction industry from 2005 to 2015. And then used SBM-Undesirable model was used to assess its efficiency. Based on that, the stochastic convergence analysis was conducted on the carbon emission and its efficiency of construction industries. Results showed that the national carbon emissions of construction industry first increased and then decreased from 2005 to 2015. There were distinct differences in carbon emissions and its efficiency between provinces, and the emissions decreased gradually from east to west. The average carbon emission efficiency in eastern and middle region fluctuates in 0.7, At the same time the west was only within 0.5~0.6. There was no stochastic convergence of carbon emissions in the national construction industry, but the efficiency index was convergent. The two indexes in both eastern and middle regions presented stochastic convergence, while in the western region there were no signs of convergence. This paper will provide a reference for establishing more reasonable energy saving targets and the optimization policy of the carbon emission efficiency in differences of region and regional unity across the Chinese construction industry.

Key words: construction industry; carbon emission efficiency; SBM-Undesirable model; stochastic convergence

二氧化碳等温室气体的大量排放是造成全球气候变暖问题的根本原因。随着社会经济的快速发展, 能源消耗急剧增加, 我国已成为世界最大的二氧化碳排放地, 作为负责任的大国, 中国政府承诺到 2030 年实现单位国内生产总值碳排放量比 2005 年下降 60%~65%, 并在《“十三五”节能

减排综合工作方案》中将节能减排责任目标明确落实到省级和行业层面。建筑业是我国重要的支柱产业之一, 存在严重的高能耗、低能效问题, 并带来大量的二氧化碳排放, 据统计, 与建筑业相关的碳排放占我国碳排放总量的比例高达 36%^[1]。随着当前城市化进程的快速推进, 建筑业碳排放

收稿日期: 2018-02-03 修改稿日期: 2019-03-08

基金项目: 国家自然科学基金(51578438); 住房和城乡建设部项目(2015-R1-009); 陕西省软科学研究计划项目(2015KRM029); 西安市城乡建设委员会建设科技项目(SJW2014022)

第一作者: 宋金昭(1978—), 男, 博士, 副教授, 主要从事建筑低碳经济。E-mails: 591362559@qq.com

通信作者: 郭芯羽(1993—), 女, 硕士, 主要从事建筑低碳经济。E-mails: guoxinyu0726@163.com

的影响愈加显著^[2],在保持建筑业平稳发展的前提下,有效控制建筑业的碳排放、实现行业节能减排目标刻不容缓。目前中国省域间建筑业发展水平差异明显,对各省建筑业碳排放效率及省域间收敛性进行研究,以期制定更加科学合理的差异化建筑业碳减排政策,实现建筑业整体低碳发展。

近年来,碳排放效率及其收敛性问题已受到学术界的普遍关注。已有碳排放效率的研究文献,主要采用传统的数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA),该方法可避免关于模型设定和随机干扰项正态分布的强假设偏误,被认为是评价区域性碳排放效率的有效方法^[3]。但该方法在测算时未将生产过程中的碳排放量等非期望产出纳入考虑范围,且本质上属于径向和角度的方法会造成投入要素的“拥挤”或“松弛”问题。为了克服以上缺陷, Tone^[4-5]结合传统 DEA 方法,提出了包含非期望产出的 SBM-Undesirable 模型,有效解决了作为非期望产出的碳排放放在模型中越小越好的问题。周五七^[6]、吴昊玥^[7]、郭炳南^[8]运用该模型,分别计算了中国工业、农业及总体碳排放效率的区域差异,验证了其有效性。已有碳排放收敛性的文献主要集中在全局和工业视角,检验方法主要采用 α 、 β 和俱乐部收敛理论^[9-10]。为了弥补传统收敛检验单纯使用时间序列或截面数据研究的不足,Evans 和 Karras^[11]等提出了随机性收敛检验方法,该方法不再关注增长率的绝对差异,而是认为只要经济体之间的差距在长期内保持一个相对平稳的变化路径,即可以视为存在随机性收敛。赵金楼^[12]、杜克锐^[13]、吴昊玥^[7]等运用该方法分别对全要素能源效率、碳排放效率、及农业碳排放效率的收敛性进行实证检验。

