

# An Observation of Jevons Paradox on Energy Consumption in China, OECD Members and Global Countries

## 中国、OECD国家及全球能源消费领域的杰文斯悖论观察

周吉光<sup>1a, 1b</sup>, 张举钢<sup>1b</sup>, 杨红瑞<sup>2</sup>, 李翼恒<sup>1c</sup>, 张江<sup>1d</sup>

1. 河北地质大学 a. 学术传播中心、b. 自然资源资产资本研究中心、c. 会计学院、d. 数理学院, 河北 石家庄 050031; 2. 河北金融学院 国际教育学院, 河北 保定 071051

ZHOU Ji-guang<sup>1</sup>, ZHANG Ju-gang<sup>1</sup>, YANG Hong-rui<sup>2</sup>, LI Yi-heng<sup>1</sup>, ZHANG Jiang<sup>1</sup>

1. Hebei GEO University, Shijiazhuang, Hebei 050031; 2. Hebei Finance University, Baoding, Hebei 071051

**摘要:** 在回顾杰文斯悖论的起源、发展以及检验方法基础上, 论文分三个组别对1990年—2015年中国、OECD国家及全球能源消费领域的历史数据进行了观察, 测算得出无论是部门经济还是整体经济, 回弹效应均较明显, 基本都呈现出了逆反效应, 可见存在着明显的杰文斯悖论。随后, IPAT方程被引入检验过程, 显示出: 技术进步的确显著地降低了能源使用量, 但与此同时也催生了经济增长, 在引致更大能源消费需求的同时, 带来了更大的能源使用量, 不仅大幅抵消了效率提高带来的能耗节约, 甚至超过了初始的能源消费量。最后, 论文认同单纯的能效政策很难降低能源消耗, 宜将传统效率措施与多维资源、环境政策有效结合, 从改变消费行为入手, 以应对能效政策的回弹效应, 最大限度地提高节能政策的有效性。

**关键词:** 杰文斯悖论; 能源消费; 回弹效应; 逆反效应; IPAT

中图分类号: F062.1

**Abstract:** Based on the review of the origins, developments, and proving methods of Jevons paradox, the essay observes the historical data of energy consumption which have been divided into three groups as in China, OECD Members and Global Countries from 1990 to 2015. The calculation shows that the rebound effects in both sector economy and overall economy are distinct, and most of them demonstrate a backfire effect that can prove to be an obvious Jevons paradox. Subsequently, the IPAT equation is introduced into the testing process, showing that technological advance does significantly reduce energy use, but at the same time it generates economic growth that leads to greater energy consumption demand and meanwhile increases the energy use, and which is greatly offsetting the energy savings resulting from increased efficiency, even exceeding the initial energy consumption. Finally, the essay endorses that simple energy efficiency policy is very difficult to reduce the consumption, and it is advisable to combine traditional efficiency measures with multidimensional resources and environmental policies, start with changing consumption behavior, and respond the rebound effect of energy efficiency policy to maximize the effectiveness of energy

saving policies.

**Keywords:** Jevons paradox; energy consumption; rebound effect; backfire effect; IPAT

**来稿日期:** 2018-03-24

**基金项目:** 河北省社会科学基金项目“杰文斯悖论的经验性研究及对资源开发利用模式的启示”(HB14LJ004)。

**作者简介:** 周吉光(1981—),男,湖北鄂州人,经济学硕士,副编审,主要研究方向为资源经济学、环境经济学。张举钢(1963—),男,河北鹿泉人,教授,硕士研究生导师,主要研究方向为统计学、资源经济学。杨红瑞(1984—),男,河北曲阳人,经济学硕士,研究方向为产业经济学。

## 1 杰文斯悖论的起源及研究进展

1848年,约翰·斯图亚特·穆勒(John Stuart Mill)在《政治经济学原理》中写道:“工业技术会持续得到悉心和成功的培育,区别只在于,工业改良不再仅限于为财富增长服务,而会产生其正当的结果,即减少劳动。但迄今为止,各种机械发明是否成功地减轻了人类的日复一日的辛劳,仍是一个疑问。”<sup>[1]</sup>由此,威廉·斯坦利·杰文斯(William Stanley Jevons)在其1865年的著作《煤炭问题》中提出了一个问题,即“杰文斯悖论”,对约翰·穆勒间接地作出了一个回应<sup>[2]</sup>。他在观察了英国的煤炭问题之后,表达了对英国易开采的煤炭储量终将耗竭的担忧——当技术进步提高了资源使用的效率时,这一资源的总消耗量可能会增加,而不是减少<sup>[3]</sup>。

19世纪下半叶,随着现代石油工业的诞生和发展,石油无疑开始分担了煤炭的压力,就正如当初煤炭分担了木材的压力一样,但是,除非大家一致认为问题已经解决了,否则后继的经济学家将难以抵挡去尽力解答悖论的诱惑<sup>[4]</sup>。索尔斯坦·凡勃伦(Thorstein Veblen,1899)在《有闲阶级论》中就指出“随着工业效率的提高,使人们有可能以较少的劳力获得谋生手段,但社会勤劳的成员的精力会倾向于追求更高的炫耀性开支而努力,并不是放缓到一个更加舒适的节奏”,“当工业效率提高并有可能使这种劳累减轻时,然而,这种劳累实际并不会减轻,因为归咎于经济理论的更高或精神上的需要,产出的增量会转而用来满足这些无限期膨胀的需要”<sup>[5]</sup>。也即是他认为潜在的需求会吞噬因效率提高的所得。而哈罗德·霍特林(Harold Hotelling,1931)在《可耗竭资源经济学》中论述到:“阻止不可替代自然资源(以及那些只有在困难和长期阻滞条件下才可替代自然资源)被大规模消耗的方法,通常是在特定时期和特定区域直接禁止生产,或沿用过时和低效的生产方式来限制产品生产。”<sup>[6]</sup>

