

中国能源消费陷入“杰文斯悖论”了吗

——基于回弹效应的经验分析

王启超

(暨南大学 经济学院, 广东 广州 510632)

摘要: 中国能源消费的回弹效应一直是理论界关注的焦点并且至今尚未形成统一的认识。基于产出最大化的角度,结合阿罗提出的“干中学”理论,利用嵌套产出函数建立内生增长模型,在劳动供给外生、能源效率内生的假设前提下推导得到中国能源消费回弹效应的理论测度模型,并利用中国1952—2015年能源消费、资本存量、真实产出和劳动的时间序列数据实证得出每一时期中国能源消费的回弹值。研究结论表明,短期而言,能源的产出弹性以及学习效应是影响能源回弹值的关键;长期而言,除能源产出弹性和学习效应外,资本和劳动的替代弹性、资本的产出弹性以及资本劳动的联合产出弹性也会影响能源回弹效应。中国的数据表明,1952—2015年期间中国能源消费的平均回弹效应是131.6%,最高达到216.4%,中国能源消费没有走出“杰文斯悖论”,单纯期望改进能源效率减少能源消费的思路是不可行的。长期来看,1952—2015年期间中国能源消费的平均回弹效应是204.7%,最高达到960.6%,期间出现了超级节能和部分节能的情况。中国整体经济范围的能源消费可能走出“杰文斯悖论”,节能潜力比较大,但是不能仅仅依靠改进能源效率减少能源消费,而应该考虑通过资本、人口、产业结构、经济转型等因素来制约回弹效应。2012—2015年由于能源回弹问题得到缓解,实现节能720 272.02万吨标准煤,因此降低能源回弹效应有助于实现“十三五”节能目标。

关键词: 能源消费; 能源回弹效应; 杰文斯悖论; 节能

中图分类号: F062.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-6049(2019)02-0001-11

一、引言

一般分析认为,改进能源效率可以在保持产出不变的情况下减少能源消费,因此,能源效率曾经被看成是除传统四大能源之外的第五类能源。然而,改进能源效率真的可以有效减少能源消费吗?从历史经验来看,三次工业革命发生后能源效率改善,但能源消费边界随之扩张。英国边际学派经济学家杰文斯在分析英国煤炭资源的可持续供应问题时发现,即使考虑到技术进步,能源效率改善也不能减少能源消费。杰文斯的分析引出了能源资源领域的一个重要话题,技术进步引致能源效率改善,但能源消费究竟是走高还是走低的问题变得更为复杂。能源回弹效应的理论发展经历了从“杰文斯悖论”、Khazzoom-Brookes假说再到能源回弹的演进过程。在理论发展的过程中,学者们就能源回弹问题展开了精彩的辩论,比如邵帅和林伯强之间就测度方法问题有过激烈讨论^[1-2]。Du and Lin^[1]指出,近年来估计中国整体经济范围的回弹效应已经越来越受到关注。由此可见,能源回弹现象是一个尚

收稿日期: 2019-02-23; 修回日期: 2019-03-25

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(71362026); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(13YJA790135)

作者简介: 王启超(1991—),男,江西大余人,暨南大学经济学院博士研究生,研究方向为经济发展理论与政策。

无定论的研究问题。

对于中国而言,能源回弹效应会削弱节能政策实施效果,侵蚀经济发展与节能的“双重红利”。如果回弹效应既具有统计显著性也具有经济显著性,那么期望通过改进能源效率实现节能战略目标的思路就不具有可行性,能源消费反而可能陷入“杰文斯悖论”。此时,能源供需缺口将会进一步放大,影响中国经济增长动力的稳定性。

二、能源回弹效应研究进展

已有文献中关于能源回弹效应的研究主要来自《Energy》《Energy Economics》《Energy Policy》《经济研究》《中国人口·资源与环境》。这些文献的主要特点有:(1)已有资料的研究范式经历了从新古典增长理论到内生增长理论的发展过程,早期的研究遵循新古典假设,比如技术外生、规模报酬不变。近年来关于能源回弹问题的研究已经转变为内生增长理论的框架,技术进步不再是外生的而是内生决定,这表现在能源效率内生于理论模型。另外,规模报酬不变的假定也被放松。(2)能源回弹的理论测度方法经历了替代算法、IPAT模型到产出最大化或成本最小化的发展过程,其中替代算法是基于能源回弹效应与技术进步间的逻辑关系建立的间接测度能源回弹效应的灵活方法。(3)用于检验能源回弹效应的实证方法主要包括时变参数状态空间模型、非参数数据包络分析、隐性变量法、多级分层指数分解法等。但本文认为,除了方法上的改进,更应该重视处理好变量之间的交互因果问题以及变量的测度是否准确的问题。

Saunders 是长期致力于研究能源回弹问题的学者之一。Saunders^[3]研究了分析能源回弹问题的一般方法,并总结了四种产出函数和四种成本函数,Saunders^[3]同时指出函数形式的设定会影响最终结果。但事实上 Saunders^[3]最重要的贡献是引入了产出最大化和成本最小化这两种重要的研究视角,虽然在微观经济分析中产出最大化与成本最小化等价,因为两者是对偶问题,但研究视角的创新进一步推动了能源回弹问题的研究。

从产出角度看,Saunders^[3]认为 C-D 生产函数并不满足节能条件,从而不能反映能源回弹效应的各种情形,因此 C-D 生产函数缺乏灵活性,不是一个合适的选择。但邵帅等^[4]认为 C-D 生产函数具有很好的灵活性,应用 C-D 生产函数研究中国能源消费的回弹问题是合适的选择。邵帅等^[4]的研究逻辑严密,其构建的能源回弹理论模型能反映从逆反效应到超级节能的各种情形,结果并不存在 Saunders^[3]所说的局限性。邵帅等^[4]之所以能够突破 Saunders^[3]的研究结论,关键在于他跳出了新古典增长理论的框架转而采用内生增长理论,在模型中能源效率是内生的,并且能源效率会作用于劳动和资本。Saunders^[3]比较推荐的是傅里叶成本函数,但系统梳理已有文献后,不难发现使用傅里叶成本函数甚至从成本的角度研究能源回弹问题的文献非常有限。笔者认为,如果选择从成本的角度展开,那么要素价格(比如能源价格)就是成本函数的一部分,资料搜集有一定的难度。相对而言,从产出的角度来分析能源回弹问题是一种更加具有可操作性的选择,因为这种思路规避了能源价格。这也可以解释为什么关于中国能源回弹问题的研究都不约而同地选择从产出最大化角度入手的现象。

