

基于技术进步的建筑业碳排放回弹效应测度

闻 莉

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年7月22日; 录用日期: 2023年9月19日; 发布日期: 2023年9月27日

摘 要

在双碳背景下, 促进建筑业能源碳减排成为亟待解决的问题, 但当前建筑业能源碳排放的研究较少, 尤其是作为重要的生产力要素的技术进步对建筑业能源碳排放的影响尚不明确。文章在运用DEA-Malmquist指数法测算建筑业全要素生产率的基础上, 对建筑业2002~2019年基于技术进步碳排放回弹效应进行测度。结果表明: 2002~2019年建筑业碳排放回弹效应整体表现为部分回弹效应, 其中2014~2019年回弹现象相较之前更为明显, 说明了建筑业碳排放回弹现象应引起重视, 建筑业减排工作仍具有较大提升空间。鉴于此, 为实现技术进步和建筑业碳减排双重目标, 应制定合理碳减排政策, 以降低技术进步对建筑业能源碳排放的回弹效应。

关键词

技术进步, 建筑业, 碳排放, 能源回弹效应, 测度

Measurement of the Rebound Effect of Carbon Emissions in the Construction Industry Based on Technological Progress

Li Wen

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Jul. 22nd, 2023; accepted: Sep. 19th, 2023; published: Sep. 27th, 2023

Abstract

In the context of dual carbon, promoting energy carbon emission reduction in the construction industry has become an urgent problem to be solved. However, there are few studies on energy carbon emissions in the construction industry, especially the impact of technological progress as

an important productivity factor on energy carbon emissions in the construction industry is unclear. On the basis of using the DEA-Malmquist index method to measure the total factor productivity of the construction industry, this paper measures the carbon emission rebound effect of the construction industry based on technological progress from 2002 to 2019. The results show that the rebound effect of carbon emissions in the construction industry from 2002 to 2019 is a partial rebound effect, and the rebound phenomenon from 2014 to 2019 is more obvious than before. This indicates that the rebound phenomenon of carbon emissions in the construction industry should be paid attention to. There is still a lot of room for improvement in the emission reduction work of the construction industry. In view of this, in order to achieve the dual goals of technological progress and carbon emission reduction in the construction industry, reasonable carbon emission reduction policies should be formulated to reduce the rebound effect of technological progress on energy carbon emissions in the construction industry.

Keywords

Technological Progress, Construction Industry, Carbon Emissions, Energy Rebound Effect, Measure

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2020年中国“双碳”目标的提出不仅为中国绿色低碳转型指明了前进方向，也为推进全球气候治理注入了新动能。作为碳排放领域的重点，建筑业碳排放一直颇受关注。目前，中国建筑行业面临碳排放总量大、用能技术和效率低等问题，在实现“碳达峰、碳中和”目标要求下实现可持续发展仍面临较大压力。考虑建材生产、运输等建筑上下游产业，中国建筑领域年碳排放占总碳排放比例超过40%，因此，建筑业碳排放作为中国碳排放的重要组成部分，其减排工作的重要性不容忽视，解决建筑业碳排放问题急不可待[1]。

能源消费是碳排放的主要来源[2]。现有关于能源碳排放的研究大多从国家总体层面考虑，如彭希哲等人基于扩展的Kaya恒等式建立因素分解模型，应用LMDI分解方法对中国1980年~2007年的能源消费碳排放进行因素分解，探讨了其主要影响因素的作用机理并量化了其贡献率[3]。卢忠宝等人采用“两阶段”LMDI方法，将能源消费产生的二氧化碳排放相关影响因素进行分解，再引入能源强度进行再次分解，并划分出不同时期，分析了中国碳排放周期性波动的特征[4]。彭佳雯等人通过构建经济与能源碳排放脱钩分析模型，探讨了中国经济增长与能源碳排放的脱钩关系及程度，分析了二者脱钩发展的时间和空间演变趋势[5]。而建筑业能源碳排放的研究比较少，但建筑业的能源减排工作应有其特殊性，且建筑业能源碳排放作为中国能源碳排放的重要组成部分，其减排问题不容忽视。