在20世纪的前四分之三阶段,处于石油时代的全盛时期,杰文斯悖论基本被人们遗忘了。但到70年代随着罗马俱乐部在《增长的极限》中的分析,激起了人们对资源短缺问题的日益关注,而1973—1974年的石油危机则加强了人们对此问题的认识(John B. Foster, Brett Clark, Richard York, 2010)<sup>[7]</sup>。Leonard Brookes(1978, 1979)<sup>[8][9]</sup>和Daniel Khazzoom(1980)质疑了汽车、电冰箱、住宅以及电灯泡的环境功效和环境标准,这些效率标准是在罗马俱乐

部报告出版和 OPEC 燃料价格上涨的那个时间中制定的，使得杰文斯悖论再度复兴。正如 Daniel Khazzoom 所述的，“电器效率的变化会引起价格的变化，……随着生产能力的提高，商品的有效价格会下降，……需求并不是保持不变的，……而是趋于增加”<sup>[10]</sup>。

除了在能源利用领域，杰文斯悖论还拓展到了诸多相关领域，包括许多传统意义上的“非经济学”研究领域——无论是在如人口、资源以及国家命运等重要大事中，还是在许多日常生活的琐事中（Joseph A. Tainter, 2008）——譬如：无纸化办公、公路交通、农业生产、家庭消费、居民住宅能耗等。（1）计算机的出现，使“无纸化办公”被视作为技术进步带来的巨大资源节约成就之一。然而，计算机能以电子形式存储文件，也便于打印机轻松打印出无数的文档。因此，现实情况是：因为打印成本暴跌，纸张的消耗量急剧上升（Richard York, 2006）<sup>[11]</sup>。与此同时，信息技术的进步大大降低了邮件发送的成本，但却催生了垃圾邮件的大量发送，造成了信息污染，致使带来的资源节约或效率提升又被抵消了（Cedric Gossart, 2015）<sup>[12]</sup>。（2）“汽车方面的技术进步，使得汽车的单位汽油续航里程大大提高，但并未降低汽油使用总量。燃料效率的提高，导致的不仅是汽车的数量以及行驶里程不断增长，而且它们的尺寸和马力也在不断增加”（John Bellamy Foster、Brett Clark、Richard York, 2010）。

“在航空方面，每英里行程的燃料消耗减少了 40%，但燃料的总消耗却增长了 150%，因为乘客的飞行距离也在增长。”（Juliet B. Schor, 2010）由于车辆燃料效率的提高，导致了更大的燃料使用和（或）旅行需求等，这些形式“抵消”了燃料价格上涨的作用程度，这在对美国、英国和挪威的相关研究成果中得到了证明（Lee Stapleton、Steve Sorrell、Tim Schwanen, 2016; Rachel Freeman、Mike Yearworth、Chris Preist, 2016; James Odeck、Kjell Johansen, 2016）。在中国，城市客运交通能源回弹效应也被证明的确存在（王辉、周德群、周鹏, 2011; 王辉, 2012），而公路货运部门也在长期存在部分反弹效应（Wang Zhaohua、Lu Milin, 2014），也即是效率提升后预期的能源减排因之大部分被抵消了，表明提高能源效率的独立政策不如预期的那样有效（Zhang Yuejun、Peng Huarong、Liu Zhao 等, 2015; Chai Jian、Yang Ying、Wang Shouyang 等, 2016）。（3）在农业生产方面，因为杰文斯悖论的存在，南美洲国家的农业生产率水平的提高导致了农业生产面积的全面扩大（M. G. Ceddia、S. Sedlacek、N. O. Bardsley 等, 2013），而西班牙的农业灌溉中水使用效率的提高，实际却并不会导致水消耗的减少（A. Dumont、B. Mayor、E. López-Gunn, 2013），即回弹效应只是提高效率的诸多后果之一。（4）在家庭消费方面，能源效率的提高同样也导致回弹效应，其中直接回弹效应是增加了对更加便宜能源服务的需求，而间接回弹效应则是增加了对其他商品和服务的需求，因之抵消了能源和排放的潜在节省效果（Mona Chitnis、Steve Sorrell、Angela Druckman 等, 2013; Mona Chitnis、Steve Sorrell, 2015）。关于中国的研究也基本证明了在中国家庭消费中存在回弹效应（Jinlong Ouyang、Enshen Long、Kazunori Hokao, 2010; 路正南、冯阳、何枚蔚, 2016），表明了目前能源效率政策方面的努力似乎无法控制单位家庭能源消费的增长势头。（5）在居民住宅能耗方面，也开展了一些相关研究（Sang-Hyeon Jin, 2007; Luis Orea、Manuel Llorca、Massimo Filippini, 2015）。其中关于中国的研究，主要集中于住宅用电方面，

直接回弹效应与间接回弹效应以及长期回弹效应与短期回弹效应被进行了测算（Wang Zhaohua、Lu Milin、Wang Jiancai, 2014; Lin Boqiang、Liu Hongxun, 2015; Wang Zhaohua、Han Bai、Lu Milin, 2016）。

技术乐观主义者试图论证反弹效应很小，而效率的提高将转变为对能源和材料的低吞吐量（即物质减量化），因此环境问题可以通过技术创新来解决。然而，大量反弹效应的实证研究表明其是强劲的。由于规模效应的存在，能源效率的提升会降低各种产品的有效成本，驱动整体经济的发展并扩大能源的整体使用，因此在宏观层面，杰文斯悖论可以被观察到：尽管自 1975 年以来美国已成功地将能源效率提高了一倍，但其能源消耗也急剧的上升<sup>[7]</sup>。John M. Polimeni (2007) 对欧盟 18 个国家的实证分析表明，杰文斯悖论可能在初级能源总消费的宏观层面上存在，而且一个关键的发现是，杰文斯悖论很可能并不像之前的研究所指出的仅仅存在于一个部门或产品，而是总体经济范围的。当然，并不是所有思想流派都认同“效率提高会触发某种额外的投入消耗”（被定义为“回弹”或“反弹”，即 Rebound）的见解，Lovins (1988) 和 Schipper、Grubb (2000) 就认为更高的效率的确会带来资源的净节约。理论家们对杰文斯偏激而又非常重要的论点进行了正反两方面的论证，认为回弹不仅重要，而且当设备变得更有效率而需求保持不变的情况下，实际回弹比理论上的节约可能更大。由于回弹效应的存在，效率提升后预期的能源减排被大部分抵消，损害了能源政策的效果和功能。因此，学者们普遍认为提升能效的独立政策不如预期那样有效，呼吁政策制定时应充分考虑回弹效应的影响。