丘海斌^[5]与黄燕文^[6]的研究方法较为类似,区别在于实证研究对象,黄燕文^[6]研究的是中国整体范围的能源回弹效应,而丘海斌^[5]则把研究对象聚焦在中国制造业,并检验了中国制造业能源消费的回弹效应。黄燕文^[6]和丘海斌^[5]都是从产出最大化的角度展开,产出函数是 CES 函数,用资本是否变动来区别长期与短期。黄燕文^[6]和丘海斌^[5]都遵循了 Saunders^[3]的研究思路,并且进一步实现了能源效率的内生化,构建的 CES 函数能反映能源回弹的各种情况,理论模型更加严密。

常见的研究思路是先构建理论模型,在此基础上再做计量检验。虽然在设定理论模型的时候可以从产出的角度展开,也可以从成本的角度展开,但本文认为从产出的角度来分析能源回弹问题是一种更加具有可操作性的选择,这种思路规避了能源价格,而研究过程中不得不考虑中国能源价格非市场性扭曲的现状,并且数据的获取存在困难。周勇和林源源^[7]也由此推断,能源价格的非市场化和数据获取困难可能是导致缺乏这类研究的主要原因。

依据查冬兰和周德群^[8]、杨莉莉和邵帅^[9]对已有实证结果的归纳,采用直接测算的方法所得的结

论比较粗糙,因为直接将能源效率作为回归变量,能源消费作为被解释变量,通过对比能源效率改变后能源消费的变动来计算能源回弹效应数值,这种方法并没有解决内生性偏差问题,并且数据还需要满足严格的假设条件。

与能源回弹效应相关的实证研究在 2005 年以后大量出现。从实证方法来看,主要包括可计算一般均衡的思路和计量实证的方法。本文选取了部分比较有代表性的研究,如表 1 所示。

表 1 能源回弹效应的实证研究

作者	思路	方法	结果
周勇和林源源 ^[7]	替代算法,索洛余值法	岭回归	1979—2004 年中国回弹效应均值为 40.91%,各年差异较大。
王群伟和周德群 ^[10]	替代算法,索洛余值法,同时引入能源效率的产业结构调整变量	对数平均迪氏指数法(LMDI)	1981—2004 年中国能源回弹效应均值为 62.8%。
查冬兰和周德群 ^[8]	一般均衡的思想	CGE 模型	煤炭、石油和电力的加权平均回弹效应分别为 32.17%、33.06% 和 32.28%。
Lin Boqiang and Liu Xia ^[11]	产出的角度	Malmquist 指数方法估计技术进步的贡献率,非参数数据包络分析	1981—2009 年中国能源回弹效应均值为 53.2%。
邵帅等 ^[4]	产出最大化,内生增长模型	时变参数状态空间模型	改革开放前总体为逆反效应,而改革开放期间则为部分回弹。
Shao Shuai <i>et al.</i> ^[12]	IPAT 方程	隐性变量法	中国能源消费的回弹效应显著,1954—2010 年的均值为 39.73%。
胡秋阳 ^[13]	一般均衡的思想	CGE 模型	回弹效应在高能耗的产业上表现明显。
Lin Boqiang <i>et al.</i> ^[14]	产出的角度	多级分层指数分解法、岭回归	1981—2011 年中国能源回弹效应均值为 34.3%。
冯烽 ^[15]	产出的角度	编制能源投入产出可比价序列表	1997—2012 年整体经济的回弹效应值处于 12%~16%。
Lu Yingying <i>et al.</i> ^[16]	一般均衡的思想	CGE 模型	不存在回火效应,电力行业能源回弹效应是负值。
Zhou Meifang <i>et al.</i> ^[17]	一般均衡的思想	CGE 模型	煤炭的回弹效应最小(22%),天然气的回弹效应最大(51.5%)。
Wei Taoyuan and Liu Yang ^[18]	一般均衡的思想	Global CGE 模型	农业回弹效应最高,达到 91%,服务业和制造业回弹效应分别为 84% 左右和 74% 左右。

三、中国能源消费及回弹效应的理论框架

中国能源消费最明显的特征是能源消费总量持续增长,如图 1 所示。一方面,中国经济产出快速增长,在要素驱动型增长情形下,产出增长意味着必须追加要素投入。另一方面,能耗强度持续下降,节能技术取得明显进步。图 1 表明,能源消费呈现持续增长趋势,而能耗强度的变化可以分为两个阶段,1978 年之前能耗强度波浪式上升下降,1978 年之后能源消耗强度持续降低。理论研究发现,中国能源消费增长不仅仅是产出扩张引致能源消费增加,能耗节约型技术进步对能源消费也有较大影响。经济学家更关心的是,节能技术导致的能源回弹效应是不是足够大,以至于超过能源节约部分。因此,探讨中国能源消费是否存在回弹效应,并且科学合理地测度回弹数值将使我们更清晰地理解能源消费增长现象。

理论模型中构建的“干中学”框架是受到中国经济现实特征和已有文献的启示。原因在于,中国经历了由计划经济转向市场经济的转型阶段,资本在产出中的贡献率越来越大,“干中学”的特征更明显。而根据阿罗的“干中学”理论,生产经验的积累对生产效率会产生正向的促进作用。具体来说,就是以能源效率作为指示变量,能源消耗水平越高,能源效率越能得到改进。早期的研究是把能源效率固定在某一历史数值后再考察能源消费量的变化,这种处理方式所得的结果是值得商榷的。杨莉莉和邵帅^[9]阐