目前,缺乏针对建筑业碳排放效率的文献研究,且存在一定的不足,如王雪青^[14]运用传统 DEA 模型计算了我国建筑业能源效率,但没有将碳排放指标纳入模型内,忽略了碳排放等非期望产出对能源效率的影响;冯博^[15]等运用线性数据转化法处理了碳排放非期望产出指标,但在模型的投入指标设计中重复考虑了机械设备;陈钢^[16]等运用三阶段 DEA 模型对区域建筑业碳排放效率及指标冗余进行了评价,但碳排放的测算仅考虑施工过程中的直接碳排放,忽略了建筑材料生产过程中的间接碳排放,效率评价结果值得商榷。同时,以上文献主要侧重在效率测算及评价方面,未进一步分析区域建筑业碳排放效率的收敛性问题,无法更深层次揭示区域建筑业碳排放的变动

态势及规律。本文将建筑业间接碳排放量加入总碳排放测算模型,在运用 SBM-Undesirable 模型计算 2005—2015 年中国各省建筑业碳排放效率的基础上,采用随机性收敛检验方法分别对碳排放总量和碳排放效率的收敛性进行分析,可为制定更加科学合理的差异化建筑业减排政策提供理论依据。

1 研究方法 with 数据处理

1.1 SBM-Undesirable 模型

Tone^[4-5]在 2001 年提出了基于非径向和非角度的 SBM 模型,其形式为:假定建筑业碳排放系统有 n 个决策单元,每个决策单元有投入、期望产出和非期望产出等三个向量,可表示为 $x \in R^m$ 、 $y^g \in R^{S_1}$ 和 $y^b \in R^{S_2}$ 。定义相应矩阵为

$$X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$$

$$Y^g = [y_1^g, \dots, y_n^g] \in R^{S_1 \times n}$$

$$Y^b = [y_1^b, \dots, y_n^b] \in R^{S_2 \times n}$$

式中: $X > 0$, $Y^g > 0$, $Y^b > 0$ 。非期望产出的 SBM 模型可表示为

$$\begin{cases} \rho^* = 1 - \frac{1}{m} \sum_j \frac{s_j^-}{x_{j0}} \\ \min \frac{1}{1 + \frac{1}{S_1 + S_2} \left(\sum_{r=1}^{S_1} \frac{S_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{S_2} \frac{S_r^b}{y_{r0}^b} \right)} \\ s. t. x_0 = X\lambda + s^-, y_0^g = Y^g\lambda - s^g, y_0^b = Y^b\lambda + s^b \end{cases}$$

式中: ρ^* 为建筑业碳排放效率值, s^- 、 s^g 、 s^b 分别为投入、期望产出和非期望产出的松弛量, λ 为权重向量;目标函数 ρ^* 关于 s^- 、 s^g 、 s^b 严格单调递减,当 $\rho^* = 1$, 即 $s^- = 0$, $s^g = 0$, $s^b = 0$ 时,决策单元完全有效;若 $\rho^* < 1$, 说明决策单元存在效率损失,可以通过优化投入产出改善效率。

1.2 随机性收敛检验

Evans 和 Karras^[11]认为如果经济体之间的差距构成了一个稳定不随时间变化的差异均衡,即是随机性收敛,随机性收敛需要满足下式:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} E_t(y_{i,t+k} - \bar{y}_{t+k}) = \mu_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i i = 1, 2, \dots, n$$

因此,随机性收敛的检验问题就可以转换成检验面板数据 $(y_{i,t+k} - \bar{y}_{t+k})$ 是否服从平稳随机过程的问题。随机性收敛存在则说明对某个经济体的外生冲击是暂时的,不会产生累积效应,所有经济体将向共同的均衡水平 \bar{y}_i 移动。本文基于面板单位根方法对我国建筑业碳排放效率进行随机性收敛检验,所采取的 IPS、ADF-Fisher 和 PP-Fisher 的原假设均为存在单位根,结果若在显著性

水平下拒绝原假设, 即数据存在随机性收敛。

1.3 指标及数据

选取 2005—2015 年中国 30 个(西藏及港澳台地区数据缺失)省、市、自治区建筑业数据, 投入指标选取能源、资本存量、劳动力和机械设备, 建筑业总产值代表期望产出, 建筑业二氧化碳排放量代表非期望产出。