## 2 能源回弹效应与杰文斯悖论的检验方法

杰文斯在《煤炭问题》一书中指出，自 19 世纪之初英国的人口翻了两番，但煤炭的消费量增长为 16 倍，那么人均消费量就增长为 4 倍，同时，所有经济部门的生铁和煤炭消耗量都大幅增加。于是，杰文斯证实了这些变化与效率上升之间的相关性。比如，他发现在 1830 年—1863 年，苏格兰的生铁冶炼每单位的煤炭消耗量比之前减少了 1/3，但总消耗量却增长为 10 倍<sup>[2]</sup>。这也是对悖论最初的检验方法。

1992 年，Harry D. Saunders 提出了 Khazzoom-Brookes 假设，称能效的提高增加（不是减少）了能源消耗，并认为能效的提高通过两种方式增加了能源消耗：一是使得能源使用比其他要素投入相对便宜；二是推动了经济增长从而催生了能源的总使用量。其后，Harry D. Saunders (2000) 从对宏观经济理论的考量中提炼出了对回弹效应、逆反效应和 Khazzoom-Brookes 假设的一些关键见解，并定义了回弹效应 ( $R$ )。

$$R = 1 + \eta_{\tau_F}^F$$

$\eta_{\tau_F}^F$  为能源节约效应，表示能源消费对能源效率变化的弹性：

$$\eta_{\tau_F}^F = \frac{d \ln F}{d \ln \tau_F}$$

其中， $F$  为能源使用量； $\tau_F$  为能源效率增益参数，在新古典主义增长理论生产函数中表示能源使用量的效率增加<sup>[13]</sup>。

$$Y = f(K, L, E) = f(K, L, \tau_F F)$$

公式中  $K$  为资本要素投入,  $L$  为劳动力要素投入, 而  $E$  为能源服务要素投入。 $\tau_F$  作为工程效率的增益, 能在能源使用量 ( $F$ ) 减少的情况下保持原有的能源服务要素投入 ( $E$ ) 提供量<sup>[14]</sup>, 即能源效率参数。

Saunders (2000, 2008) 所定义的回弹效应成为了后续宏观经济领域研究能源政策效果或检验杰文斯悖论的主要方法之一。简言之, 当  $\eta_{\tau_F}^F = -1$ 、即  $R = 0$  时, 为零回弹效应, 实际能源消费量与预期能源消费量相等, 能源效率提高的节能潜力正好完全实现; 当  $0 > \eta_{\tau_F}^F > -1$ 、即  $1 > R > 0$  时, 为部分回弹效应, 实际的能源消费量大于预期的能源消费量、但小于初始的能源消费量, 能效的提高存在一定的节能效果; 当  $\eta_{\tau_F}^F > 0$ 、即  $R > 1$  时, 称之为逆反效应, 实际的能源消费量大于初始的能源消费量, 能源效率的提高反而增加了能源消费量; 当然, 理论上也存在当  $\eta_{\tau_F}^F < -1$ 、即  $R < 0$  的情况, 此时则实现了超级节能效果<sup>[15]</sup>。具体可见 Saunders (2000, 2008)<sup>[13][14]</sup>, 不再赘述。

一般而言, 生产过程中效率的提高意味着每单位产出所需投入的减少, 从而节省了资源。假定产出水平不变, 可以根据初始和最终预期效率以及初始投入量, 直接估计节约量。根据 Saunders (2000, 2008) 对变量的定义, 我们修改了 A. Dumont、B. Mayor、E. López-Gunn, (2013) 关于回弹效应的计算流程图<sup>[16]</sup>, 展示了生产过程中的技术提高后的预期产出情况 (图 1-2a) 和实际产出情况 (图 1-2b) 以及杰文斯悖论发生的条件。对图形的具体解释可参见周吉光、张举钢、闫军印等 (2017) 的研究 (对公式中出现的谬误也进行了修正)<sup>[3]</sup>。其中,  $EL_t = F_t - E_t$ , 表示能源未转化为有效的能源服务的那部分, 即能源损失, 因不影响后续分析, 在此未进行详细定义。

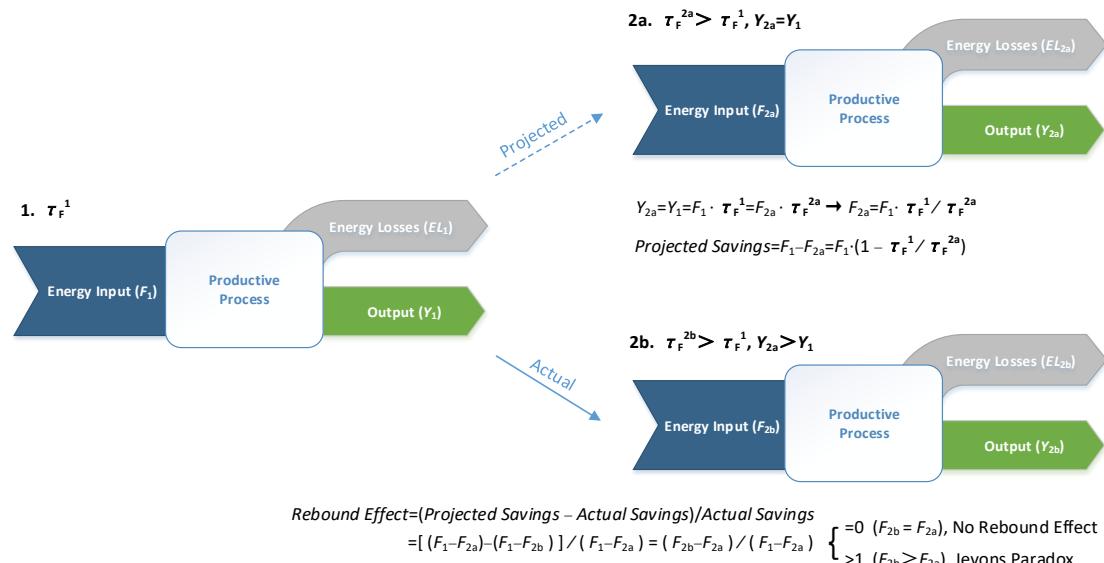


图 1 生产过程中技术改进带来的预期节约 (2a) 与回弹效应及杰文斯悖论的量化 (2b)

