

“云能源”效率的内生增长效应研究

——嵌套能效提升模型的经济可持续增长分析

沈 曦

(常州天合光能有限公司,江苏 常州 213001)

摘要:通过动态优化的宏观经济增长模型,对建立在“云能源”基础上的宏观经济内生增长模式进行了理论分析,并结合中国 1995 - 2014 年的宏观经济数据进行了实证检验,发现云能源能通过充分激发个体的能效改进行为推动宏观经济的可持续增长,显示能源消耗的效率对于区域经济增长有着重要的意义,提高能效水平能显著降低“尾效”(Tail Drag)影响,由此证实在以东部少数省份为代表的发达地区,受制于当前能源约束,市场机制已经促使能耗效率开始实现内生性提高,为经济长期可持续增长提供动力。

关键词:云能源;能源互联网;经济增长;动态优化

中图分类号:F264 **文献标识码:**A **文章编号:**1008 - 5092(2019)01 - 0032 - 09

一、研究背景

能源作为经济社会发展的基础,对于经济可持续发展的意义已经在学术、政策、商业等各大领域得到了重视和研究^[1-5]。基于分布式能源的能源互联网作为一个新兴的概念在理论和应用层面都得到了海量的分析讨论和实践。根据里夫金在著作《第三次工业革命:新经济模式如何改变世界》中的论述,全新的能源系统应该以可再生分布式能源 + 互联网为核心,实现分布式发电和电动汽车的广泛接入以及人人参与的公平交易。在实践端,Navigant2016 年第三季度发布的研究报告指出,在环境、政策、经济等多方面的压力下,能有效控制和调度分布式能源(Distributed energy resource, DER)的智能化控制系统将成为未来 20 年能源领域发展的重点。这一系统将改变传统的单向能源传输模式,在输电网络的边缘层级构建一个以满足快速增长并且日益多样化的能源需求。而这一系统的核心——双向动态交互的能源系统网络的建立和运营必须依赖于云能源(energy cloud)这一源自互联网思维的概念和

模式。

鉴于此,本文旨在讨论云能源架构下能源消费和使用效率的提高对于经济增长的意义,将依托内生增长模型证明,这种新型的能源市场架构和组织形式将充分调动参与主体的能效优化积极性,从而不断推动单位能耗生产力的提高,实现经济的持续增长。

二、相关文献综述

本文涉及的领域包括了云能源和能源经济学两个层面。在这一章节将重点通过论述能源经济学的相关文献引出云能源对于经济发展的意义,并且由此搭建本文涉及的理论模型。

1. 云能源和能源互联网相关文献综述

云能源(Moghaddam et al. 2015)^[6],通过渗透到个体单元的配电网系统和数据传输网络将各种用户连接到公共平台,依托双路(two-way flow)能量模式实现资源的共享。最终通过云层面的调度控制系统就可以将全社会的能源供求关系得以有效串联,依托数据收集、分析和处理的结果,高效调度经济社会的富余能源以满足峰谷需求的波

收稿日期:2018-08-17

作者简介:沈曦(1987—),男,江苏常州人,高级研究员,博士,研究方向:能源产业竞争结构、经济增长、社会福利经济学分析。

动,从而实现能源利用率的提高。

针对云能源的文献大体上可以分成两类:一部分文献立足于云计算技术对于微观能效管理和宏观能源调度的价值意义做理论和实证层面的论证。如 Chia-Yu Hsu 等(2014)^[7]构建了基于运输系统的云计算平台,并且证明了这样的平台能有效提高交通调度的水平,从而降低二氧化碳等的排放;E Feller 和 C Morin(2014)^[8]基于平行算法证明了虚拟的调度平台能提高电力资源跨区调度的速度和准确性,从而提高实体电厂和虚拟个体的运营效率;而 Vishwanath 等(2015)^[9]论证了云计算技术在提高终端用户能效水平上的贡献和能力,并且通过 Google Drive 和 Microsoft Skydrive 平台上的数据模拟证实了这项研究的应用价值。