此外，近年来，关于碳排放回弹效应的研究越来越多，如：田云等人构建了技术进步背景下农业能源碳排放回弹效应模型[6]。郭庆宾等人对长江经济带2003~2017年基于技术进步的碳排放回弹效应进行了定量测度[7]。而未有研究从建筑业碳排放回弹效应的角度出发，技术作为重要的生产力要素，其进步在提高建筑业能源效率的同时是否会引发能源需求增加，从而存在能源回弹效应，还尚未可知。

综上，本文将从技术进步对建筑业能源碳排放的影响角度入手，通过纳入能源回弹效应分析技术进步对建筑业能源碳排放的影响，并获得相关启示，以为降低建筑业能源碳排放提供理论参考与实践指导。

2. 作用路径和假设提出

技术进步有广义和狭义两类,狭义技术进步仅指科技进步(如新技术的采用或新产品的发明),广义技术进步除了包括科技进步外,还包括管理进步(如管理效率的提高和生产经验的积累)、资源配置效率提高、知识进步(如组建和管理大企业的能力以及知识)等“软”技术进步[8]。本文主要考察广义技术进步,对于建筑业来说,广义技术进步包含了清洁能源技术、设计测量技术(BIM、GIS 等)、施工运维技术(大数据、人工智能、智能机器人等)等科技创新技术,以及资源合理配置能力(投入要素的整合及分配等)、管理进步(管理方法创新、管理工具创新、生产经验积累等)和知识进步(管理理论学习和创新等)等软技术。基于技术进步的建筑业碳排放回弹效应路径分析如下图 1。

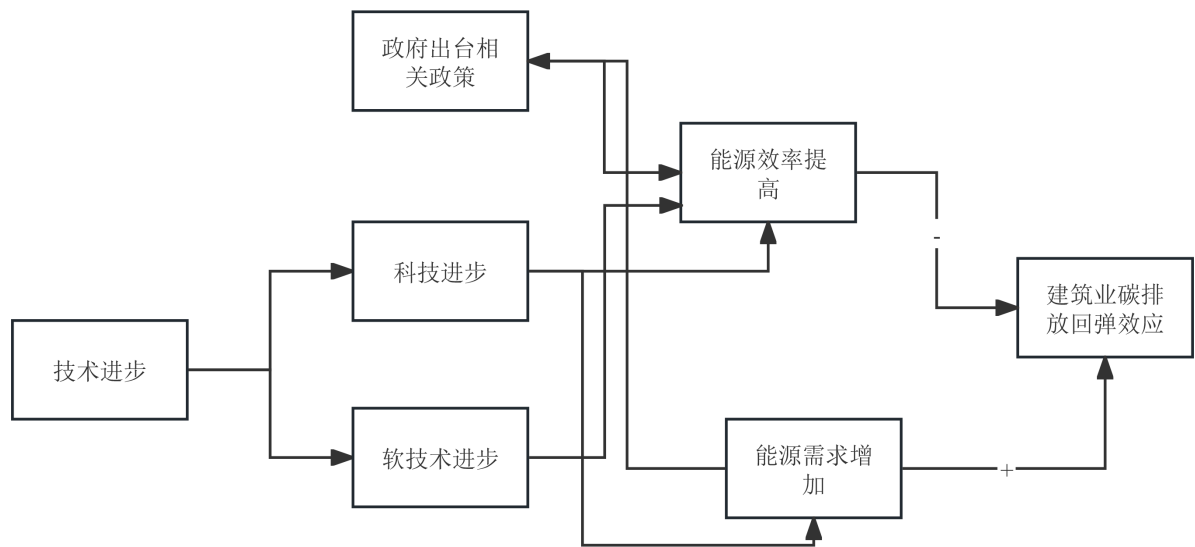


Figure 1. Carbon emission rebound effect path of construction industry based on technological progress
图 1. 基于技术进步的建筑业碳排放回弹效应路径

