

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2019.12.024

城镇居民用电直接回弹效应分析 ——考虑局部和全局空间溢出效应

石建华, 韩颖, 寇坡

(东北大学工商管理学院, 辽宁沈阳 110169)

摘 要: 为探究直接回弹效应的空间溢出效应与区域差异, 基于空间计量方法, 改进直接回弹效应测算模型, 并利用中国城镇居民电力消费空间面板数据进行实证分析. 研究发现, 中国城镇居民用电直接回弹效应存在显著的空间溢出效应, 忽略空间溢出效应会混淆本地区 and 相邻地区能效提高对本地区城镇居民电力消费的影响; 局部空间溢出效应与全局空间溢出效应迥异, 为充分发挥能效政策潜力, 政府应关注能效政策的作用范围; 城镇居民用电直接回弹效应及其空间溢出效应在东、中、西部地区差异较小, 在区域层面具有稳健性.

关 键 词: 能源效率; 直接回弹效应; 空间溢出效应; 价格分解; 空间计量

中图分类号: F 062.4 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2019)12-1800-05

Analysis on the Direct Rebound Effect of Urban Residents' Electricity Consumption

—Considering Local and Global Spatial Spillover Effects

SHI Jian-hua, HAN Ying, KOU Po

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: HAN Ying, E-mail: hanying139@163.com)

Abstract: In order to explore the spatial spillover effect and regional differences of direct rebound effect, the measurement model of direct rebound effect has been improved based on the spatial measurement method, and the empirical analysis has been conducted on the basis of spatial panel data of Chinese urban residents' electricity consumption. It is found that there is a significant spatial spillover effect in the direct rebound effect. Ignoring the spatial spillover effect will confuse the impact of energy efficiency improvement in urban residents' power consumption on local and neighboring regions. Owing to the difference between the local and global spillover effect, the government should pay much attention to the scope of the energy efficiency policy to reach its full potential. The direct rebound effect and spatial spillover effect of urban residents' electricity have few differences in the eastern, central and western regions, and they are steady at the regional level.

Key words: energy efficiency; direct rebound effect; spatial spillover effect; price decomposition; spatial econometrics

为减少大气污染及其造成的经济损失, 提高能源效率作为有效和安全的的手段受到了世界范围的广泛关注, 国际能源署 (IEA) 指出, 1990 ~ 2000 年全球能源强度平均每年下降 1.3%, 2000 年以后, 由于新兴经济体经济总量增长较快, 这一比例下降为 0.4%。尽管企业和政府不断激励能源效

率提高, 但是, 提升效率意味着能源有效价格下降, 促使消费者增加额外能源消费, 即诱发直接回弹效应, 其对节能减排的负面作用不容忽视^[1-9]。

中国电力生产仍然以燃煤发电为主, 电力和热力生产排放的二氧化碳在总燃料排放量中高达 50% 以上, 与现阶段经济转型背道而驰。在全部终

端用电量中,居民生活用电量占比较大,并且由于能源替代政策效应,电能替代将进一步扩大居民电力消费.鉴于此,准确考察居民用电直接回弹效应规模与区域差异具有十分重要的现实意义.

王兆华等^[7]测算的中国城镇居民用电直接回弹效应短期为 47%;而 Lin 等^[6]的研究结果表明,由于实际收入水平上升,大量原本受预算约束而不消费能源的低收入群体具备了消费能源的能力,从而产生“边际消费群体”,造成中国居民用电直接回弹效应加重. Berkout 等^[1]和 Greening 等^[9]对直接回弹效应的定义是以上实证研究的基础,这一定义暗含地区间能源消费相互独立的假设.但是,根据“地理学第一定律”,所有事物都与其他事物相关联,较近的事物比较远的事物更关联^[10],尤其是在疆域辽阔的中国,经济发展和能源消费在地理空间上存在明显聚类性质,因此研究居民用电直接回弹效应不能忽视空间溢出效应.溢出效应是一类常见的经济现象,从本质上看,经济活动造成区域之间普遍联系,使得溢出效应的存在成为必然,某地区用电效率改善不仅能够影响本地区居民用电量,还会对相邻地区居民用电量产生影响,使得居民用电直接回弹效应在地区间溢出,已有研究因未考虑居民用电的空间效应(主要指空间依赖性),混淆了直接回弹效应与其空间溢出效应,而无法真实反映居民用电直接回弹效应规模.