Fig. 1 The Quantification of Projected Savings (2a), Rebound Effect and Jevons Paradox (2b) in the Productive Process

(据 A. Dumont、B. Mayor、E. López-Gunn, 2013; 有改动)

### 3 中国、OECD 国家及全球的历史数据观察

回弹效应的计算依赖于对能源效率的估算，学者们多使用了前述的新古典主义增长理论生产函数及其扩展模型<sup>[3]</sup>，此外，还使用了可计算一般均衡模型（CGE）、生命周期分析（LCA）等模型<sup>[17]</sup>。已有的研究在估算回弹效应时，多运用相关模型根据历史数据估算出能源效率。在此，我们直接取用了国际能源署（International Energy Agency, IEA）的能源强度数据进行了计算（<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>）。采用 Murray G. Patterson (1996) 关于能源效率的经济-热力学指标定义，即“GDP：能源”比率和“能源：GDP”比率<sup>[18]</sup>。前者称为能源效率 ( $\tau_F$ )，后者称为能源强度 ( $EI$ )，它们之间的关系可以定义为： $EI = 1/\tau_F$ 。

首先列示了 1990 年—2015 年中国、OECD 国家及全球最终能源消费量（Total Final Consumption, TFC）和能源强度（Energy Intensity, EI）的变化趋势（图 2~图 4）。其中，最终能源消费量的单位为百万吨石油当量（in Million tonnes of oil equivalent, Mtoe）；能源强度  $EI=TPES/GDP$ , TPES (Total Primary Energy Supply) 为一次能源供应总量，GDP 已按购买力平价换算为 2010 年的不变美元价格，因此其单位为 toe/thousand 2010 USD。



图 2 1990 年—2015 年中国能源强度和分部门最终能源消费量变化趋势

**Fig. 2 The Trend of China's Energy Intensity and Final Energy Consumption in Sub-sectors from 1990 to 2015**

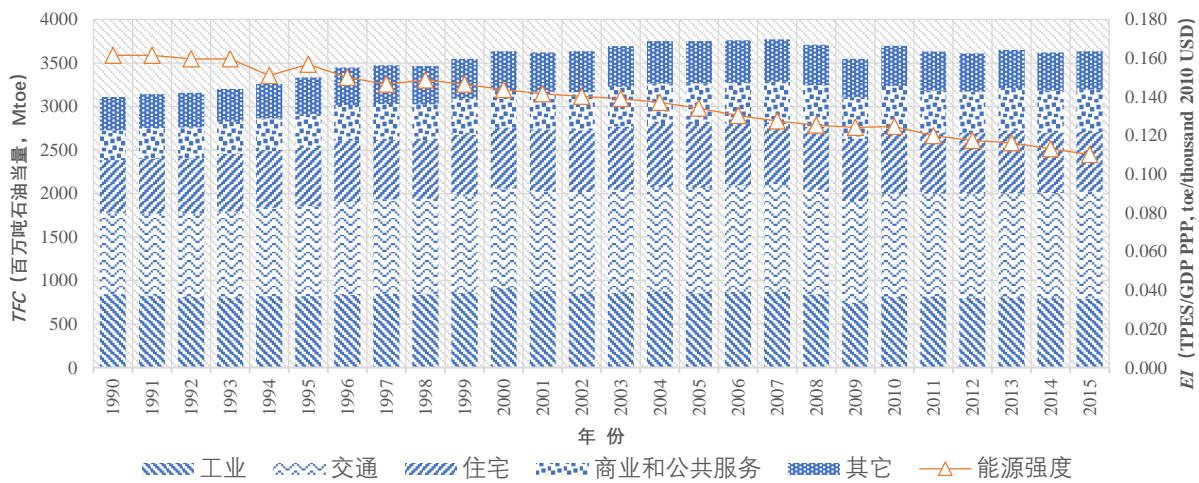


图 3 1990 年—2015 年 OECD 国家能源强度和分部门最终能源消费量变化趋势

Fig. 3 The Trend of OECD Members' Energy Intensity and Final Energy Consumption in Sub-sectors from 1990 to 2015

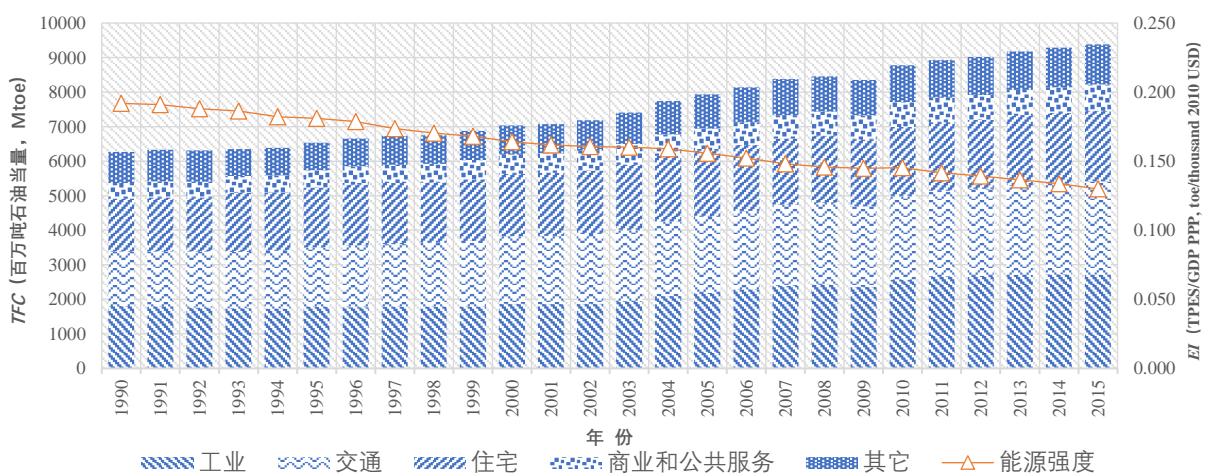


图 4 1990 年—2015 年全球能源强度和分部门最终能源消费量变化趋势

Fig. 4 The Trend of Global Energy Intensity and Final Energy Consumption in Sub-sectors from 1990 to 2015