另一部分的研究则立足于能源互联网更为实践层面的讨论,将云能源的概念落实到以能源路由器等为代表的层面,通过设计或讨论提高电网和能源网络调度效率和优化水平的系统技术进一步发展云能源的概念和应用。如 Bretschger 等(2015)^[10]整合了智能电网、能源互联网、工业 2.0 等新兴技术和概念,搭建智能化区域能源网系统;Sun 等(2015)^[11]在应用端以学校能源结构为例搭建了系统化的冷热电三联调度系统,证明了智能化控制下的调度系统能显著提高用电单元的能效水平。Chen 等(2015)^[12]结合中国可再生能源快速发展的现实情况提出,只有构建能灵活适应可再生能源电力的配电网系统,辅之智能化路由器调度才能适应当前的能源结构转型。

汇总文献的讨论,云能源的架构基础包括四个层面:(1)分布式能源的大量应用构成了云能源系统的基础;(2)智能化和集成化的能源传输和配送体系;(3)要素是能源接入的互动式和个性化;(4)通过区域模块化和模块间的并行化解决策略极大地提高了各个区域内部的能效水平。

2. 基于能源效率的经济增长理论文献综述

在理论研究方面,能源经济学可以追溯到环境库兹涅茨曲线理论^[13],在经济发展过程中,环境状况先是恶化而后得到逐步改善,对这种关系的理论解释主要是围绕三个方面展开:经济规模效应与结构效应、环境服务的需求与收入的关系和政府对环境政策的政策与规制。结合内生增长模型的环境经济学研究已经取得了很大的进展,当前,前沿研究基于的 3E 框架(能源 Energy—经济 Economy—环境 Environment)^[14-17],通过衡量

一个经济体的能耗水平以及环境污染程度两项指标评判经济发展模式的可持续性。研究指出,可持续增长不能单方面强调技术进步,对可再生资源的合理利用也是实现可持续增长的有效途径。

在实证分析层面的研究主要分为三类:在规范分析层面,论文主要侧重于针对环境因素和经济增长的因果关系分析,方法上主要依托的是格兰杰因果检验框架(Soytas 和 Sari,2007^[18];Henryk 和 Lukasz,2012^[19];龙少波等,2015^[20])。在模型化定性分析层面,Romer(2001)^[21]架构的参数化模型提供了“增长尾效”的分析框架:假设在没有资源限制的情况下,经济有一个潜在的增长速度,资源的限制必然使得经济增长的速度降低。而能源政策的核心就在于如何降低能源限制对经济增长的不利影响。包括 Bruvoll(1999)^[22],魏楚(2007)^[23],李影(2015)^[24],Kyriakopoulou(2014)^[25]以及 Katrakilidis(2015)^[26]在内的一批文献,借助区域市场和国家的宏观经济增长和能源消耗的数据,实证检验资源投入对经济发展的限制作用。而针对参数化模型受到生产函数形式假设限制的问题,Farrell(1965)^[27]架构的数据包括分析(DEA)提供了有效的解决方案,Zaim 等(2000)^[14],Moghaddam(2015)^[6]和汪克亮等(2015)^[28]均采用 DEA 方法构建计量模型,对能源经济效率和环境效率的关系进行了分析。

尽管在实证层面,经济和环境以及能源消费之间的关系被广泛讨论,但对于新型能源结构下,能效提升对经济增长的内生性促进作用却相对缺乏,而这正是本文立足讨论和需要解决的问题。

3. 文献评论和本文贡献

结合以上综述的文献不难看出,能源经济学层面的文献目前依旧停留在针对能源种类和使用效率的讨论上。在本文中,云能源被定义为基于智能化技术,能实现对分布式能源的接入、调度、分配和优化,通过平衡能源市场供求最大化能源消耗效率的技术构架。而且这样的架构能实现能源的双向流动和弹性调配。由于双向能源流动模式代替了传统的单向流通,源自节能的收益的个体能效改进积极性得到了进一步的提高,从而拉动社会能源消费效率的持续提高,突破传统能源格局的“尾效”瓶颈,进而形成经济的内生性增长。本文将立足于这一双重机制,从内生增长模型出发证明云能源在提高社会能效水平和经济增长可持续上的贡献和作用。

三、“云能源”架构的内生经济增长模型

1. 生产函数和动态投入

借鉴 Lucas 的社会生产函数模型,除了传统的三要素:技术(A)、资本(K)和劳动力(L)以外还包含了资源要素(E)。

$$Y(t) = K(t)^\alpha [\phi L_Y(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\phi) E_Y(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}]^{\frac{(1-\sigma)\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