以建筑业终端能源消费量作为建筑业的能源投入, 选取原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、润滑油、石油沥青、液化石油气、其他石油制品、天然气、热力和电力等 16 种能源统一折算成万吨标准煤后的加和总量; 资本存量为建筑业总资产减去自有施工机械设备年末净值; 选择“建筑业从业人员数”作为建筑业的劳动投入; 选择“自有施工机械设备年末总功率”表示建筑业机械设备投入量。数据均来源于《中国建筑业统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。

关于非期望产出建筑业碳排放量的计算, 主要是基于建筑业整个投入产出链及全生命周期理念考虑, 将碳排放分为直接碳排放和间接碳排放。直接碳排放是指建筑业自身活动产生的碳排放, 间接碳排放是指建筑业诱发其他行业产生的碳排放^[17]。将各省建筑业直接消耗原煤、洗精煤、型煤、焦炭等 16 种能源的碳排放作为直接碳排放, 采用 IPCC 二氧化碳排放核算方法; 间接碳排放为

生产水泥、钢材、玻璃、木材、铝材等 5 种建筑材料产生的碳排放, 沿用冯博^[15]等的计算方法, 且碳排放选取来源更加全面。

2 实证分析

2.1 建筑业碳排放量的测算及分析

依据前文建筑业碳排放量测算模型, 计算我国 30 个省 2005—2015 年间建筑业碳排放量, 计算结果如图 1 所示; 同时, 按照经济发展水平和地理位置等因素, 将全国划分为东、中、西三大区域, 并进一步计算全国及三大区域碳排放量均值及增长率。计算结果如表 1 所示:

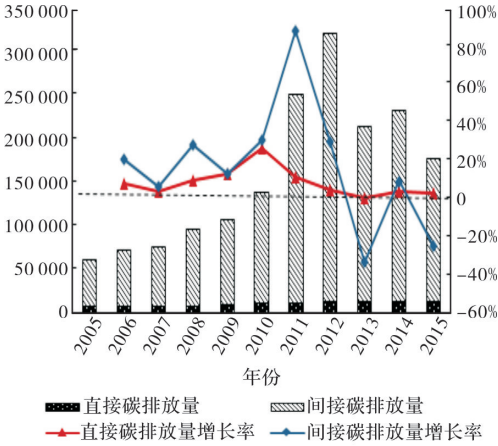


图 1 2005—2015 年建筑业碳排放量构成及增长率

Fig. 1 Composition and growth rate of carbon emissions in construction industry from 2005 to 2015

表 1 2005—2015 年全国及三大区域建筑业碳排放量均值

Tab. 1 Average carbon emissions of the nation and three regions in construction industry from 2005 to 2015

年份	东部地区		中部地区		西部地区		全国总量	
	碳排放量 /万 t	增长率 /%	碳排放量 /万 t	增长率 /%	碳排放量 /万 t	增长率 /%	碳排放量 /万 t	增长率 /%
2005	3 502.374		1 666.032		926.168		2 068.074	
2006	4 144.467	18.33	1 962.224	17.78	1 094.179	18.14	2 444.096	18.18
2007	4 166.620	0.53	2 316.929	18.08	1 199.871	9.66	2 585.561	5.79
2008	5 294.208	27.06	2 611.790	12.73	1 650.885	37.59	3 243.012	25.43
2009	5 960.879	12.59	3 067.954	17.47	1 755.892	6.36	3 647.603	12.48
2010	7 575.482	27.09	3 708.956	20.89	2 593.325	47.69	4 717.618	29.33
2011	16 586.027	118.94	4 281.305	15.43	3 373.574	30.09	8 460.202	79.33
2012	13 460.421	-18.84	17 028.211	297.73	3 630.513	7.62	10 807.532	27.75
2013	11 194.346	-16.84	6 188.517	-63.66	4 212.147	16.02	7 299.319	-32.46
2014	10 899.746	-2.63	8 129.195	31.36	4 698.543	11.55	7 887.158	8.05
2015	9 461.518	-13.20	5 411.815	-33.43	3 087.301	-34.29	6 044.384	-23.36
均值	8 386.008	—	5 124.812	—	2 565.673	—	5 382.233	—
年均增长率	10.45%		12.50%		12.79%		11.32%	

注: 东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南, 中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南, 西部地区包括内蒙古、广西、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆。