本文主要工作:一是改进直接回弹效应测算模型,从而能够区分直接回弹效应与其空间溢出效应;二是考虑到直接回弹效应存在城乡异质性,利用电力消费较大的城镇居民空间面板数据进行实证检验,并将空间溢出效应细分为全局溢出效应与局部溢出效应,从而更准确、更全面地考察城镇居民用电直接回弹效应;三是进一步考察了城镇居民用电直接回弹效应的区域差异性,研究结果为有针对性地抑制城镇居民用电直接回弹效应提供理论依据,对节能减排目标的实现具有重要参考价值.

1 模型构建

居民用电直接回弹效应定义为:居民用电直接回弹效应 = (预期电力节约量 - 实际电力节约量) / 预期电力节约量.虽然上式计算简单,但提高用电效率节约的实际电力往往不可观测,因此实践中,通常使用电力价格弹性作为居民用电直接回弹效应的代理指标^[6-8].此种方法只针对同

一消费者(本地区消费者)对同一能源服务的分析,未考虑不同消费者(相邻地区消费者)对同一能源服务的消费,实际上暗含了不同地区能源消费相互独立的假设.考虑到城镇居民用电存在空间相关性,改进居民用电直接回弹效应的测算方法,在控制其他变量的基础上,建立空间计量模型为

$$Y_t = \lambda WY_t + X_t\beta + WX_t\theta_t + c + u_t, u_t = \delta Wu_t + \varepsilon_t. \quad (1)$$

式中:被解释变量和解释变量均作对数化处理; Y_t 为第 t 年 n 个地区城镇居民电力消费量; W 为 $n \times n$ 维空间权重矩阵; X_t 为第 t 年 n 个地区 k 个解释变量构成的 $n \times k$ 矩阵,包含电力价格、人口数量、人均收入和度日等; WY_t , WX_t 和 $W\mu_t$ 分别为被解释变量之间存在的内生交互效应,解释变量之间存在的外生交互效应与干扰项之间存在的交互效应; c 为 n 个地区的个体效应,根据个体效应可以将模型进一步划分为固定效应模型和随机效应模型.

若 $\lambda \neq 0$,则本地区居民用电效率提高对本地区居民电力消费产生作用后,相邻地区之间居民电力消费还会相互影响,直至达到一个新的均衡,即产生“空间反馈效应”,导致本地区居民用电效率提高不仅诱发本地区产生直接回弹效应,还会诱发相邻地区产生直接回弹效应,同理,相邻地区居民用电效率提高也会诱发本地区产生直接回弹效应.本文将此种效应称为直接回弹效应的全局空间溢出效应.

若 $\theta \neq 0$,则直接回弹效应的空间溢出效应为局部效应.因为该溢出效应仅仅产生于某一地区的近邻的集合.

若 $\lambda \neq 0$ 且 $\theta \neq 0$,则全局空间溢出效应和局部空间溢出效应均会发生,并且无法将两者进行剥离,从而分别计算全局空间溢出效应和局部空间溢出效应.

以空间滞后模型为例,介绍居民用电直接回弹效应及其空间溢出效应的计算方法.定义 $\hat{Y}_t = Y_t - (I - \lambda W)^{-1}c$,则空间滞后固定效应模型中城镇居民用电直接回弹效应的测算方法改进为

$$RE = -\frac{1}{nT} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \frac{\partial E(\hat{Y}_{it} | X_t, W)}{\partial \ln P_{it}}. \quad (2)$$

式中, $E(\hat{Y}_{it} | X_t, W)$ 为 n 维列向量 $E(\hat{Y}_t | X_t, W)$ 中的第 i 个元素.此处计算的直接回弹效应为样本期内 n 个地区 T 期直接回弹效应的平均值,故可称为平均直接回弹效应(RE).

直接回弹效应的全局空间溢出效应计算方

法为

$$\text{SRE} = -\frac{1}{nT(n-1)} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{\partial E(\hat{Y}_{it} | X_t, W)}{\partial \ln P_{jt}} \quad (3)$$

式(3)计算的同样是样本期内 n 个地区全局空间溢出效应的平均值,故可称为平均全局空间溢出效应(SRE)。

限于篇幅,直接回弹效应的局部空间溢出效应以及全局与局部同时存在的空间溢出效应计算方法可参考埃尔霍斯特关于空间计量模型的研究^[11],不再赘述。

2 变量及数据说明

2.1 变量选取

城镇和农村居民用电直接回弹效应存在显著的异质性,将两个群体作为整体研究会造成结果的准确度下降,而城镇居民人均用电量远大于农村居民,因此,本文选取城镇居民电力消费进行实证分析:

1) 城镇居民电力消费(E). 城镇居民电力消费为内生变量,用城镇居民生活用电量衡量。

2) 居民用电价格(P). 居民用电价格为核心解释变量,用居民生活用电平均销售电价衡量。考虑到现实经济中居民用电价格既有上涨部分,也有下降部分,价格上涨和下降对于城镇居民用电需求的影响并非完全可逆,而直接回弹效应主要与价格下降密切相关。为了更准确度量直接回弹效应,将居民用电价格变量分解为三部分^[2]:

$$P_{it} = P_{\max, it} \times P_{\text{rec}, it} \times P_{\text{cut}, it} \quad (4)$$

式中: P_{it} , $P_{\max, it}$, $P_{\text{rec}, it}$ 和 $P_{\text{cut}, it}$ 分别表示第 i 省第 t 年的居民用电实际价格、最大价格、累积增长价格和累积下降价格。计算方法为

$$P_{\max, it} = \max \{ P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{it} \}, \quad (5)$$

$$P_{\text{rec}, it} = \prod_{j=0}^t \max \left\{ 1, \frac{P_{\max, ij-1}/P_{ij-1}}{P_{\max, ij}/P_{ij}} \right\}, \quad (6)$$

$$P_{\text{cut}, it} = \prod_{j=0}^t \min \left\{ 1, \frac{P_{\max, ij-1}/P_{ij-1}}{P_{\max, ij}/P_{ij}} \right\}. \quad (7)$$

进一步将价格分解为上升价格 $P_{\text{inc}, it}$ 和下降价格 $P_{\text{dec}, it}$, 即采用两部分解法^[7], 其中:

$$P_{\text{inc}, it} = P_{\max, it} \times P_{\text{rec}, it}, \quad (8)$$

$$P_{\text{dec}, it} = P_{\max, it} \times P_{\text{cut}, it}. \quad (9)$$

3) 度日(DD). 度日是需要控制的环境因素,指日平均温度与基础温度的实际离差。度日反映了一个地区气候特征,度日大的地区需要更频繁的使用空调等家电设备,生活用电量较大。

4) 城镇居民收入(I). 城镇居民收入是需要控制的经济因素,用城镇居民人均可支配收入衡量。收入是影响居民消费开支的重要因素,2006年以来,城镇居民收入以较快速度增长,由于高收入人群对电力消费容易呈现饱和和倾向,预期城镇居民用电直接回弹效应趋于减弱。

5) 城镇居民人口(POP). 城镇居民人口用城镇居民常住人口数量衡量。显然一个地区人口越多,生活用电量也越大,为准确考察效率引致的城镇居民用电增长量(回弹量),有必要控制人口因素。

6) 空间权重矩阵(W). 最广泛使用的空间权重矩阵为基于地理距离(如相邻)构造的空间权重矩阵。基于经济距离构造的空间权重矩阵也常被用作实证分析,但由于其在解释空间溢出效应时缺乏理论基础而面临诸多质疑,因此,本文选择基于地理距离构造的空间权重矩阵。

2.2 数据来源

本文的样本区间为 2006 ~ 2015 年,包括省级行政单位 29 个。数据来源于《中国能源统计年鉴》(2007 ~ 2016 年),《中国电力年鉴》(2007 ~ 2016 年),《中国统计年鉴》(2007 ~ 2016 年),中国国家统计局网站和 Wind 数据库。其中,居民用电价格与城镇居民收入折算为以 2006 年为基期的不变价格。

3 实证分析

3.1 空间相关性检验

应用空间计量模型前,需要检验地区间城镇居民电力消费是否存在空间依赖性。可以通过莫兰指数判断城镇居民电力消费的全局相关性,篇幅所限,表 1 列出了部分年份城镇居民电力消费莫兰指数的检验结果。

表 1 空间自相关检验结果
Table 1 Spatial autocorrelation test

年份	莫兰指数	Z 值	P 值
2007	0.210	2.186	0.020
2009	0.235	2.366	0.013
2011	0.201	2.058	0.019
2013	0.252	2.471	0.010
2015	0.187	1.999	0.028