从近 35 年间能源强度与最终能源消费量的变化趋势来看，中国的单位产值能源强度历经了大幅的下降，仅在 2003 年、2004 年出现了小幅的上扬，一直从 1990 年的 0.518 下降至 2015 年的 0.165，换言之，能源效率增至 3.12 倍。而最终能源消费总量则增至原来的 2.91 倍，从 654.314 Mtoe 攀升至 1905.679 Mtoe，工业部门的能源消费量为原来的 4.13 倍，交通运输部门为原来的 8.93 倍，住宅为原来的 1.08 倍，商业和公共服务部门为原来的 6.37 倍，其他部门为原来的 2.98 倍。按照图 1 中关于杰文斯悖论的量化判别公式，可见在考察时间

段, 各部门能源消费的回弹效应有较大差异, 整体经济的回弹效应明显 ( $R=1.933$ ), 可见存在明显的杰文斯悖论。

对于 OECD 国家, 能源效率增至 1.47 倍, 而最终能源消费总量增至原来的 1.17 倍, 工业部门、交通运输部门、住宅、商业和公共服务部门、其他部门分别为原有的 0.94 倍、1.31 倍、1.14 倍、1.41 倍、1.16 倍。可见, OECD 国家的回弹效应相较于中国来说, 要低得多, 可能主要缘于 OECD 国家所处的发展阶段和产业结构, 对能源的需求有所减缓。OECD 国家能源消费回弹效应较明显的是交通运输部门、商业和公共服务部门, 而整体经济的回弹效应明显 ( $R=1.409$ ), 存在杰文斯悖论。

从全球来看, 能源效率增至 1.48 倍, 而最终能源消费总量增至原来的 1.50 倍, 工业部门、交通运输部门、住宅、商业和公共服务部门、其他部门分别为原有的 1.50 倍、1.72 倍、1.34 倍、1.68 倍、1.29 倍。全球能源回弹效应较明显的部门则同样出现在交通运输部门、商业和公共服务部门, 另外工业部门也出现较强的回弹效应, 整体经济的回弹效应明显 ( $R=2.035$ ), 同样也存在杰文斯悖论。

根据前述的计算方法, 我们对 1990 年—2015 年跨时期的能源消费回弹效应进行了简单测算(见表 1), 可见除 OECD 国家的工业部门外, 其他考察的样本数据均呈现出了逆反效应。虽未逐年计算短期的回弹效应, 但基本可见杰文斯悖论在考察期间的确普遍存在。

表 1 1990 年—2015 年中国、OECD 国家及全球的能源消费回弹效应

Table 1 Rebound Effect of Energy Resources in China, OECD Members and Global Countries from 1990 to

2015

组 别	整体经济	部 门				
		工 业	交 通	住 宅	商 业 和 公 共 服 务	其 他
中 国	1.933	2.238	2.910	1.063	2.616	1.953
OECD 国家	1.409	0.839	1.713	1.333	1.904	1.379
全 球	2.035	2.040	2.389	1.746	2.332	1.646

#### 4 基于 $I=PAT$ 方程的杰文斯悖论检验

诚然, 正如 Blake Alcott (2005) 所说, 如今的一些反对者会认为这根本证明不了什么——是其它一些因素导致了增长, 对于更大体量的经济体来说, 即便是再多的资源也会被用完<sup>[19]</sup>。但是, 这的确是杰文斯最初从经验数据观察到悖论的最基本表现形式。John M. Polimeni (2007) 认为先前的研究仅考察了由某项具体技术改进所引起的总能耗的微小比例变化, 并不试图判定是哪些因素导致了回弹, 而能源效率的改进倾向于影响整个宏观经济领域, 因此引入了 Paul Ehrlich、John Holdren (1971)<sup>[20]</sup>建立的  $I=PAT$  模型来决定关键变量, 以提供了一个旨在全面理解能源消耗和能源效率关系的宏观层面分析。通过  $I=PAT$  理论可

以将资源消费作为对环境的影响 ( $I$ )，将它作为人口 ( $P$ )、富裕程度 ( $A$ ) 和技术 ( $T$ ) 三个影响能源消耗的宏观因素的函数。这个等式最先被杰文斯 (1865) 进行了验证，意味着环境的影响将随着人口、富裕（消费）和（或）技术的增加而增加 (John M. Polimeni, 2007)，而 Jevons 发现经济增长将导致人口增加，从而增加对煤炭的需求<sup>[21]</sup>。在此，我们参考已有成果对 IPAT 模型变量的设定和变量内涵的解释<sup>[22][23]</sup>，设定变量如下：

- (1) 环境影响 ( $I$ ) 用最终能源消费量 ( $TFC$ ) 数据表示；
- (2) 人口 ( $P$ ) 用总人口 ( $PT$ ) 数据表示；
- (3) 富裕程度 ( $A$ ) 用国内生产总值数据 ( $GDP$ , 按 PPP 法换算为 2010 年的不变美元价格) 表示；
- (4) 技术 ( $T$ ) 用能源效率数据 ( $\tau_F$ ) 表示。

采用 Thomas Dietz、Eugene A. Rosa (1994) 改进的随机影响回归模型 (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology, STIRPAT) <sup>[24]</sup>:

$$I = aP^bA^cT^d e$$

构建如下方程：

$$\ln TFC^i = a + b \ln PT^i + c \ln GDP^i + d \ln \tau_F^i + e$$

其中  $i$  代表组别，分别用 China、OECD、World 表示中国、OECD 国家、全球。对三个组别的模型进行回归，引入一阶自回归模型或二阶自回归模型对结果进行修正，并进行了异方差性检验 (Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey) 和序列相关性检验 (Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test)，结果列示如下 (括号内为 t 检验统计量)：

$$\begin{aligned} \ln TFC^{\text{China}} &= 53.04 - 1.61 \ln PT^{\text{China}} + 1.05 \ln GDP^{\text{China}} - 0.88 \ln \tau_F^{\text{China}} + 0.28 AR(1) - 0.18 AR(2) \\ &\quad (3.696) \quad (-2.229) \quad (29.197) \quad (-9.895) \quad (1.159) \quad (-1.015) \end{aligned}$$

$$R^2=0.998; \quad F\text{-statistic}=2260.513; \quad Durbin-Watson stat=1.860;$$