(1)2005—2015年我国建筑业碳排放量均值整体呈现先上升后下降的趋势。2005—2012年呈增长趋势,其中,2011年单年增长率达79.33%,并在2012年达到研究期内最大值10 807.532万t。这是由于在国家有效应对金融危机、经济结构不断优化、生产力水平大幅度提高的背景下,建筑业呈现快速增长的态势。2013~2015年建筑业碳排放量均值在波动中下降,2013、2015年降低率分别为32.46%和23.36%,至2015年建筑业碳排放量均值降低至6 044.384万吨。究其原因,在建筑业快速发展的同时,国家提出了“十二五”计划节能减排新目标,要求调整能源消费结构,加强清洁能源的使用,从规划、法规、技术、标准、设计等方面全面推进建筑节能,使得建筑业碳排放量有所回落。而计算表明,生产建筑材料的碳排放量11年间平均占比为94.29%,与其他研究表明间接碳排放约占建筑业总排放量的90%以上的结果基本一致^[17]。

(2)从截面数据来看,建筑业碳排放量均值呈现东、中、西部逐渐递减趋势。东、中、西部以

2005年为基期的年均增长率分别为10.45%、12.50%和12.79%,可以看出,东部每年的碳排放量远高于中、西部地区,但从2012到2015年间其碳排放量有不同程度下降,可能是建筑业相关技术的提高和清洁能源的使用,在保持建筑业发展的基础上,降低了建筑业碳排放量;中部地区碳排放量和增长速度均居中,其碳排放量在2012年快速增长,增长率达297.73%,在2013年有大幅度回落;西部地区碳排放量最低,但在研究年限内除2015年有所下降外,其余年份均有较快增长,且年均增长率最大。可以看出,建筑业碳排放量与经济发达程度呈正相关,这是由于经济发达地区城市化进程快,住宅与基础设施建设需求大,建筑业发展程度高,相应对建筑材料尤其是水泥、钢材的消耗量也大,从而建筑业碳排放量也越大。

2.2 建筑业碳排放效率的测算及分析

在计算碳排放量的基础上,本文使用DEA-SOLVER PRO5.0软件测算各省建筑业2005—2015年的碳排放效率。计算结果见表2。

表2 中国2005—2015年各省建筑业碳排放效率

Tab. 2 Regional carbon emissions efficiency of China in construction industry from 2005 to 2015

地区		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均值
东部地区	北京	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	天津	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	上海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	浙江	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	江苏	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.859	0.594	1.000	0.740	0.736	1.000	0.903
	辽宁	1.000	1.000	0.852	0.841	0.818	0.640	0.791	0.644	0.677	0.557	0.431	0.750
	海南	0.402	0.376	0.485	0.587	0.541	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.632	0.729
	福建	0.731	0.759	1.000	0.655	0.606	0.601	0.723	0.645	0.639	0.573	0.587	0.683
	广东	0.637	0.676	0.695	0.646	0.657	0.482	0.518	1.000	0.504	0.531	0.499	0.622
	河北	0.526	0.465	0.538	0.536	0.546	0.458	0.453	0.418	0.503	0.659	0.570	0.516
山东	0.483	0.474	0.499	0.481	0.444	0.408	0.434	0.358	0.448	0.519	0.457	0.455	
中部地区	黑龙江	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	江西	1.000	0.769	0.844	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.881	1.000	0.837	0.939
	吉林	1.000	0.679	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.400	0.552	1.000	0.560	0.836
	湖南	0.585	0.593	0.633	0.695	0.660	0.727	1.000	1.000	0.712	1.000	0.642	0.750
	河南	0.650	0.795	1.000	1.000	0.796	0.626	0.670	0.523	0.600	0.535	0.509	0.700
	安徽	0.818	0.722	0.771	0.788	0.673	0.525	0.598	0.511	0.529	0.553	0.579	0.642
	湖北	0.554	0.599	0.632	0.707	0.638	0.551	0.582	0.475	0.563	0.761	0.696	0.614
	山西	0.582	0.583	0.550	0.539	0.612	0.480	0.519	0.448	0.498	0.523	0.439	0.525