明了将能源效率内生处理的必要性,因为能源效率改善是经济发展过程的必要条件,其具有内生性的特征。

本文建立的模型是嵌套模型,具体是资本-劳动束和能源的嵌套函数。相比于CES函数,嵌套产出函数能反映能源E是生产活动的必需投入品,将能源投入设为0,就不会有产出,而只有当能源投入大于0,劳动和资本才能部分替代能源。相比于C-D函数,嵌套产出函数对劳动L和资本K之间的关系约束更宽泛,尽管嵌套产出函数中资本和劳动的替代弹性也是常数,但不一定是单位替代弹性。因此,采用嵌套产出函数作为测度能源回弹效应的函数形式是更加切合现实的选择。^①

(一) 基本假设与产出函数

本文的理论模型基于以下五条假设

展开:(1) 能源效率内生。杨莉莉和邵帅^[9]指出能源效率改善是经济发展过程中的必要过程,从而能源效率具有内生性特征。(2) 要素市场和产品市场完全竞争,并且市场出清。这一假定遵循了Saunders^[3]、周勇和林源源^[7]、黄燕文^[6]、邵帅等^[4]关于市场结构的假定。(3) 产出价格标准化为1单位,此时 P_E 、 P_K 、 P_L 分别代表能源、资本、劳动的真实价格。(4) 能源效率指单要素效率。(5) 劳动外生。嵌套产出函数中K和L具有对称性,为了简化本研究中的数学处理程序,但又能使理论推导结果的误差处于合理且可控的区间。在这一假设下,短期和长期的区别在于资本是否变化。

本文选择从产出最大化的角度研究能源回弹效应,并解释中国能源消费持续增长现象。Saunders^[3]指出产出函数形式的设置会预先决定回弹数值。因此,必须选择符合中国经济特征的函数形式来研究中国能源消费的回弹问题。本文设定的产出模型依据是查尔斯·琼斯^[19]和Hassler *et al.*^[20]。为了使函数能更加契合中国实际,本文对产出函数进行了修正。为了刻画产出、劳动、能源和资本之间的关系,本文设定的产出函数具体形式如下:

$$Y = \{ [\gamma K^\varepsilon + (1 - \gamma) L^\varepsilon]^{\frac{1}{\varepsilon}} \}^\alpha (\tau E)^\beta \quad (1)$$

(1) 式中,Y代表真实产出、K代表资本、L代表劳动、E代表能源; τ 是能源效率,表示能源技术进步, τE 表示有效能源投入量, $\frac{1}{1-\varepsilon}$ 表示资本和劳动的替代弹性。(1)式能灵活地反映要素之间的替代关系,当 $\varepsilon = 1$ 时,资本与劳动是线性关系,为完全替代;当 $\varepsilon \rightarrow 0$ 时,产出函数是C-D函数,资本与劳动的替代弹性是单位替代弹性,这正是邵帅^[4]所使用的产出函数。

在内生增长理论框架下,由于存在学习效应,企业可以从能源消费过程中获得提高能源效率的经验和知识,并且邵帅^[4]指出行业内部知识池的正外部性效应又使得不同企业之间可以相互模仿节能技术。基于这一考虑,同时也遵循邵帅^[4]的做法,本文认为能源效率与能源消费之间存在如下关系:

$$\tau = GE^\lambda \quad (2)$$

(2) 式中, λ 是能源效率对能源消费的弹性,表示学习效应的大小,G为参数。

将(2)式代入(1)式,得到的产出函数为:

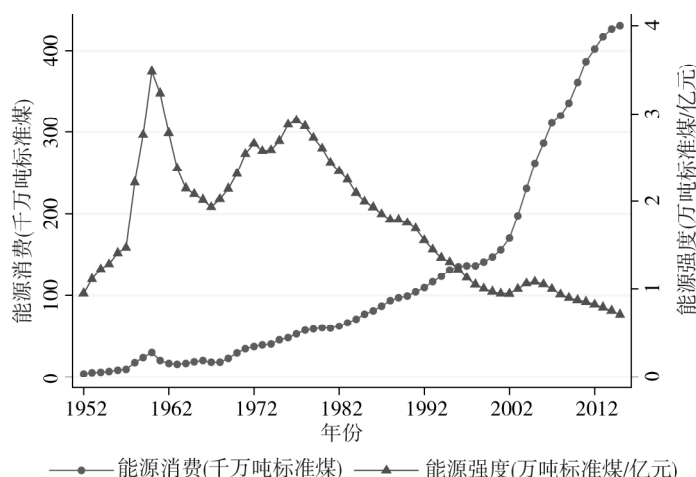


图1 中国能源消费和能源强度的时间趋势

资料来源:能源消费量数据来源《新中国60年》、《中国统计年鉴》,GDP数据来源:Wind资讯,作者将其折算成了2010年不变价。图形由作者使用Stata软件绘制。

^①尽管嵌套模型强调了能源是生产中的必需投入品,并且放宽了资本和劳动的替代弹性约束,但同时也限定了资本-劳动束和能源必须是单位替代弹性。

$$Y = \{ [\gamma K^\varepsilon + (1 - \gamma) L^\varepsilon]^{\frac{1}{\varepsilon}} \}^\alpha (GE^{\lambda+1})^\beta \quad (3)$$

(3) 式中 α 是资本-劳动束的联合产出弹性, 产出弹性之和 $\alpha + \beta(\lambda + 1) > 1$, 此时, 学习效应使得产出函数具有规模报酬递增的特性, 这正是内生增长框架下研究能源回弹效应问题的特征之一。

(二) 能源回弹效应估计模型

Saunders^[3] 和 Lu *et al.*^[16] 把整体经济范围的能源回弹效应定义为 $RE = 1 + \eta = 1 + \frac{\partial E}{\partial \tau} \frac{\tau}{E}$, 本文采用这一定义, 因此求解能源回弹效应的关键是求得 $\frac{\partial E}{\partial \tau} \frac{\tau}{E}$ 。短期内, 资本固定不变, 能源消费可变, 在能源效率内生化的条件下求得短期能源回弹效应 RE^{short} 如下:

$$RE^{short} = 1 + \frac{\beta^2(\lambda + 1)}{S_E [1 - \beta(\lambda + 1)]} \quad (4)$$