技术进步会带来建筑业能源效率的提高,从而影响建筑业能源碳排放量,但与此同时,技术进步又会增加建筑业对能源的需求,而需求的上升又会带来建筑业能源碳排放量的增加。因此,本文引入能源回弹效应,来分析技术进步对建筑业能源碳排放的影响。在此过程中,相关的节能政策也会对提高能源效率带来影响,相关研究已有证明,比如美国学者 Jacobsen (2000)认为,在分析长期能源需求时,必须要分析同一时期技术进步和相关政策措施对能源消费的影响[9]。因此,在分析能源回弹效应的结果时,本文纳入相关政策这一考虑因素。总体而言,技术进步通过能源回弹效应会对建筑业能源碳排放带来一定影响。

据上述作用路径分析,提出研究假设如下:

技术进步在促进建筑业能源碳减排的同时会促进建筑业能源需求的增加,从而造成建筑业碳排放的回弹效应。

3. 回弹效应测度

3.1. 数据来源

鉴于数据的可得性,本文以 2002~2019 年中国 31 省市(不包括港澳台)相关数据作为研究样本,测度基于技术进步的建筑业碳排放回弹效应。数据来源为《中国统计年鉴》《中国建筑业统计年鉴》《中国

能源统计年鉴》。

(1) 产出(Y): 取 2002~2019 年的建筑业总产值作为指标, 单位为亿元, 为消除价格变动影响, 以 2000 年不变价进行计算。

(2) 资本投入(K): 以 2002~2019 年的建筑业企业总资产作为指标, 总资产包括固定资产、流动资产和在建工程, 其中 2005、2013 年的数据来自《中国建筑业统计年鉴》, 其余数据来自《中国统计年鉴》, 同样以 2000 年不变价进行计算。

(3) 劳动投入(L): 本文采用 2002~2019 年的各地区建筑业从业人数作为劳动投入数据。

(4) 碳排放数据: 由于官方没有公布具体的碳排放数据, 本文根据建筑施工等阶段所需能源, 为方便计算, 选取了电力、柴油、煤炭、汽油、燃料油 5 种建筑业中使用较多的能源, 根据其碳排放系数及其 2002~2019 年在建筑业中的消费量测算了碳排放量。(说明: 碳排放系数采用 IPCC 碳排放计算指南缺省值[10], 碳排放量 = 折标准煤系数*IPCC 碳排放系数*建筑业中该能源各年消费量, 折标准煤系数来自《中国能源统计年鉴》。其中, 标准煤的碳排放系数: 国家发改委能源研究所推荐值为 0.67, 日本能源经济研究所参考值为 0.68, 美国能源部能源信息署参考值为 0.69。因此本文按照 1 kg 标准煤的“碳排放系数”为 0.68 进行计算; 电力的碳排放系数以 0.272 kgC/千瓦时计算。)

数据描述性统计结果如表 1。

Table 1. Descriptive statistical results of the rebound effect of carbon emissions in the construction industry
表 1. 建筑业碳排放回弹效应描述性统计结果

变量	样本数	最大值	最小值	中位数	平均值	标准差
产出(亿元)	558	21441.18	22.02	1578.43	2755.72	3378.04
资本投入(亿元)	558	72361.94	31.03	1424.39	2608.31	4111.94
劳动投入(人)	558	8110275	23000	748025	1213529	1422895
碳排放量(万吨碳)	18	402.37	115.68	263.45	254.20	94.32

3.2. 模型构建

技术进步的衡量一直是经济学界的难题, 在没有更好替代方法的前提下, 经济学界普遍使用全要素生产率(Total Factor Productivity)来代表技术进步(Solow, 1956; Denison, 1967) [11]。目前关于技术进步的研究越来越多, 在计量方法上, Caves 等(1982)首先将曼奎斯特指数(Malmquist Index, 1953)应用于生产率变化的测算, 此后与 Charnes 等(1978)建立的 DEA 理论相结合, 在生产率测算中的应用日益广泛。目前的研究普遍采用 Fare 等(1994)构建的基于非参数的 DEA-Malmquist 指数[12]。

3.2.1. DEA-Malmquist 生产率指数法

本文采用 Fare 等(1994)构建的基于非参数的 DEA-Malmquist 指数, 以每个省份为一个决策单元, 衡量中国建筑业全要素生产率。

以 t 表示年, $CTFP$ 表示建筑业全要素生产率, $GCTFP$ 表示建筑业全要素生产率增长率, GY 表示经济(产出)增长率, Y 表示产出, 投入向量为 x , 产出向量为 u , (x^t, u^t) 在第 t 期和第 $t+1$ 期的距离函数分别为 $D_t(x^t, u^t)$, $D_{t+1}(x^t, u^t)$ 。