表 1 显示,城镇居民电力消费存在显著的空间自相关,且空间相关性为正值,说明整体来看,省份间城镇居民电力消费主要体现为“趋同

效应”。历年莫兰指数符号相同,数值波动较小,说明城镇居民电力消费空间相关模式具有一定稳定性。

3.2 模型估计结果分析

城镇居民电力消费的空间集聚特征表明考察城镇居民用电直接回弹效应不能忽视省份间的空间依赖性。由于所有模型的 Hausman 检验结果均拒绝了随机效应,因此表 2 给出的均是固定效应估计量。首先在嵌套型的空间滞后模型(SLM)、空间误差模型(SEM)与空间自回归模型(SAC)中进行选择。对 SLM 与 SAC 模型进行 LR 检验的统计值为 8.27,在 1% 水平上拒绝了 SLM 模型,说明 SAC 模型较 SLM 模型拟合效果更好。对 SEM 与 SAC 模型进行 LR 检验的统计值为 34.47,在 1% 水平上拒绝了 SEM 模型,说明 SAC 模型较 SEM 模型拟合效果更好。并且,在 SAC 模型中, WE 与 $W\mu$ 的系数均在 1% 水平上显著。以上分析表明,在 SLM,SEM 与 SAC 模型中,SAC

模型是最合适的,下面基于 SAC 固定效应模型估计结果分析城镇居民用电直接回弹效应与其空间溢出效应。

3.3 RE 测算结果分析

根据 SAC 模型估计结果,结合式(2),计算的平均直接回弹效应为 37.00%,表明提高用电效率的确诱发了城镇居民用电直接回弹效应,但该测算值远低于 100%,意味着提高用电效率最终能够减少城镇居民电力消费,只是其中 37% 的预期节约量被抵消,实际只能完成 63% 的预期目标,提高用电效率对于减少城镇居民电力消费发挥了重要作用。表 2 还显示,除电力价格下降外,人口增长、人均收入增加以及度日值增大也会增加城镇居民电力消费。特别是地区间城镇居民电力消费存在相互拉动的作用,政府在评估用电效率对城镇居民电力消费的抑制作用时,需要控制以上因素,否则会高估城镇居民用电直接回弹效应而低估改善效率在节能减排方面的潜力。

表 2 空间计量模型回归结果
Table 2 Regression results of spatial econometric models

变量	SLM 模型	SEM 模型	SAC 模型	SDM 模型
WE	0.275*** (0.000)	—	0.317*** (0.000)	0.237*** (0.000)
$W\mu$	—	-0.070(0.576)	0.363*** (0.004)	—
$W\ln P_{dec}$	—	—	—	0.590** (0.042)
$\ln P_{inc}$	0.464** (0.023)	0.615*** (0.002)	0.526*** (0.002)	0.553*** (0.005)
$\ln P_{dec}$	-0.355* (0.074)	-0.398** (0.040)	-0.363** (0.025)	-0.499** (0.034)
$\ln DD$	0.305*** (0.003)	0.356*** (0.000)	0.326*** (0.000)	0.266*** (0.007)
$\ln POP$	0.691*** (0.000)	0.924*** (0.000)	0.662*** (0.000)	0.689*** (0.000)
$\ln I$	0.541*** (0.000)	0.713*** (0.000)	0.508*** (0.000)	0.533*** (0.000)
对数似然值	285.640	272.542	289.777	287.693
AIC	-557.280	-531.083	-563.555	-559.385
BIC	-531.591	-505.394	-534.196	-530.026

注:括号内数字为显著性水平;***,**, * 分别表示在 1%,5%,10% 的显著性水平上显著。

3.4 SRE 测算结果分析

在 SAC 模型中,城镇居民用电直接回弹效应的空间溢出效应为全局效应,结合式(3)测算得出该全局空间溢出效应为 13.30%,即相邻地区用电效率提高导致电力有效价格每下降 1%,引起本地区城镇居民电力消费增加 0.133%。以上分析表明,若不考虑城镇居民电力消费的空间依赖性,会混淆城镇居民用电直接回弹效应与其空间溢出效应,从而无法真实反映居民用电直接回弹效应规模。由于存在空间溢出效应,某一地区节能目标的实现一定程度上依赖于周边地区能效政

策的实施效果,相较于局部地区单独抑制直接回弹效应,地区间协同抑制能够更有效地节约能源。此外,政府应通过诸如增强居民对直接回弹效应的认知,提高居民节能意识等措施来抑制本地区直接回弹效应,以更好实现预期节能目标。

进一步分析局部性的空间溢出效应。在 SDM 模型中,全局性和局部性的空间溢出效应同时存在,根据表 2 中 SDM 模型的估计结果,外生交互效应的估计结果为 -50.40%,表明某一地区近邻提高用电效率会对本地区城镇居民用电量起到抑制作用,与空间滞后模型中的 SRE 方向相反。在

SDM 模型中,城镇居民用电直接回弹效应与其空间溢出效应分别为 49.07% 和 -50.46%。上述结果表明,全局性和局部性的空间溢出效应具有显著差异,政府在制定能效政策时尤其要重视其影响的空间范围。