续表 2

地区	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均值	
西部地区	新疆	0.590	0.482	0.547	1.000	1.000	1.000	0.635	0.661	1.000	1.000	1.000	0.811
	广西	0.561	0.554	0.595	0.750	0.671	0.701	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.803
	重庆	0.684	0.673	0.692	0.683	0.711	0.693	0.739	0.682	0.799	1.000	1.000	0.760
	陕西	0.637	0.671	1.000	0.659	0.666	1.000	1.000	0.614	0.591	0.612	0.654	0.737
	四川	0.589	0.634	0.597	0.700	0.709	0.488	0.549	0.486	0.536	0.558	0.539	0.580
	云南	0.467	0.469	0.484	0.442	0.524	0.480	0.544	0.431	1.000	0.477	0.490	0.528
	宁夏	0.447	0.454	0.485	0.464	0.551	0.555	0.590	0.542	0.541	0.567	0.521	0.520
	内蒙古	0.505	0.537	0.659	0.483	0.516	0.493	0.508	0.436	0.447	0.408	0.372	0.488
	贵州	0.499	0.497	0.485	0.430	0.473	0.445	0.554	0.474	0.459	0.500	0.459	0.480
	青海	0.435	0.467	0.442	0.384	0.479	0.529	0.526	0.390	0.462	0.488	0.446	0.459
甘肃	0.384	0.382	0.453	0.338	0.385	0.441	0.465	0.461	0.490	0.481	0.500	0.435	

(1)北京、天津、黑龙江、上海和浙江的建筑业碳排放效率均值为 1, 这五个地区在 2005—2015 年均处于碳排放投入产出的生产前沿面上, 碳排放效率处于最优水平. 江苏、江西碳排放效率整体较高, 仅有个别年份处于无效状态.

(2)大部分省份处于无效率状态, 其中, 甘肃、山东、青海、贵州、内蒙古的建筑业碳排放效率在 0.5 以下, 宁夏、河北、山西、云南的建筑业碳排放效率均值也较低. 其中, 河北、山东、山西省煤炭、油品等碳排放系数较高的能源消耗比重较大, 造成其碳排放效率较低, 而甘肃、青海、贵州、内蒙古、宁夏、云南等主要处在西部区域, 由于人才和技术的相对匮乏, 其建筑业产值较低, 碳排放效率也较低.

以上分析可以看出各省间碳排放效率差距较大. 为了更加直观地展现各区域建筑业碳排放效率的变化趋势和地区间差异, 本文将 2005—2015 年东、中、西部地区各自的碳排放效率平均值绘制折线图, 见图 2; 并将各省 2005—2015 年碳排放效率的平均值分为效率值有效区、相对高效区, 相对中效区和相对低效区, 得出中国各省碳排放效率空间分布格局, 如图 3 所示.

由图 2、图 3 中各区域效率值的分布及变动趋势可以看出: 中国碳排放效率分布处于非均衡状态, 分布差异较为明显. 从整体上来说, 东部地区建筑业碳排放效率最高且在研究年限内波动不大, 其平均值为 0.787, 北京、天津、上海和浙江等碳排放效率有效区主要分布在东部沿海地区. 中部地区建筑业碳排放效率波动较大, 研究年限内平均值为 0.751, 分别在 2008 年、2009 年、2011 年、2014 年碳排放效率高于东部地区, 其中

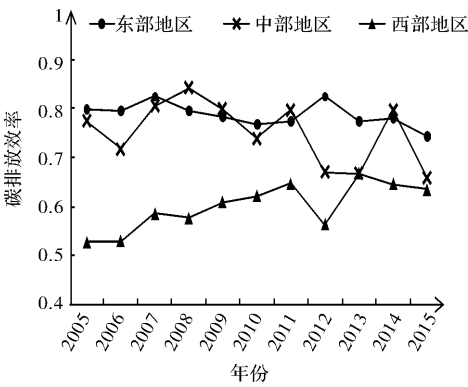


图 2 2005—2015 年三大区域建筑业碳排放效率折线图

Fig. 2 Line charts about the carbon emissions efficiency of three regions in construction industry from 2005 to 2015

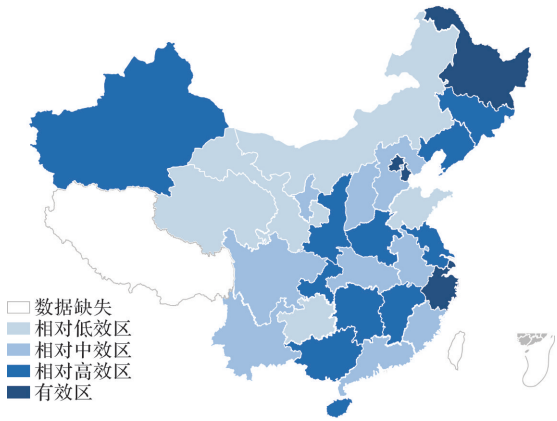


图 3 2005—2015 年中国建筑业碳排放效率空间图

Fig. 3 Spatial graphs of the regional carbon emissions efficiency in construction industry from 2005 to 2015