对于 t 时期, Malmquist 生产率指数由下式给出: $M_t = \frac{D_t(x^{t+1}, u^{t+1})}{D^t(x^t, u^t)}$, 同理可得第 $t+1$ 年的 Malmquist

生产率指数。

Malmquist $CTFP$ 指数为 t 时期与 $t+1$ 时期指数的几何平均值： $CTFP_t = \sqrt{M_t \times M_{t+1}}$

第 $t+1$ 年建筑业全要素生产率增长率为： $GCTFP_{t+1} = \frac{CTFP_{t+1} - CTFP_t}{CTFP_t} \times 100\%$

第 $t+1$ 年建筑业经济增长率为： $GY_{t+1} = \frac{Y_{t+1} - Y_t}{Y_t} \times 100\%$

则第 $t+1$ 年技术进步对建筑业经济增长的贡献率为： $\sigma_{t+1} = \frac{GCTFP_{t+1}}{GY_{t+1}} \times 100\%$

3.2.2. 基于技术进步的建筑业碳排放回弹效应模型构建

首先，理论公式：

$$\text{回弹效应：} RE = \text{回弹消费/预期节约} \times 100\% = \frac{E_2 - E_1}{E_0 - E_1} \times 100\% = 1 - \frac{E_0 - E_2}{E_0 - E_1} \times 100\%$$

其次，基于技术进步的建筑业碳排放回弹效应：

以 t 表示年， CI 表示建筑业碳排放强度， CE 表示建筑业碳排放量， Y 表示建筑业生产总值， CER 表示建筑业碳排放减少量，则 $CE_t = CI_t \cdot Y_t$ 。

$$\text{预期节约} = CER = Y_{t+1} \times (CI_t - CI_{t+1})$$

由于技术进步会带来建筑业经济增长，以 δ 表示技术进步带来的建筑业经济增长贡献率，则回弹消费 $= RC = \delta_{t+1} \times (Y_{t+1} - Y_t) \times CI_{t+1}$ 。

$$\text{因此，建筑业碳排放回弹效应 } RE = RC / CER \times 100\% = \frac{\delta_{t+1} \times (Y_{t+1} - Y_t) \times CI_{t+1}}{Y_{t+1} \times (CI_t - CI_{t+1})}$$

根据计算结果，可以对回弹效应的结果分析如表 2。

Table 2. Rebound effect analysis method

表 2. 回弹效应分析方法

RE	名称	表现	解释
>1	回火效应	能源效率的提高，反而使得建筑业对碳的消费增加，导致碳排放量上升。	对预期的能源效率提高使得建筑业碳排放量降低造成了反效果。
=1	完全回弹效应	由于能源效率的提高，建筑业碳排放新增量与节约的碳排放量抵消。	建筑业碳排放量没有因为能源效率的提高而发生变化，这也代表了相关政策的无效性。
<1	部分回弹效应	由于能源效率的提高，建筑业碳排放新增量小于节约的碳排放量。	相关节能政策起到了一定作用，建筑业碳排放量相比之前有所下降。
=0	零回弹效应	建筑业碳消费需求没有增加，而节约的碳排放量达到了预期的效果。	节能政策起到了很大的作用。
<0	过度储存效应	能源效率的提高，不仅使得建筑业碳排放量降低了，并且也使得建筑业对碳的消费需求降低了。	技术进步对建筑业碳减排的效果显著，且节能政策取得了非常大的效果，是一种理想的状态。