(4) 式中 S_E 是产出 Y 对能源消费 E 的产出弹性, 即 $S_E = \frac{\partial Y}{\partial E} \frac{E}{Y}$ 。本文将(4)式分别与 Saunders^[3]、黄燕文^[6] 以及邵帅等^[4] 的结果对比发现, 能源内生条件下所得结论比 Saunders^[3] 的结论更复杂, 而与黄燕文^[6]、邵帅等^[4] 的结果在本质上并无差别。Saunders^[3] 在新古典理论的假设条件下, 由 C-D 生产函数得出短期回弹值的大小主要取决于能源的产出弹性, 两者是单调递增的关系。当回弹效应值大于 1 时, 能源消费就存在“杰文斯悖论”。根据 Saunders^[3] 的研究, 由 CES 函数所得的短期回弹效应为 $\sigma/(1 - S_E)$, 其中 σ 是能源与资本、劳动联合的替代弹性。内生增长框架下, 短期回弹效应不仅受 S_E 影响, 同时还与学习效应 λ 有关。邵帅等^[4] 得出, 短期能源回弹效应还受到其他生产要素的产出弹性影响。本文认为, 问题的根源在于产出函数的设置形式, 因为邵帅^[4] 的结果中 $(1 - \alpha - \beta)$ 其实就是能源的产出弹性。

长期与短期的区别在于资本是否可以自由变化。长期内, 能源效率会影响资本, 能源效率内生, 劳动是外生变量。研究思路与(4)式相似, 得到长期能源回弹效应 RE^{long} 如下:

$$RE^{long} = 1 + \frac{\beta^2(\lambda + 1) [S_K \varepsilon - \alpha(\varepsilon - 1)]}{S_E \{ [1 - \beta(\lambda + 1)] [S_K \varepsilon - \alpha(\varepsilon - 1)] - S_K \alpha \}} \quad (5)$$

(5) 式中 S_K 是产出 Y 对资本存量 K 的产出弹性。根据本文的研究结论, 长期能源回弹效应除了受到能源产出弹性和学习效应的影响外, 还受资本产出弹性、资本劳动的联合产出弹性以及资本与劳动之间替代系数的影响。这一分析具有一般性, 因为本文的结果能够包含黄燕文^[6] 的研究结果。由(5)式可知, 当能源是正常投入要素, 即 $S_E > 0$ 时, 资本劳动的联合产出弹性 α 增大能缓解长期回弹效应, 能源消费更不容易陷入“杰文斯悖论”。

本文所得结论的特点是, 长期回弹效应受到产出对资本的弹性的影响, 影响作用还取决于资本和劳动之间的替代弹性 ε 、资本的产出弹性 S_K 和能源的产出弹性 S_E 。因此, 长期可以通过改变资本和劳动之间的替代关系、增强资本的产出弹性等方式作用于能源回弹效应, 这为降低能源消费回弹提供了理论参考。

四、数据处理与经验分析

在上述理论分析与推导的基础上, 本文利用中国 1952—2015 年的真实产出、劳动、能源消费和资本存量数据测算中国不同时期的能源回弹效应。根据回弹效应的估计值判断中国的能源消费是否陷入“杰文斯悖论”, 并回答中国能源消费持续增长之谜, 揭示中国能源消费持续增长现象的深层次原因, 提出破解中国能源消费“杰文斯悖论”的思路。本文采用的估计方法是最大似然估计。

考虑数据的可得性, 本文选择中国统计资料中相关数据的考察范围为 1952—2015 年。其中 1952 年能源消费的数据是缺失的, 本文采用 1953—1957 年(第一个五年计划)的能源消费和实际 GDP 数

①(4)式和(5)式的详细推导过程可以向作者索要。

据进行线性回归拟合得出约为 4 000 万吨标准煤(拟合得到的准确值为 3 999.52 万吨标准煤)。本文认为这一拟合数据具有较高的可信度,因为能源消费和产出数据具有逻辑上的相关性,并且 1952—1957 年是建国后的第一个五年计划时期,这一阶段社会运行相对平稳。

本文涉及的变量包括:(1) 劳动(*labor*)。本文使用就业人数作为劳动投入数据,数据来源于 Wind 资讯。(2) 能源消费(*energy_con*)。本文使用以万吨标准煤计的能源消费总量,数据来源于《新中国 60 年》、《中国能源统计年鉴 2014》和《中国统计年鉴 2015》。(3) 资本存量(*capital*)。本文选取永续盘存法测量 1952—

表 2 所有变量取对数的统计特征

指标	真实 GDP 对数	劳动对数	能源消费对数	资本存量对数
平均值	10.594	10.738	11.067	10.895
标准差	1.506	0.439	1.218	1.864
最大值	13.310	11.257	12.972	14.679
最小值	8.345	9.939	8.294	7.980
观测数	64	64	64	64

资料来源:作者整理。

2015 年中国的资本存量。由于学术界在测算资本存量过程中的一些处理方法并不完全一致,比如基年资本存量、固定资产投资价格指数以及资本存量是否包含土地等差异很大,为了使数据尽可能准确且口径一致,本文采用张军和章元^[21]的分析思路和方法。按照张军和章元^[21]的估计,基期的资本存量是 800 亿元(1952 年不变价),本文把 800 亿元折算成了 2010 年不变价。本文分别在 1978 年前和 1978 年后运用不同的折旧率,1978 年前(含 1978 年)运用的折旧率是 5%,1978 年后运用的折旧率是 10%。这是因为改革开放前,科技进步较慢,生产设备的更新换代比较慢,而且大部分研究在计算资本存量时选择的折旧率是 5%,而改革开放后,科技进步进程明显加快,设备的更新换代也加速,所以本文选择 10% 作为折旧率,这与张军和章元^[21]选择的折旧率 9.6% 也比较接近。在估计资本存量过程中,固定资产投资数据来源于中国经济与社会发展统计数据库。(4) 产出数据(*real_gdp*)。GDP 数据来源于 Wind 资讯,本文将 GDP 数据换算成了 2010 年不变价。以往的研究在选定不变价年份的做法上并不一致,有的选择 1990 年不变价(比如周勇和林源源^[7]),有的选择 1952 年不变价(比如黄燕文^[6]),还有的选择 2000 年不变价(比如邵帅等^[4])。为了保证数据的可比性,本文将产出数据和资本存量数据统一折算成 2010 年不变价序列。