黑龙江、吉林、江西碳排放效率较高. 西部地区效率值整体偏低, 碳排放效率平均值仅为 0.599, 但其均值除在 2011 年有所下降外其余年份均处在

缓慢上升阶段,甘肃、青海、贵州、内蒙古等相对低效区主要分布在西部地区,但新疆虽处于西部地区,但由于效率同时与规模和技术两个因素相关,因此,其碳排放效率在其自身的规模上相对有效.分析其原因,东部地区对外开放程度较高,经济较为发达,建筑业成熟度较高,生产要素配置合理,特别是天然气、水电等碳排放系数较低的能源消费所占比重较大;而西部地区地处

内陆,人才相对匮乏,科技水平及建筑业水平相对落后,导致其碳排放效率差距较为明显.

2.3 随机性收敛检验

上述研究表明,全国和区域建筑业碳排放量和碳排放效率都存在显著差异.本文参照 Carlino^[18-19] 等关于随机性趋同模型的设定,运用 Eviews8.0 软件,分别对我国建筑业碳排放量和碳排放效率进行随机性收敛检验.结果如表3、4:

表3 建筑业碳排放量随机性收敛检验结果

Tab. 3 Stochastic convergence test results of the carbon emissions in construction industry

区域	Im, Pesaran and Shin W-stat		ADF- Fisher Chi-square		PP- Fisher Chi-square	
	统计量	P 值	统计量	P 值	统计量	P 值
全国	-1.957 77	0.025 1	76.579 9	0.073 2	79.808 1	0.054 6
区域间	-1.506 42	0.066 0	11.610 9	0.071 2	21.643 5	0.001 4
东部	-2.517 71	0.005 9	40.948 1	0.008 4	33.035 2	0.061 4
中部	-4.108 07	0.000 0	43.563 5	0.000 2	40.222 2	0.000 7
西部	-0.802 97	0.211 0	24.711 8	0.311 1	16.546 3	0.787 9

表4 建筑业碳排放效率随机性收敛检验结果

Tab. 4 Stochastic convergence test results of the carbon emissions efficiency in construction industry

区域	Im, Pesaran and Shin W-stat		ADF- Fisher Chi-square		PP- Fisher Chi-square	
	统计量	P 值	统计量	P 值	统计量	P 值
全国	-3.52137	0.000 2	105.142	0.000 3	105.506	0.000 3
区域间	-1.81008	0.035 1	15.405 8	0.017 3	30.152 9	0.000 0
东部	-1.97276	0.024 3	34.377 2	0.045 0	35.227 3	0.036 7
中部	-1.72289	0.042 5	26.767 1	0.044 1	26.913 6	0.042 5
西部	-1.61556	0.053 1	34.554 9	0.043 1	28.421 2	0.162 1

2.3.1 随机性收敛检验结果分析

(1)首先对建筑业碳排放量进行了随机性收敛检验,从表3中可以看出,全国建筑业碳排放量面板数据存在单位根,即不存在随机性收敛,三大区域间建筑业碳排放量也不存在共同的发展趋势;从区域内部而言,东部、中部地区均表现出随机性收敛,且中部地区收敛较为明显,各省市间建筑业碳排放量差异随时间变化保持相对平稳;西部地区不能拒绝原假设,表明西部各地区间建筑业碳排放量在短时间内不趋于同一水平.

(2)对建筑业碳排放效率进行随机性收敛检验,从全国和三大区域间的检验结果可以看出,IPS、ADF-Fisher 和 PP-Fisher 检验均在5%的显著性水平下拒绝原假设,即不存在单位根,也就是说全国和三大区域间建筑业碳排放效率均表现出随机性收敛特征.从区域内部来讲,东部地区

和中部地区的IPS、ADF-Fisher 和 PP-Fisher 检验均在5%的显著性水平下拒绝原假设,即东部地区和中地区建筑业碳排放效率均存在随机趋同,且东部地区较中部地区收敛趋势更为明显.西部地区不能拒绝原假设,认为西部地区建筑业碳排放效率不存在随机性收敛.