3.2.3. 结果分析

本文不考虑曼奎斯特指数的分解。数据处理采用 DEAP2.1 软件进行处理，运行结果如表 3。

Table 3. DEAP running results
表 3. DEAP 运行结果

year	effch	techch	pech	sech	tfpch
2002	0.956	1.092	0.980	0.975	1.044
2003	0.988	1.111	1.005	0.983	1.097
2004	1.028	1.077	1.015	1.013	1.107
2005	1.049	1.026	1.040	1.009	1.077
2006	1.047	1.041	1.055	0.992	1.089
2007	1.050	1.044	1.023	1.026	1.097
2008	0.992	1.045	1.016	0.976	1.037
2009	1.001	1.103	1.015	0.987	1.104
2010	1.078	1.005	1.044	1.032	1.084
2011	0.943	1.133	0.977	0.965	1.069
2012	0.996	0.980	1.009	0.987	0.976
2013	1.006	0.981	0.985	1.021	0.987
2014	1.007	1.041	1.013	0.994	1.048
2015	1.012	0.874	1.002	1.010	0.885
2016	1.037	0.960	1.005	1.032	0.996
2017	1.012	0.980	0.998	1.014	0.992
2018	0.881	1.104	0.929	0.949	0.972
2019	1.010	1.022	1.019	0.991	1.032

根据 DEAP 运行结果，相关指标运算结果如表 4。

Table 4. Results of related indicators
表 4. 相关指标运算结果

year	CTFP	GCTFP	GY	σ	Y
2002	1.070172	0.007373	0.216043	0.034129	18548.59
2003	1.101989	0.02973	0.231005	0.1287	22833.41
2004	1.091897	-0.00916	0.210178	-0.04357	27632.48
2005	1.082983	-0.00816	0.169414	-0.04819	32313.82
2006	1.092993	0.009242	0.184963	0.049968	38290.69
2007	1.066578	-0.02417	0.172077	-0.14044	44879.63
2008	1.069976	0.003185	0.147607	0.021581	51504.19
2009	1.093954	0.02241	0.246811	0.0908	64215.98
2010	1.076474	-0.01598	0.210349	-0.07596	77723.72
2011	1.021442	-0.05112	0.156509	-0.32664	89888.21
2012	0.981485	-0.03912	0.1425	-0.27452	102697.3
2013	1.017043	0.036229	0.131602	0.275292	116212.5
2014	0.963058	-0.05308	0.08749	-0.60671	126379.8
2015	0.938861	-0.02512	0.008773	-2.86393	127488.5
2016	0.993998	0.058728	0.049843	1.178251	133842.9
2017	0.981949	-0.01212	0.087876	-0.13794	145604.5
2018	1.001551	0.019962	0.076206	0.261948	156700.5
2019	1.045906	0.044287	0.02703	1.638427	160936.1

2002~2019 年 31 个省建筑业碳排放碳节约量、碳回弹量和碳排放回弹效应如表 5。

Table 5. Results of rebound effect of carbon emissions in the construction industry
表 5. 建筑业碳排放回弹效应结果

年份	碳节约量(亿 kgC)	碳回弹量(亿 kgC)	碳排放回弹效应
2002	13.44	0.70	0.05
2003	16.08	3.05	0.19
2004	8.18	-1.09	-0.13
2005	15.91	-1.07	-0.07
2006	15.20	1.30	0.09
2007	17.59	-3.66	-0.21
2002~2007	86.40	-0.77	-0.01
2008	11.39	0.53	0.05
2009	23.78	3.88	0.16
2010	13.73	-3.27	-0.24
2011	7.30	-12.34	-1.69
2012	31.80	-9.83	-0.31
2013	6.26	10.20	1.63
2008~2013	94.26	-10.82	-0.11
2014	9.63	-16.45	-1.71
2015	4.20	-8.36	-1.99
2016	11.68	19.06	1.63
2017	12.48	-3.99	-0.32
2018	8.97	6.98	0.78
2019	-15.63	17.35	-1.11
2014~2019	31.33	14.60	0.47
均值	11.78	0.17	0.014

以五年为一个阶段，将 2002~2019 年 31 个省建筑业碳排放碳节约量、碳回弹量和碳排放回弹效应划分为 2002~2007、2008~2013、2014~2019 三个阶段进行分析。分析结果总结如表 6。