对产出函数 $Y = \{ [\gamma K^\epsilon + (1 - \gamma) L^\epsilon]^{\frac{1}{\epsilon}} \}^\alpha (GE^{\lambda+1})^\beta$ 两边同时取对数,并应用泰勒一阶展开可以把产出函数简化,得到:

$$Y^* = \mu_1 + \mu_2 X_2 + \mu_3 X_3 + \mu_4 X_4 + \mu_5 X_5 \tag{6}$$

(6) 式中, Y^* 表示 $\ln Y$, X_2 、 X_3 、 X_4 和 X_5 分别表示 $\ln K$ 、 $\ln L$ 、 $(\ln K - \ln L)^2$ 和 $\ln E$, 并且存在如下关系:

$$\mu_1 = \beta \ln G \tag{7}$$

$$\mu_2 = \alpha \gamma \tag{8}$$

$$\mu_3 = \alpha(1 - \gamma) \tag{9}$$

$$\mu_4 = \frac{\alpha \epsilon}{2} \gamma(1 - \gamma) \tag{10}$$

$$\mu_5 = \beta(\lambda + 1) \tag{11}$$

根据上述(7) - (11) 式可计算相应的参数值,再将所得参数值代入(4) 式和(5) 式就可分别求得短期回弹效应 RE^{short} 和长期回弹效应 RE^{long} 。

(一) 单位根检验

在对时间序列数据进行回归之前,需要考察数据的平稳性。由于 1978 年中国实行改革开放战略,经济发生结构变动,因此数据可能是非平稳的。为了考察数据的平稳性,本文分别绘制了真实 GDP 对数、劳动对数、能源消费对数和资本存量对数的时间趋势图,其中真实 GDP 对数和资本存量对数都已经折算成 2010 年不变价,如图 2 所示。

由图 2 可知, 真实 GDP 对数、劳动对数、能源消费对数和资本存量对数都有明显的上升趋势, 并且走势光滑, 各变量很可能存在单位根过程。对所有变量进行 DF 检验发现, 当真实 GDP 对数滞后三阶时, 所有系数都显著, ADF 统计量 $Z(t)$ 为 $-1.772 > -3.489$, 无法在 5% 的置信水平上拒绝单位根的原假设, 真实 GDP 对数存在单位根过程。同理, 劳动对数和能源消费对数也存在单位根过程。根据 Schwert 建议的最大滞后阶数法则^[22], 资本对数从最大滞后阶数 10 一直到滞后阶数 1, 系数都不能在 5% 的显著水平下通过检验。因此需要对上述变量的一阶差分做 ADF 检验。

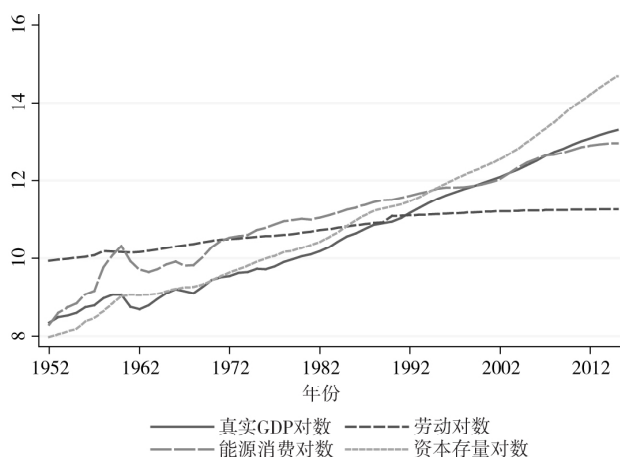


图 2 所有变量取对数后的时间趋势

数据来源: Wind 资讯、《新中国 60 年》、《中国能源统计年鉴 2014》、《中国统计年鉴 2015》。真实 GDP 对数和资本存量对数都是 2010 年不变价。

由表 3 可知, 真实 GDP 对数差分、劳动对数差分、能源消费对数差分和资本存量对数差分在 5% 的显著性水平下通过 ADF 检验。因此, 真实 GDP 对数、劳动对数、能源消费对数和资本存量对数都为 $I(1)$ 过程。

表 3 所有变量对数一阶差分的 ADF 检验结果

变量	ADF 统计量 $Z(t)$	“麦金农的近似 P 值”
真实 GDP 对数差分	-5.313 ***	0.000 0
劳动对数差分	-6.661 ***	0.000 0
能源消费对数差分	-5.150 ***	0.000 0
资本存量对数差分	-3.042 **	0.031 1

注: 原假设为变量含有单位根。检验为左侧检验, 5% 的显著性水平的临界值为 -2.920 。***、** 分别表示在 1% 和 5% 的显著性水平下通过检验。

(二) 实证模型与参数估计

由表 3 所有变量的 ADF 检验结果可知, 真实 GDP 对数、劳动对数、能源消费对数和资本存量对数都是 $I(1)$ 过程。陈强^[22]指出利用差分后所得序列回归的参数估计, 其经济含义与直接使用原序列回归所得参数估计的经济含义有差别。具体到本文而言, 使用原序列进行回归方便开展分析, 因此在 (12) 式中引入虚拟变量 Dum_t 及虚拟变量与外生变量的交互项 $Dum_t \times \ln L_t$ 。根据上述分析, 本文的回归模型是:

$$\ln Y_t = \mu_1 + \mu_2 \ln K_t + \mu_3 \ln L_t + \mu_4 (\ln K_t - \ln L_t)^2 + \mu_5 \ln E_t + \mu_6 Dum_t + \mu_7 Dum_t \times \ln L_t + v_t \quad (12)$$