3.5 稳健性检验

考虑到中国地区发展不平衡,东、中、西部地区城镇居民用电直接回弹效应可能存在异质性,考察城镇居民用电直接回弹效应及其空间溢出效应在区域层面是否稳健。根据 AIC 与 BIC 信息准则,在 SLM, SEM, SAC, SDM 四个模型中, SAC 模型是最合适的,以下对 SAC 模型进行稳健性检验。表 3 展示了考虑地区差异的城镇居民用电直接回弹效应及其空间溢出效应测算结果。表 3 显示,东、中、西部地区城镇居民用电直接回弹效应及其空间溢出效应差异较小,说明城镇居民用电直接回弹效应不存在明显的区域异质性。为进一步验证这一结论,对电力价格与区域交互项的显著性进行检验,检验结果在 10% 水平上仍无法拒绝东、中、西部地区居民用电直接回弹效应固定不变的原假设。

表 3 考虑地区差异的城镇居民用电 RE 与 SRE
Table 3 RE and SRE of urban residential power consumption considering regional differences

区域	RE	SRE
东部	33.44%(0.14)	11.17%*(0.06)
中部	47.79%(0.10)	16.65%*(0.06)
西部	35.06%(0.12)	15.17%*(0.08)

注:括号内数字为显著性水平; * 表示在 10% 的显著性水平上显著。

4 结 论

1) 城镇居民用电直接回弹效应在地区间存在空间溢出效应,改进的测算模型能够将测算结果细分为直接回弹效应及其空间溢出效应,从而提高测算结果精度与解释力。

2) 全局性和局部性的空间溢出效应具有显著差异,政府在制定能效政策时尤其要重视其影响的空间范围。

3) 城镇居民用电直接回弹效应及其空间溢

出效应在东、中、西部地区不存在明显的差异,在区域层面具有稳健性。

本文的政策启示主要有:应通过环境规制(如资源税)推动能源价格市场化,减少能源因使用成本较低而被过度消耗的现象,从而抑制直接回弹效应;由于直接回弹效应还存在空间溢出效应,为更有效实现能效政策的预期节能目标,地方政府应注重政策制定与实施的协同性。

参考文献:

- [1] Berkhout P H G, Muskens J C, Velthuisen J W. Defining the rebound effect [J]. *Energy Policy*, 2000, 28 (6/7): 425 - 432.
- [2] Haas R, Biermayr P. The rebound effect for space heating empirical evidence from Austria [J]. *Energy Policy*, 2000, 28 (6/7): 403 - 410.
- [3] Madlener R, Alcott B. Energy rebound and economic growth: a review of the main issues and research needs [J]. *Energy*, 2009, 34 (3): 370 - 376.
- [4] van den Bergh J C J M. Energy conservation more effective with rebound policy [J]. *Environmental & Resource Economics*, 2011, 48 (1): 43 - 58.
- [5] Freire-González J. Evidence of direct and indirect rebound effect in households in EU-27 countries [J]. *Energy Policy*, 2017, 102: 270 - 276.
- [6] Lin B, Liu X. Electricity tariff reform and rebound effect of residential electricity consumption in China [J]. *Energy*, 2013, 59: 240 - 247.
- [7] 王兆华, 卢密林. 基于省际面板数据的中国城镇居民用电直接回弹效应研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34 (7): 1678 - 1686.
(Wang Zhao-hua, Lu Mi-lin. Direct rebound effect of urban residential electricity use: An empirical evidence from China [J]. *System Engineering Theory and Practice*, 2014, 34 (7): 1678 - 1686.)
- [8] Moshiri S, Aliyev K. Rebound effect of efficiency improvement in passenger cars on gasoline consumption in Canada [J]. *Ecological Economics*, 2017, 131: 330 - 341.
- [9] Greening L A, Greene D L, Difiglio C. Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey [J]. *Energy Policy*, 2000, 28 (6/7): 389 - 401.
- [10] 刘明, 赵彦云. 基于投入要素的中国制造业省域空间溢出效应: 测度与实证 [J]. *数理统计与管理*, 2018, 37 (1): 122 - 134.
(Liu Ming, Zhao Yan-yun. Measurement and empirical study of spatial spillover effects of Chinese manufacturing industry based on input factors [J]. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2018, 37 (1): 122 - 134.)
- [11] 埃尔霍斯特 J P. 空间计量经济学: 从横截面数据到空间面板 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2015: 26 - 32.
(Elhorst J P. *Spatial econometrics: from cross section data to spatial panel* [M]. Beijing: China Renmin University Press, 2015: 26 - 32.)