2.3.2 建筑业碳排放量和碳排放效率随机性收敛检验结果对比分析

(1)全国和三大区域间建筑业碳排放量不存在随机性收敛,而表现为一种随机性分异的过程;而碳排放效率的差距在不断缩小的过程中,变化趋于平稳.据实际情况推测,全国和三大区域间碳排放量与碳排放效率的收敛结果存在差异,可能是由于三大区域之间自然环境、经济水平和能源结构等多个方面存在明显差异,在短时间内建筑业碳排放量无法趋同;而碳排放效率是综合考

考虑多个指标的结果,随着中西部地区技术的提升和扩散效应,效率较低地区随着时间的推移向高效率地区靠近,各地区的碳排放效率差距不断缩小,最终形成了平稳的变化路径。

(2)对三大区域内部分别进行随机性收敛检验,发现东、中部地区的建筑业碳排放量和碳排放效率都存在随机性收敛,而西部地区均呈发散的状态。究其原因,我国东部和中部发展起步较早,建筑业已较为成熟,发展程度的趋同决定了其碳排放量的收敛,而大量资金技术的投入,推动了建筑业生产环节的碳减排,从整体上提升了这两个区域的碳排放效率,平均效率都比较高,属于高碳排高效率俱乐部;西部地区受发展程度和科技水平的限制,碳排放效率低且各省市之间差异十分明显,个别省份由于发展起步较早且受益于自然条件等因素,建筑业拥有较高的增长速度,而其他区域发展则相对缓慢,因此西部地区的建筑业碳排放量和碳排放效率均呈发散状态。

3 结论

在运用SBM-Undesirable模型测算建筑业碳排放效率的基础上,对全国和三大区域建筑业碳排放量和碳排放效率进行了收敛性分析。具体结论如下:

(1)2005—2015年我国建筑业碳排放量均值整体呈现先上升后下降的趋势,由2005年的2068.074万t标准煤增长至2012年的最大值10807.532万t标准煤,再到2015年下降为6044.384万t标准煤。建筑业碳排放量区域差异较大,呈现东、中、西部逐渐递减趋势,东部地区碳排放量远高于中、西部地区,但西部地区年均增长率最高。

(2)各省间碳排放效率差距明显。其中,北京、天津、黑龙江、上海和浙江的建筑业碳排放效率均值为1,甘肃、山东、青海、贵州、内蒙古的建筑业碳排放效率在0.5以下。从区域上来说,东、中部碳排放效率较高,除个别年份中部地区碳排放效率高于东部外,其余年份东部处于较高水平,西部地区效率值整体偏低,但基本处于缓慢上升阶段。

(3)全国和三大区域间建筑业碳排放量不存在随机性收敛,而碳排放效率均存在随机性收敛,碳排放效率是综合考虑多个指标的结果,随着中西部地区技术的提升和扩散效应,各地区的碳排放效率值逐渐趋于统一;对于三大区域内部来说,

东部和中部地区的碳排放量与效率均存在随机性收敛,而西部地区在两项指标上均不存在收敛,这是由于西部较东部和中部地区发展起步晚,区域内部各省之间发展程度差异明显,资金技术投入也有很大差距,建筑业发展路径不同,难以形成随机性收敛态势。

参考文献 References

- [1] 马晓国,欧阳强. 基于碳排放的建筑业产业结构调整研究[J]. 生态经济,2016(4): 75-79.
MA Xiaoguo, OUYANG Qiang, Research on the adjustment of the structure of the construction industry based on carbon emissions[J]. Ecological Economy, 2016(4): 75-79.
- [2] 祁神军,余洁卿,张云波. 基于SD的公共建筑全寿命周期碳排放特性及敏感性仿真——以夏热冬暖地区为实证[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2016,48(1):101-108.
QI Shenjun, SHE Jieqing, ZHANG Yunbo. Research on life cycle carbon emission and its reduction sensitivity of public building on the basal of system dynamics: a case study in hot summer and warm winter area[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2016,48(1):101-108.
- [3] 吴琦,武春友. 基于DEA的能源效率评价模型研究[J]. 管理科学,2009(1):103-112.
WU Qi, WU Chun you, Research on evaluation model of energy efficiency based on DEA[J]. Journal of Management Sciences,2009(1):103-112.
- [4] TONE, K A. Slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [5] TONE K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure(SBM) approach[R]. GRIPS Japan: The Journal of the Acoustical Society of Japan, 2004.
- [6] 周五七,聂鸣. 中国工业碳排放效率的区域差异研究——基于非参数前沿的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究,2012(9):58-70.
ZHOU Wuqi, NIE Ming, Regional difference in the efficiency of industrial carbon emissions in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2012(9):58-70.
- [7] 吴昊玥,何艳秋,陈柔. 中国农业碳排放绩效评价及随机性收敛研究——基于SBM-Undesirable模型与面板单位根检验[J]. 中国生态农业学报,2017,25(9):