(12) 式中, 下标 t 表示年份, μ_1 是常数项, v_t 表示残差。本文实证分析的目的是进行参数估计, 而不是应用序列做预测。由于时间序列往往存在序列相关, 因此直接采用最小二乘法将无法得到一致估计。考虑到计量方法的可操作性, 本文最终选择了最大似然估计方法。对回归模型 (12) 进行邹至庄检验, 目的是检验经济结构变动, 并考察模型中引入经济结构变动的虚拟变量及其交互项是否合理。邹至庄检验的结果是, Chow 的 F 统计量为 35.27, P 值为 0.000 0。

表 4 回归方程估计结果

变量	ML(最大似然估计)
eq1	
lncapital	0.261 *** (0.092 7)
lnlabor	0.898 *** (0.249)
square	0.059 5 *** (0.016 0)
lnenergy_con	0.216 *** (0.082 5)
dum	-10.97 *** (1.917)
dum_lnlabor	1.039 *** (0.180)
_cons	-4.714 ** (2.088)
eq2	
_cons	0.090 2 *** (0.007 97)
N	64

注: ***、**、* 分别代表 1%、5%、10% 的显著性水平, 括号内数字为标准误。

利用最大似然估计法得到的结果如表 4 所示, 回归结果还显示, 对数似然值等于 63.187, wald chi2 检验值为 17519.79, 相应的 P 值为 0.000 0, 这表明整体回归方程的系数联合显著性可通过检验。

根据表 4, 整理可得 $\beta \ln G = -4.714$, $\alpha \gamma = 0.261$, $\alpha(1 - \gamma) = 0.898$, $\frac{\alpha \varepsilon}{2} \gamma(1 - \gamma) = 0.059 5$, $\beta(\lambda + 1) = 0.216$ 。根据

上述结果,可以解得所有待估计参数,从而分别求得 RE^{short} 和 RE^{long} 。

$$RE^{short} = 1 + \frac{\beta^2(\lambda + 1)}{S_E [1 - \beta(\lambda + 1)]} = 1 + \frac{-6.013}{\ln G} \quad (13)$$

$$RE^{long} = 1 + \frac{\beta^2(\lambda + 1) [S_K \varepsilon - \alpha(\varepsilon - 1)]}{S_E \{ [1 - \beta(\lambda + 1)] [S_K \varepsilon - \alpha(\varepsilon - 1)] - S_K \alpha \}}$$

$$= 1 + \frac{-4.714}{\ln G} (0.588S_K + 0.478)$$

$$= 1 + \frac{-4.714}{0.784(0.588S_K + 0.478) - 1.159S_K} \quad (14)$$

接下来,我们通过能源效率与能源消费的数据求得参数 λ ,进而反推得到 $\ln G$ 。本文认为,利用能源效率与能源消费的数据直接拟合得出 $\ln G$ 的思路是有偏误的,因为影响能源效率的因素除了学习效应外,还有其他各类因素,比如产业结构,直接拟合 $\ln G$ 将不能得到一致有效的估计。而通过先求得 λ ,进而反推得到 $\ln G$,再计算短期回弹效应和长期回弹效应才是准确的。

由表5可知,1952—2015年间能源消费过程中的学习效应平均值为0.429,有五个时间段出现学习效应为负的情况,分别是1952—1956年、1957—1961年、1967—1971年、1972—1976年以及2002—2006年,这五个时间段中的能源消费弹性系数大于1。当学习效应显著为正时,其平均值达到0.975,最大值达到1.985。短期来看,1952—2015年期间中国能源消费的平均回弹效应是131.6%,最高达到216.4%,这意味着能源效率的改善所产生的节能效果显著低于能源边际生产率提高引起能源需求增加的部分,中国能源消费没有走出“杰文斯悖论”。因此,单纯期望改进能源效率减少能源消费的思路是不可行的。

由表6可知,产出对资本的弹性不断增长,改革开放前,资本的产出弹性维持在0.1—0.2之间,进入2012年后这一弹性值达到0.760。这些数据表明,中国经济中资本的拉动作用越来越强,这与张江山和张旭昆^[24]、邵帅等^[4]的判断也是相符的。长期来看,1952—2015年期间中国能源消费的平均回弹效应是204.7%,最高达到960.6%。其中有两个值得关注的时间段:一个是2007—2011年的长期回弹效应为负,也就是说,中国能源消费短暂地出现了超级节能的情况,另一个是2012—2015年的长期回弹效应介于0到1之间,这表示中国能源消费呈现部分节能的状况。计算发现,2012—2015年能源消费总量为1675051.2万吨标准煤,由于能源回弹问题得到缓解,实现节能720272.02万吨标准煤。因此,从长期来看,中国整体经济范围的能源消费可能走出“杰文斯悖论”,节能潜力比较大。

本文的研究结果与大多数文献的不同之处在于,本文测算得出中国能源消费存在“杰文斯悖论”,

表5 短期回弹效应估计结果

时间段	λ	$\ln G$	短期回弹效应值(%)
1952—1956年	-0.511	-10.678	156.3
1957—1961年	-0.763	-5.167	216.4
1962—1966年	0.802	-39.336	115.3
1967—1971年	-0.379	-13.562	144.3
1972—1976年	-0.336	-14.494	141.5
1977—1981年	1.029	-44.283	113.6
1982—1986年	0.737	-37.915	115.9
1987—1991年	0.483	-32.367	118.6
1992—1996年	1.038	-44.471	113.5
1997—2001年	1.067	-45.103	113.3
2002—2006年	-0.228	-16.845	135.7
2007—2011年	0.656	-36.130	116.6
2012—2015年	1.985	-65.154	109.2

表6 长期回弹效应估计结果

时间段	资本产出弹性	长回弹效应值(%)
1952—1956年	0.103	178.6
1957—1961年	0.136	282.0
1962—1966年	0.152	125.4
1967—1971年	0.158	175.0
1972—1976年	0.186	178.1
1977—1981年	0.214	128.5
1982—1986年	0.250	138.9
1987—1991年	0.297	156.7
1992—1996年	0.335	150.9
1997—2001年	0.409	183.9
2002—2006年	0.501	960.6
2007—2011年	0.641	-53.9
2012—2015年	0.760	57.0