异方差： $Prob. F(3, 20)=0.966 > 0.05$ ；序列相关： $Prob. F(2, 16)=0.482 > 0.05$

$$\begin{aligned} \ln TFC^{\text{OECD}} &= -13.11 + 1.59 \ln PT^{\text{OECD}} + 1.11 \ln GDP^{\text{OECD}} - 1.09 \ln \tau_F^{\text{OECD}} + 0.93 AR(1) \\ &\quad (-0.563) \quad (1.434) \quad (19.896) \quad (-15.711) \quad (10.730) \end{aligned}$$

$$R^2=0.996; \quad F\text{-statistic}=1273.366; \quad Durbin-Watson stat=1.721;$$

异方差： $Prob. F(3, 21)=0.470 > 0.05$ ；序列相关： $Prob. F(2, 18)=0.923 > 0.05$

$$\begin{aligned} \ln TFC^{\text{World}} &= -34.17 + 2.60 \ln PT^{\text{World}} + 1.02 \ln GDP^{\text{World}} - 0.83 \ln \tau_F^{\text{World}} + 0.92 AR(1) - 0.0003 AR(2) \\ &\quad (-1.497) \quad (2.365) \quad (18.678) \quad (-9.533) \quad (38.829) \quad (-0.414) \end{aligned}$$

$$R^2=0.999; \quad F\text{-statistic}=10176.360; \quad Durbin-Watson stat=2.749;$$

异方差： $Prob. F(3, 20)=0.724 > 0.05$ ；序列相关： $Prob. F(2, 16)=0.151 > 0.05$

观察回归结果，可以得到如下结论：

(1) 人口因素对能源消费总量的影响不明显。在三个组别的回归方程中，人口变量的 t 统计量均不显著。虽然中国、OECE 国家和全球的总人口数从 1990 年到 2015 年分别增长了 21%、20% 和 39%，但是未显示出其是催生能源消费总量不断攀升的主要因素。我们在在

回归方程中选用了整体经济的能源消费总量，未建立分部门的能源消费量回归模型，但从表 1 所计算的回弹效应来看，与人口因素紧密联系的住宅部门的回弹效应相对较小，特别是中国住宅部门的回弹效应甚至接近于 1，能效政策基本完全回弹，仅处在逆反效应出现的边缘。

(2) 经济增长因素对能源消费总量的影响最为显著。在三个回归方程中，均呈现出了相同的结果，且 GDP 变化对能源消费总量的弹性系数均超过了 1，起到了一种强烈的正向相关关系。所以，可以认为经济的不断增长或富裕程度的不断提高是催生整体经济能源消费总量攀升的最主要因素。当然，经济的增长在某种程度上又是由技术进步因素引致的需求增加所催生的（马阳，1984；张国富，1997；杨立岩、王新丽，2004；赵志耘、吕冰洋、郭庆旺等，2007；吕冰洋、于永达，2008；刘伟、张辉，2008；任小军，2011），因此，这与杰文斯最初的质疑是不冲突的，也是杰文斯观察到并提出悖论的基本立足点。

(3) 技术进步因素显著的降低了能源消费。在三个方程中， $t$  统计量和能源效率变量的回归系数均显示出了显著的负向相关关系。能源效率的提高，的确明显地降低了能源消费，也即是通过提高能效来改善能源消费的思路和方向是正确的，可以驳斥“技术无用”的论断。这从表 1 中 OECD 国家的工业回弹效应在 1990 年—2015 年间仅为 0.839 也可以得到一定的印证，即此期间 OECD 国家的工业部门能源消费虽有部分回弹，但未超过初始的能源消费量，不存在杰文斯悖论。

综合上述结论，我们认为技术进步（能源效率的提高）显著地降低了能源使用量，但技术进步（与其他要素投入的增加）也催生了经济增长，在引致更大能源消费需求的同时，带来了更大的能源使用量，甚至超过了技术进步带来的能源使用量的节约，为此，杰文斯悖论在诸多领域一一呈现。

## 5 评论及政策启示

从一开始，机器、铁路、轮船和长途通信的使用就伴随着人们对煤炭可能耗竭的担忧。杰文斯的想法成为了关于自然资源枯竭辩论中的一个里程碑。杰文斯的经济分析采取了静态均衡理论的形式，因而不具备处理积累与增长这种动态问题的能力。杰文斯认为资本主义更像是一种自然现象，而非社会建构的现实，它无法找到对不断增长需求的解释，除了指向个人行为、马尔萨斯人口统计学和价格机制。杰文斯悖论背后的主要矛盾——资本主义内在的积累或扩大再生产的全部动力——都未在《煤炭问题》中得到分析。以阶级为基础的资本积累思想，作为资本主义无情增长动力的源泉，超出了他对事物的想象<sup>[7]</sup>。后世的学者认为杰文斯的估计出现了难以置信的偏差，他主要的错误是低估了石油、水力发电等煤炭替代资源的重要性，以至于凯恩斯（1936）在评论杰文斯的论断时，说道这是“过于夸张和言过其实的”<sup>[25]</sup>。但是，生态思想中的核心主题，诸如自然资源枯竭、回弹效应和经济增长的限制等，通过对煤炭问题的讨论，进入到了开放的状态。总的来说，这是一个生态意识不断提高的时期，在这个时期，政府和个人都在战略上解放思想和观念，即更重视在遥远未来的收益，而不是现在的享受。从这一角度来看，关于煤炭问题的讨论开启了一个时代，从此自然资源开始被设定为具有“较低的时间贴现率”<sup>[26]</sup>。