- 1381-1391
- WU Haoyue, HE Yanqiu, CHEN Rou. Assessment of agricultural carbon emission performance and stochastic convergence in China using SBM[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(9): 1381-1391.
- [8] 郭炳南, 卜亚. 人力资本、产业结构与中国碳排放效率——基于SBM与Tobit模型的实证研究[J]. 当代经济管理, 2018, 40: 1-9.
- GUO Bingnan, BU Ya. Human capital, industrial structure and China's carbon emission efficiency—empirical research based on SBM and Tobit model[J]. Contemporary Economic Management, 2018, 40: 1-9.
- [9] 高广阔, 马海娟. 我国碳排放收敛性: 基于面板数据的分位数回归[J]. 统计与决策, 2012(18): 25-28.
- GAO G K, MA H J. China's carbon emissions' convergence: Based on the quantile regression of panel data[J]. Statistics and Decision, 2012, (18): 25-28.
- [10] 赵楠, 王辛睿, 朱文娟. 中国省际能源利用效率收敛性研究[J]. 统计研究, 2015, 3(32): 29-35.
- ZHAO Nan, WANG Xinrui, ZHU Wenjuan. Research on convergence of regional energy efficiency in China[J]. Statistical Research, 2015, 3(32): 29-35.
- [11] EVANS P, KARRAS G. Convergence revisited[J]. Journal of Monetary Economics, 1996, 37(2): 249-265.
- [12] 赵金楼, 李根, 苏屹, 刘家国. 我国能源效率地区差异及收敛性分析——基于随机前沿分析和面板单位根的实证研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(2): 175-184.
- ZHAO Jinlou, LI Gen, SU Yi, LIU Jianguo. Regional difference and convergence analysis of energy efficiency in China: On stochastic frontier analysis and panel unit root[J]. Chinese Journal of Management Science, 2013, 21(2): 175-184.
- [13] 杜克锐, 邹楚沅. 我国碳排放效率地区差异、影响因素及收敛性分析——基于随机前沿模型和面板单位根的实证研究[J]. 浙江社会科学, 2011(11): 32-43.
- DU Kerui, ZOU Chuyuan. Regional disparity, affecting factors and convergence analysis of carbon dioxide emission efficiency in China: On stochastic frontier model and panel unit root[J]. Zhejiang Social Sciences, 2011(11): 32-43.
- [14] 王雪青, 娄香珍, 杨秋波. 中国建筑业能源效率省际差异及其影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 2(2): 56-61.
- WANG Xueqing, LOU Xiangzhen, YANG Qiubo. Inter-provincial difference in energy efficiency of construction industry and its influencing factors in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 2(2): 56-61.
- [15] 冯博, 王雪青, 刘炳胜. 考虑碳排放的中国建筑业能源效率省际差异分析[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1256-1266.
- FENG Bo, WANG Xueqing, LIU Bingsheng. Provincial variation in energy efficiency across China's construction industry with carbon emission[J]. Resources Science, 2014, 36(6): 1256-1266.
- [16] 陈钢, 祁神军, 张云波等. 三阶段DEA的区域建筑业碳排放效率评价[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2016, 37(5): 564-569.
- CHEN Gang, QI Shenjun, ZHANG Yunbo, et al. Study of carbon emission efficiency of construction industry based on three-stage data envelope analysis[J]. Journal of Huaqiao University(Natural Science), 2016, 37(5): 564-569.
- [17] 张智慧, 刘睿劼. 基于投入产出分析的建筑业碳排放核算[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2013, 53(1): 53-57.
- ZHANG Zhihui, LIU Ruijie. Carbon emissions in the construction sector based on input-output analyses[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2013, 53(1): 53-57.

(编辑 沈 波)