注:中国在制定国民经济和发展规划时一般以5年为一个周期,本文在测度回弹效应测算结果时借鉴了这一做法。

而大多数文献认为中国能源消费整体处于部分节能状态,只有少数年份陷入“杰文斯悖论”。之所以会得出不同结论,原因在于要素替代弹性假设和估计方法的差异,本文假定能源与其他生产要素之间是单位替代弹性。在估计方法方面,本文使用最大似然估计,主要是考虑到产出与投入的非线性关系,这可能使得本文的估计值更接近真实值。

中国能源消费的回弹效应与其他国家能源消费的回弹效应存在显著差别,以美国为例,林民书和杨治国^[25]发现,1958—1984年美国汽车运输行业能源消费表现为部分回弹。造成这一差别的原因主要有两点:一是中国本身特有的国情,中国正处于加快建设新型工业化的关键时期,能源需求的扩张速度大于能源节约效率;二是本文估计的是整体经济范围的回弹值,具体到某些行业能源回弹效应值仍然可能小于1。

(三) 能源消费回弹效应的解释

能源回弹效应表达式中的关键参数有助于解释中国能源回弹效应及其变化趋势。短期而言,能源的产出弹性以及学习效应是影响能源回弹值的关键。

1952—2015年能源产出弹性呈现下降趋势

,但是学习效应变化没有规律。长期而言,除能源产出弹性和学习效应外,资本和劳动的替代弹性、资本的产出弹性以及资本-劳动束产出弹性也会影响能源回弹效应。根据表7,我们还发现规模报酬递增,因为 $\alpha + \beta(\lambda + 1) = 1.375 > 1$,能源消费“干中学”是产生规模报酬的原因之一。

本文的实证结果表明,中国能源消费存在回弹效应。现实中,中国能源效率改善在物理意义上确实产生了节能效果,但是同时也产生回弹部分。当回弹部分在数值上大于节能部分时,节能效果将被新一轮产出扩张“吞噬”,最终就会观测到能源效率改善与能源消费增长并存的现象。

五、研究结论

中国能源消费陷入“杰文斯悖论”是推动中国能源消费持续增长的原因之一。理论推导发现,第一,短期回弹效应不仅受能源产出弹性的影响,还受到“干中学”效应的影响。当能源产出弹性大于0时,“干中学”能力越强,回弹程度就越强烈。第二,长期回弹效应的影响因素比短期回弹效应更复杂,除能源产出弹性和学习效应外,长期回弹效应还依赖于资本产出弹性、资本劳动的联合产出弹性以及资本与劳动之间的替代弹性。长期内,可以通过控制以上三种弹性作用于回弹效应。

本文采用最大似然估计测算了中国整体经济范围的回弹效应。结果表明,中国能源消费存在“杰文斯悖论”,短期平均回弹效应为131.6%,最高达到216.4%。长期来看,平均回弹效应是204.7%,最高达到960.6%,在这一过程中资本推动产出增长的能力越来越强。值得关注的是,2007—2011年

表7 参数估计值

时间段	资本-劳动束 产出弹性 ^① (α)	能源 产出 弹性(β)	学习效应 系数 (λ)	资本-劳动 替代弹性 (ϵ)
1952—1956年	1.159	0.441	-0.511	0.589
1957—1961年	1.159	0.912	-0.763	0.589
1962—1966年	1.159	0.120	0.802	0.589
1967—1971年	1.159	0.348	-0.379	0.589
1972—1976年	1.159	0.325	-0.336	0.589
1977—1981年	1.159	0.106	1.029	0.589
1982—1986年	1.159	0.124	0.737	0.589
1987—1991年	1.159	0.146	0.483	0.589
1992—1996年	1.159	0.106	1.038	0.589
1997—2001年	1.159	0.105	1.067	0.589
2002—2006年	1.159	0.280	-0.228	0.589
2007—2011年	1.159	0.130	0.656	0.589
2012—2015年	1.159	0.072	1.985	0.589

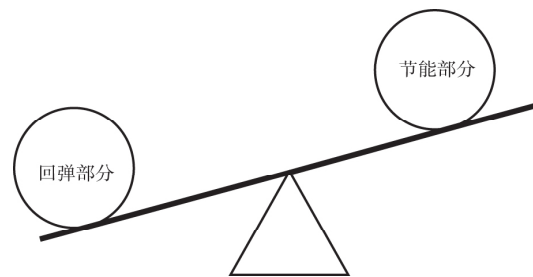


图3 能源回弹效应逻辑分析

①表7 资本-劳动束产出弹性的含义是资本-劳动以CES函数形式嵌套之后的联合产出弹性,等于 α 。

和 2012—2015 年两个时间段的长期回弹效应分别为 -53.9% 和 57.0% ,这两组数据表明 ,中国能源消费可能走出“杰文斯悖论” ,但不能仅仅期望改进能源效率减少能源消费 ,而应该考虑资本、人口、产业结构、经济转型等因素来制约回弹效应。本文的计算发现 ,2012—2015 年能源消费总量为 1 675 051.2 万吨标准煤 ,由于能源回弹问题得到缓解 ,实现节能 720 272.02 万吨标准煤。

“十三五”规划目标明确提出 ,“十三五”期间单位 GDP 能源消耗下降 15% 。然而中国在未来很长一段时间内将面临产业结构深度调整、经济发展不确定性增加等情况。能源消费如何摆脱“杰文斯悖论”从而转向节能 ,本文建议采取以下降低能源回弹效应的措施。第一 ,不能单纯期望以改进能源效率来减少能源消费。因为根据本文的测算结果 ,短期内能源效率提高 1% ,能源消费上涨幅度将超过 1% 。为了在可行区域内推动能源效率改善的节能效果最大化 ,应该在政策设计的过程中充分估计能源回弹效应的影响 ,从而组合利用其他政策降低回弹效应。第二 ,利用“有形之手”恰当调节资本、人口、产业结构、经济转型等因素 ,从而制约回弹效应。从实践看 ,当前中国经济发展进入“新常态” ,产业结构优化 ,经济转型加快 ,因此能源回弹效应有所缓解。