已有的研究表明，杰文斯悖论很可能并不仅仅存在于一个部门或产品中，而是总体经济范围的。而另一些实证研究也表明，效率对消费水平的影响不一定是直接的，而是由于它对发展途径的影响<sup>[27]</sup>。能源效率的提高减少了投入的消耗，这反过来又降低了生产成本。随着生产成本的下降，需求（即消费）增加。然而，在此情形下，人们消费得更多，导致了悖论。也如 John M. Polimeni (2007) 所述的，促进能源效率的政策自身很可能不会降低能源消耗，行为的改变必须伴随着减少能源消耗的公共政策的出台<sup>[21]</sup>。Richard York (2006) 也认为仅仅依靠技术进步来解决我们的环境问题，可能会带来灾难性的后果，需要修改社会和经济制度，才能将技术进步转化为对自然资源的保护<sup>[11]</sup>。

由于石油、天然气和水力发电的其他矿物燃料的使用，以及对整个地球资源的不断开发，杰文斯所预见的问题在历史的实际进程中被推迟。然而，鉴于在既定的生产和积累方式下，技术本身在不断催生经济规模，它无法使我们摆脱当前的资源与环境困境。为此，杰文斯悖论继续适用于当下，我们要么接受杰文斯的结论，要么采用杰文斯从未讨论过的选择，即社会生产关系的转型——在这样的社会治理导向下，不是追求利润，而是满足人们的真实需求和社会生态可持续性的要求<sup>[28]</sup>，在这样的系统中，效率不再是诅咒，平等、人类发展、社会和可持续性是明确的目标<sup>[7]</sup>。

从经济手段上来看，资源价格政策和环境税的征收可以在改变行为、进而防止或减少其回弹效应方面发挥关键作用。但通过税收来补偿回弹效应的确存在困难，因为它在技术、部门、国家和收入群体中各不相同。因此，在实施能源效率政策时，应制定适当的税收框架，考虑并尽量减少回弹效应。如旨在解决家庭回弹效应的税收政策（例如补偿由于家庭效率提高导致能源服务成本降低的间接税），除了适当的支出政策外，还应辅以工业政策，以促进生产部门减少其直接和间接的能源消耗。通过这些步骤的实施，消费者认为能源服务的成本没有减少（或未减少到最低限度），由此他们不打算增加自身的消费（或消费增加的幅度也是尽量最小）。为了保证政策的有效性，必须辅之以其他措施，如居民的有效沟通和认知、管制手段等。引导和鼓励消费者转向环保型和友好型的消费，是应对当前资源和环境问题的重要举措。最常用的方法之一是政府进行的舆论宣传，从而改变人们的消费行为和消费模式<sup>[29]</sup>。将传统效率措施与多维资源、环境政策有效结合，以应对回弹效应，将最大限度地提高节约能源政策的有效性。

## 注释：

（如有，请插在每页的脚注中，用①、②、③……编码。）

## 参考文献：

(可在文中直接输入文献序号, 如[1]、[2]、[3]等, 并以上标的形式标注, 相同文献在正文中仍标注同一文献序号; 本文采用的是插入尾注形式, 而对于相同的文献则采用了交叉引用, 最后把尾注中的文献拷贝出来, 按[1]、[2]、[3]……的顺序进行了整理, 以便于排版。我刊不作标注方法的要求, 但要求标注形式规范、清晰准确。)

- [1] MILL J S. *Principles of Political Economy with Some of Their Applications to Social Philosophy*[M]. John W. Parker, West Strand, London, 1848.
- [2] JEVONS W S. *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of our Coal-Mines*[M]. 2nd Editon. Macmillan, London, 1866.
- [3] 周吉光, 张举钢, 闫军印, 等. 技术进步是破解能源-环境约束的良方吗?——对杰文斯悖论的理论研究观察[J]. 河北地质大学学报, 2017, 40(5): 31-43.
- [4] JOHN M POLIMENI, KOZO MAYUMI, MARIO GIAMPIETRO, et al. *The Myth of Resource Efficiency: The Jevons Paradox*[M]. Routledge, 2008.
- [5] VEBLEN T. *The Theory of the Leisure Class: An Economic Study in the Evolution of Institutions*[M]. Macmillan, 1899.
- [6] HOTELLING H. The Economics of Exhaustible Resources[J]. *Journal of Political Economy*, 1931, 39(2): 137-175.
- [7] FOSTER J B, CLARK B, YORK R. Capitalism and the Curse of Energy Efficiency: The Return of the Jevons Paradox[J]. *Monthly Review*, 2010, 62(6): 1-12.
- [8] BROOKES L G. Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK[J]. *Energy Policy*, 1978, 6(2): 94-106.
- [9] BROOKES L. A Low Energy Strategy for the UK by G Leach et al: a Review and Reply[J]. *Atom*, 1979, 269: 3-8.
- [10] KHAZZOOM J DANIEL. Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances[J]. *Energy Journal*, 1980, 1(4): 21-40.
- [11] YORK R. Ecological Paradoxes: William Stanley Jevons and the Paperless Office[J]. *Human Ecology Review*, 2006, 13(2):143-147.
- [12] GOSSART C. Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature[M]// *ICT Innovations for Sustainability*. Springer International Publishing, 2015:435-448.
- [13] SAUNDERS H D. A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes[J]. *Energy Policy*, 2000, 28(6-7): 439-449.
- [14] SAUNDERS H D. Fuel conserving (and using) production functions[J]. *Energy Economics*, 2008, 30(5): 2184-2235.
- [15] 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.
- [16] DUMONT A, MAYOR B, LÓPEZ-GUNN E. Is the Rebound Effect or Jevons Paradox a Useful Concept for better Management of Water Resources? Insights from the Irrigation Modernisation Process in Spain[J]. *Aquatic Procedia*, 2013, 1:64-76.
- [17] CHAKRAVARTY D, DASGUPTA S, ROY J. Rebound effect: how much to worry?[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(2): 216-228.
- [18] PATTERSON M G. What is energy efficiency?[J]. *Energy Policy*, 1996, 24(5): 377-390.
- [19] ALCOTT B. Jevons' paradox[J]. *Ecological Economics*, 2005, 54(1): 9-21.
- [20] EHRLICH P R, HOLDREN J P. Impact of population growth[J]. *Science*, 1971, 171(3977): 1212.
- [21] POLIMENI J M. Jevons' Paradox and The Economic Implications for Europe[J]. *International Business and Economics Research Journal*, 2007, 6(10): 109-120.
- [22] 王永刚, 王旭, 孙长虹, 等. IPAT 及其扩展模型的应用研究进展[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 949-957.
- [23] 钟兴菊, 龙少波. 环境影响的 IPAT 模型再认识[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(3):

61-68.