① 从碳节约量来看，除 2019 年碳节约量为负数外，每年碳节约量大致稳定在 4 亿 kgC~32 亿 kgC 之间。2002~2007 年碳节约量为 86.4 亿 kgC，2008~2013 年碳节约量为 94.26 亿 kgC，2014~2019 年碳节约量为 31.33 亿 kgC。2014~2019 年碳节约量相比前两个阶段有所下降，说明建筑业近些年碳排放的减排工作效果并不好，仍有非常大的努力空间。其中 2012 年碳节约量格外显著，原因可能是 2011 年 9 月国务院印发《“十二五”节能减排综合性工作方案》，使得各行业节能减排意识提升。而 2019 年的碳节约量呈负数，可能是因为 2019 年道路、铁路、公路运输建设投资的增加促进了基建投资的复苏，从而导致建筑业能源需求的增加，造成了建筑业碳排放量的增加。

② 从碳回弹量来看，2002~2019 年间碳回弹量有九年成正值，存在回弹现象。分阶段而言，2002~2007、2008~2013 年的建筑业碳排放回弹量为负值，而 2014~2019 年的碳回弹量为正值。说明在技术进步对建筑业碳排放的影响过程中，技术进步造成了建筑业能源需求的增加，从而导致了回弹现象的出现，特别是近几年碳回弹量较为明显。这说明了在建筑业碳排放的减排工作中，需要更多地关注回弹

现象，尽可能减少回弹现象的出现。

③ 从回弹效应来看，2002~2019 年建筑业碳排放回弹效应整体表现为部分回弹效应，其中有 2 年呈回火效应，6 年呈部分回弹效应，且 2019 年碳节约量为负值，碳回弹量为正值。分阶段来看，2002~2007、2008~2013 两阶段碳排放回弹效应表现为过度储存效应，而 2014~2019 年表现为部分回弹效应。这说明了近几年来，建筑业碳排放回弹现象开始出现，相较前些年而言，近年来中国的相关节能政策没有发挥出理想的效果，说明了在新的时代背景下，建筑业碳排放的减排工作仍具有非常大的提升空间，需要与时俱进地根据外部环境的变化调整相应的减排政策，以防止回弹现象的出现。

Table 6. Summary of the rebound effect of carbon emissions in the construction industry
表 6. 建筑业碳排放回弹效应分析总结

阶段	名称	表现	解释
2002~2007	过度储存效应	能源效率的提高，不仅使得建筑业直接碳排放量降低了，也使得建筑业对碳的消费需求降低了。	技术进步对建筑业碳减排的效果显著，且节能政策取得了非常大的效果，达到理想状态。
2008~2013	过度储存效应	能源效率的提高，不仅使得建筑业直接碳排放量降低了，也使得建筑业对碳的消费需求降低了。	技术进步对建筑业碳减排的效果显著，且节能政策取得了非常大的效果，达到理想状态。
2014~2019	部分回弹效应	由于能源效率的提高，建筑业碳排放新增量小于节约的碳排放量。	相关节能政策起到了一定作用，建筑业碳排放量相比之前有所下降。

综上所述，在技术进步对建筑业碳排放的影响过程中，有部分年份存在明显的回弹效应，尤其是近几年来，回弹效应的出现应引起关注。在依赖技术进步减少建筑业碳排放的过程中，不应忽视回弹现象，政府应加大力度完善保障其相关节能减排政策的实施，与时俱进地调整相关政策，以确保建筑业的节能减排工作顺利进行。

4. 结论与启示

4.1. 结论

本文分析了基于技术进步的建筑业碳排放回弹效应路径，并对 2002~2019 年中国 31 个省市的建筑业碳排放回弹效应进行了测度，得出结论如下：

2002~2019 年建筑业碳排放回弹效应整体表现为部分回弹效应，其中 2014~2019 年回弹现象相较之前更为明显。这说明了在技术进步对建筑业碳排放的影响过程中，回弹现象仍然存在，尤其是近几年来，回弹现象的出现应引起重视。结果证实了研究假设，技术进步在促进建筑业能源碳减排的同时会促进建筑业能源需求的增加，从而造成建筑业碳排放的回弹效应。技术进步通过提高能源效率来促进建筑业碳排放的减排，但在此过程中，由于技术进步造成的能源需求的增加会使得回弹现象的出现，因此需要有相关的节能政策来保障建筑业碳排放的减排，具体可以表现为鼓励和促使建筑企业减少传统非清洁能源的使用，转向使用清洁能源，以促进建筑业碳排放的减排。