(致谢: 特别感谢南开大学泽尔腾实验室李建标、汪敏达对本文提出的富有建设性的意见。)

参考文献:

- [1]DU K , LIN B. Comments on “using latent variable approach to estimate China’s economy-wide energy rebound effect over 1954—2010” by Shuai Shao , Tao Huang and Lili Yang [J]. Energy policy , 2015 , 86: 219-221.
- [2]LI C , SHAO S , YANG L , et al. Comparability of estimating energy rebound effect should be based on uniform mechanism and benchmark: a reply to Du and Lin [J]. Energy policy , 2016 , 91: 60-63.
- [3]SAUNDERS H D. Fuel conserving (and using) production functions [J]. Energy economics , 2008 , 30(5) : 2184-2235.
- [4]邵帅 杨莉莉 黄涛. 能源回弹效应的理论模型与中国经验 [J]. 经济研究 2013(2) : 96-109.
- [5]丘海斌. 中国制造业能源消费存在杰文斯悖论吗 [J]. 经济学家 2016(3) : 32-39.
- [6]黄燕文. 中国能源回弹效应研究 [D]. 厦门: 厦门大学 2009.
- [7]周勇 林源源. 技术进步对能源消费回报效应的估算 [J]. 经济学家 2007(2) : 45-52.
- [8]查冬兰 周德群. 基于 CGE 模型的中国能源效率回弹效应研究 [J]. 数量经济技术经济研究 2010(12) : 39-53.
- [9]杨莉莉 邵帅. 能源回弹效应的理论演进与经验证据: 一个文献述评 [J]. 财经研究 2015(8) : 19-38.
- [10]王群伟 周德群. 能源回弹效应测算的改进模型及其实证研究 [J]. 管理学报 2008(5) : 688-691.
- [11]LIN B , LIU X. Dilemma between economic development and energy conservation: energy rebound effect in China [J]. Energy , 2012 , 45(1) : 867-873.
- [12]SHAO S , HUANG T , YANG L L. Using latent variable approach to estimate China’s economy-wide energy rebound effect over 1954—2010 [J]. Energy policy , 2014 , 72: 235-248.
- [13]胡秋阳. 回弹效应与能源效率政策的重点产业选择 [J]. 经济研究 2014(2) : 128-140.
- [14]LIN B , DU K. Measuring energy rebound effect in the Chinese economy: an economic accounting approach [J]. Energy economics , 2015 , 50: 96-104.
- [15]冯烽. 能效改善与能源节约: 助力还是阻力——基于中国 20 个行业能源回弹效应的分析 [J]. 数量经济技术经济研究 2018(2) : 82-98.
- [16]LU Y , LIU Y , ZHOU M. Rebound effect of improved energy efficiency for different energy types: a general equilibrium analysis for China [J]. Energy economics , 2017 , 62: 248-256.
- [17]ZHOU M , LIU Y , FENG S , et al. Decomposition of rebound effect: an energy-specific , general equilibrium analysis in the context of China [J]. Applied energy , 2018 , 221: 280-298.
- [18]WEI T , LIU Y. Estimation of global rebound effect caused by energy efficiency improvement [J]. Energy economics , 2017 , 66: 27-34.

- [19]查尔斯·琼斯. 经济增长导论[M]. 上海: 格致出版社, 上海三联书店, 上海人民出版社 2018.
- [20]HASSLER J, KRUSELL P, OLOVSSON C. Energy-saving technical change [R]. National Bureau of Economic Research, 2012.
- [21]张军, 章元. 对中国资本存量 K 的再估计[J]. 经济研究 2003(7): 35-43 + 90.
- [22]陈强. 计量经济学及 Stata 应用[M]. 北京: 高等教育出版社 2015.
- [23]陈强. 高级计量经济学及 Stata 应用[M]. 北京: 高等教育出版社 2010.
- [24]张江山 张旭昆. 技术进步、能源效率与回弹效应——来自中国省际面板数据的经验测算[J]. 山西财经大学学报, 2014(11): 50-59.
- [25]林民书 杨治国. 国外能源回弹效应研究进展评述[J]. 当代经济管理 2010(9): 1-5.

(责任编辑: 杨青龙; 英文校对: 葛秋颖)

Does China's Energy Consumption Get Stuck with Jevons Paradox? Empirical Analysis Based on the Rebound Effect

WANG Qichao

(School of Economics, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Rebound effect of energy consumption in China has been the focus of attention in the theoretical fields and it has not formed a unified opinion. Based on the theory of "Learning by Doing" that was proposed by Arrow, this paper builds an endogenous growth model by using nested production function from the perspective of output maximizing. This paper deduces a theoretical estimation model of energy consumption rebound effect under conditions that labor supply is exogenous but energy efficiency is endogenous. Time series data of energy consumption, capital, real output and labor in China from 1952 to 2015 are used to get the value of energy rebound effect for each period in China. Results indicate that output elasticity of energy and learning effect are keys to influence the direction of energy rebound effect in the short run. In the long run, in addition to factors mentioned above, substitution elasticity between capital and labor, output elasticity of capital and combined output elasticity of capital and labor are factors that influence the magnitude of energy rebound effect. China's data shows that the average rebound effect was 131.6% and the highest rebound effect was 216.4% during the period of 1952—2015. China's energy consumption gets stuck with "Jevons Paradox". Thus it is infeasible to rely solely on improving energy efficiency to reduce energy consumption. In the long run, the average rebound effect of China's energy consumption was 204.7% and the highest was 960.6% during the period of 1952—2015. And there are sometimes a super energy-saving periods or partial energy saving periods. The whole economy energy consumption of China may be out of "Jevons Paradox", and potential of energy saving is huge. To get rid of Jevons Paradox, capital, population, industry structure and economic transition should be considered. There were 7 202 720 200 tons of standard coal being saved between 2012 and 2015 since declining of rebound effect. Thus reducing energy rebound effect is helpful to achieve the energy saving goal of the 13th Five-Year Plan.

Key words: energy consumption; energy rebound effect; Jevons Paradox; energy saving