- [24] DIETZ T, ROSA E A. Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology[J]. *Human Ecology Review*, 1994, 1(2): 277-300.
- [25] FOSTER J B. Capitalism's environmental crisis—is technology the answer?[J]. *Monthly Review*, 2000, 52(7): 1.
- [26] MADUREIRA N L. The anxiety of abundance: William Stanley Jevons and coal scarcity in the nineteenth century[J]. *Environment and History*, 2012, 18(3): 395-421.
- [27] YORK R, MCGEE J A. Understanding the Jevons paradox[J]. *Environmental Sociology*, 2016, 2(1): 77-87.
- [28] CLARK B, FOSTER J B. William Stanley Jevons and the coal question: An introduction to Jevons's "Of the Economy of Fuel"[J]. *Organization & Environment*, 2001, 14(1): 93-98.
- [29] FREIRE-GONZÁLEZ J, PUIG-VENTOSA I. Energy efficiency policies and the Jevons paradox[J]. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2015, 5(1): 69-79.

- <sup>1</sup> MILL J S. *Principles of Political Economy with Some of Their Applications to Social Philosophy*[M]. John W. Parker, West Strand, London, 1848.
- <sup>2</sup> JEVONS W S. *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of our Coal-Mines*[M]. 2nd Editon. Macmillan, London, 1866.
- <sup>3</sup> 周吉光, 张举钢, 闫军印, 等. 技术进步是破解能源-环境约束的良方吗?——对杰文斯悖论的理论研究观察[J]. 河北地质大学学报, 2017, 40(5): 31-43.
- <sup>4</sup> JOHN M POLIMENI, KOZO MAYUMI, MARIO GIAMPIETRO, et al. *The Myth of Resource Efficiency: The Jevons Paradox*[M]. Routledge, 2008.
- <sup>5</sup> VEBLEN T. *The Theory of the Leisure Class: An Economic Study in the Evolution of Institutions*[M]. Macmillan, 1899.
- <sup>6</sup> HOTELLING H. The Economics of Exhaustible Resources[J]. *Journal of Political Economy*, 1931, 39(2): 137-175.
- <sup>7</sup> FOSTER J B, CLARK B, YORK R. Capitalism and the Curse of Energy Efficiency: The Return of the Jevons Paradox[J]. *Monthly Review*, 2010, 62(6): 1-12.
- <sup>8</sup> BROOKES L G. Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK[J]. *Energy Policy*, 1978, 6(2): 94-106.
- <sup>9</sup> BROOKES L. A Low Energy Strategy for the UK by G Leach et al: a Review and Reply[J]. *Atom*, 1979, 269: 3-8.
- <sup>10</sup> KHAZZOOM J DANIEL. Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances[J]. *Energy Journal*, 1980, 1(4): 21-40.
- <sup>11</sup> YORK R. Ecological Paradoxes: William Stanley Jevons and the Paperless Office[J]. *Human Ecology Review*, 2006, 13(2):143-147.
- <sup>12</sup> GOSSART C. Rebound Effects and ICT: A Review of the Literature[M]// *ICT Innovations for Sustainability*. Springer International Publishing, 2015:435-448.
- <sup>13</sup> SAUNDERS H D. A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom–Brookes[J]. *Energy Policy*, 2000, 28(6–7): 439-449.
- <sup>14</sup> SAUNDERS H D. Fuel conserving (and using) production functions[J]. *Energy Economics*, 2008, 30(5): 2184-2235.
- <sup>15</sup> 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.
- <sup>16</sup> DUMONT A, MAYOR B, LÓPEZ-GUNN E. Is the Rebound Effect or Jevons Paradox a Useful Concept for better Management of Water Resources? Insights from the Irrigation Modernisation Process in Spain[J]. *Aquatic Procedia*, 2013, 1:64-76.
- <sup>17</sup> CHAKRAVARTY D, DASGUPTA S, ROY J. Rebound effect: how much to worry?[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(2): 216-228.
- <sup>18</sup> PATTERSON M G. What is energy efficiency?[J]. *Energy Policy*, 1996, 24(5): 377-390.
- <sup>19</sup> ALCOTT B. Jevons' paradox[J]. *Ecological Economics*, 2005, 54(1): 9-21.
- <sup>20</sup> EHRLICH P R, HOLDREN J P. Impact of population growth[J]. *Science*, 1971, 171(3977): 1212.
- <sup>21</sup> POLIMENI J M. Jevons' Paradox and The Economic Implications for Europe[J]. *International Business and Economics Research Journal*, 2007, 6(10): 109-120.
- <sup>22</sup> 王永刚, 王旭, 孙长虹, 等. IPAT 及其扩展模型的应用研究进展[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 949-957.
- <sup>23</sup> 钟兴菊, 龙少波. 环境影响的 IPAT 模型再认识[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(3): 61-68.
- <sup>24</sup> DIETZ T, ROSA E A. Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology[J]. *Human Ecology Review*, 1994, 1(2): 277-300.
- <sup>25</sup> FOSTER J B. Capitalism's environmental crisis—is technology the answer?[J]. *Monthly Review*, 2000, 52(7): 1.
- <sup>26</sup> MADUREIRA N L. The anxiety of abundance: William Stanley Jevons and coal scarcity in the nineteenth century[J]. *Environment and History*, 2012, 18(3): 395-421.
- <sup>27</sup> YORK R, MCGEE J A. Understanding the Jevons paradox[J]. *Environmental Sociology*, 2016, 2(1): 77-87.

- 
- <sup>28</sup> CLARK B, FOSTER J B. William Stanley Jevons and the coal question: An introduction to Jevons's "Of the Economy of Fuel"[J]. *Organization & Environment*, 2001, 14(1): 93-98.
- <sup>29</sup> FREIRE-GONZÁLEZ J, PUIG-VENTOSA I. Energy efficiency policies and the Jevons paradox[J]. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2015, 5(1): 69-79.