本研究通过基于技术进步的建筑业碳排放回弹效应测度，证实了建筑业碳排放回弹现象的存在，尤其是近几年部分回弹效应的出现说明相关节能政策发挥的作用还不够理想，需要与时俱进地调整相应政策，以保障建筑业的碳减排工作，研究为后续的建筑业碳减排工作带来了启示。由于技术进步对建筑业碳排放的影响具有多向性，本研究仅考虑了回弹效应层面的因素，后续研究还可从空间维度进行考虑，考察技术进步对建筑业碳排放是否具有空间溢出效应。

4.2. 启示

从上述结论可以看出, 要想实现技术进步和建筑业碳排放减排双重目标, 以降低技术进步对建筑业碳排放的回弹效应, 促进建筑业能源碳排放的有效减排, 实现建筑业绿色低碳发展, 需要政府和建筑企业共同重视相关的减排工作。

(1) 应多加强相关节能技术的研发, 以提高建筑业能源效率, 还应多学习和实践先进的知识和管理经验, 以帮助和促进建筑业能源碳排放的减排。

(2) 不可只一味发展技术而忽视了技术进步可能激发建筑业能源需求的增加, 政府应与时俱进地调整相关节能减排政策并保障其实施, 具体可以表现在鼓励或强制建筑企业使用清洁能源, 惩罚建筑企业使用传统非清洁能源的行为, 以此来抑制回弹现象的出现。

(3) 严格控制建筑业碳排放的指标, 建筑企业应加强对碳减排的责任感, 相关监管部门和组织应加强对建筑业碳排放的监管, 完善碳排放信息披露机制, 使建筑业碳排放信息公开透明。

(4) 尽快推进完善建筑业碳交易机制, 发挥碳交易试点城市的引领示范和辐射带动作用, 尽快推动建筑业碳交易机制全国性发展, 同时也要重视其他地区碳交易机制的引进、吸收和消化, 形成具有各地特色的因地制宜的建筑业碳交易机制, 为建筑业的能源碳减排带来积极的影响。

(5) 提升建筑企业技术利用效率, 加大人力资本投入力度, 政府应积极引导建筑企业科学合理地使用技术, 对于相对落后的中西部地区, 政府企业要充分利用自身的特殊地位和资源, 积极向相对发达地区学习新技术, 提高人力资本积累, 从而提高技术利用效率。

基金项目

上海市 2023 年度“科技创新行动计划”软科学重点主题项目(23692109200)——数字化转型战略下建筑业产业链与创新链深度融合机制与对策研究。

参考文献

- [1] 李张怡, 刘金硕. 双碳目标下绿色建筑发展和对策研究[J]. 西南金融, 2021(10): 55-66.
- [2] 徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析: 1995-2004 [J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 158-161.
- [3] 朱勤, 彭希哲, 陆志明, 等. 中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析[J]. 资源科学, 2009, 31(12): 2072-2079.
- [4] 宋德勇, 卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(3): 18-24.
- [5] 彭佳雯, 黄贤金, 钟太洋, 等. 中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 626-633.
- [6] 田云, 尹恣昊. 技术进步促进了农业能源碳减排吗?——基于回弹效应与空间溢出效应的检验[J]. 改革, 2021(12): 45-58.
- [7] 郭庆宾, 骆康, 杨婉蓉. 基于技术进步的长江经济带碳排放回弹效应测度[J]. 统计与决策, 2020, 36(19): 115-117.
- [8] 傅元海, 林剑威. FDI 和 OFDI 的互动机制与经济增长质量提升——基于狭义技术进步效应和资源配置效应的分析[J]. 中国软科学, 2021(2): 133-150.
- [9] Jacobsen, H.K. (2000) Technology Diffusion in Energy-Economy Models: The Case of Danish Vintage Models. *The Energy Journal*, 21, 43-72. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol21-No1-2>
- [10] IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- [11] Solow, R.M. (1956) A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- [12] 李廉水, 周勇. 技术进步能提高能源效率吗?——基于中国工业部门的实证检验[J]. 管理世界, 2006(10): 82-89.