在资本积累方面:

$$\dot{K}(t) = AB(t) L_K(t)^\beta E_K(t)^{1-\beta} \quad (2)$$

其中 A 为一个常数,代表社会的资本积累率,而 $B(t)$ 则视为社会科技水平。

考虑到资本积累过程的外溢效应, $B(t)$ 可以进一步用简单的线性函数表示:

$$B(t) = DK(t) \quad (3)$$

折旧因素可以在参数 D 中得到体现,即 D 衡量了资本要素的净增长幅度。

在人力资本层面,基于人力资本理论^[29],可以用动态微分方程得以描述:

$$h_{t+1} = (1 + \lambda) h_t \quad (4)$$

其中, $\lambda = \psi(h_t, A_t)$, 积累速度取决于已有技术水平和存量。

在能源投入方面,时间 t 的可支配能源效率尽管总量受到限制,但效率可以得到提高:

$$\hat{E} = (1 + \omega) \bar{E} \quad (5)$$

模型核心 $\omega = \varphi(P_E(t), A_t)$, 表明能源使用效率受到能源价格和技术水平的影响,在云能源架构下,能源价格 $P_E(t)$ 能更大地发挥市场调节作用,对个体能耗单位产生激励作用,从而推动整个经济社会能耗水平的提高。

综上,社会宏观产出模型面临的投入资源动态过程可以归纳为:

$$\begin{cases} (L_Y(t) + L_K(t)) h_t = h_t \bar{L} \\ E_Y(t) + E_K(t) = (1 + \omega) \bar{E} \\ h_{t+1} = (1 + \lambda) h_t \\ \hat{E} = (1 + \omega) \bar{E} \end{cases}$$

2. 优化目标和一阶条件

宏观经济的最终目标是实现社会效用最大化。在常弹性效用函数的假设下,社会动态效用可以表示为:

$$U(t) = \int_0^\infty e^{-\rho t} \frac{C(t)^{1-\sigma_c}}{1-\sigma_c} dt \quad (6)$$

其中 ρ 为贴现率

优化面临的约束条件包括

$$\begin{cases} \text{劳动力投入约束:} \\ L_Y(t) + L_K(t) = \bar{L} \\ \text{能源投入约束:} \\ E_Y(t) + E_K(t) = \bar{E} \\ \text{资本积累方程:} \\ \dot{K}(t) = AB(t) L_K(t)^\beta E_K(t)^{1-\beta} \\ \text{消费资源规模约束:} \\ P_Y(t)C(t) = P_Y(t)Y(t) - P_E(t)E(t) \end{cases} \quad (7)$$

$P_Y(t)$ 和 $P_E(t)$ 分别代表产出和能源的价格水平。

根据汉密尔顿定理构建优化模型:

$$\begin{aligned} H = & \int_0^\infty e^{-\rho t} \frac{C(t)^{1-\sigma_c}}{1-\sigma_c} dt + \mu_Y [P_Y(t)Y(t) - P_E(t)E(t)] + \\ & \mu_K AB(t) L_K(t)^\beta E_K(t)^{1-\beta} + \mu_L [h_t \bar{L} - (L_Y(t) + L_K(t)) h_t] + \mu_E [(1 + \omega) \bar{E} - E_Y(t) - E_K(t)] + \mu_h (h_{t+1} - (1 + \lambda) h_t) + \\ & \mu_\omega (\hat{E} - (1 + \omega) \bar{E}) \end{aligned} \quad (8)$$

相对应的一阶条件为:

$$\begin{cases} U'(C) = \mu_Y P_Y(t) \\ \mu_Y P_Y(t) Y_L'(t) = \mu_L h_t \\ \mu_K AD(K) \beta L_K(t)^{\beta-1} E_K(t)^{1-\beta} = \mu_L h_t \\ \mu_Y P_Y(t) Y_E'(t) = \mu_E \\ \mu_K AD(K) (1 - \beta) L_K(t)^\beta E_K(t)^{-\beta} = \mu_E \\ \mu_Y P_E(t) = \mu_E (1 + \omega) \\ \mu_Y P_Y(t) Y_K'(t) + \mu_K AD L_K(t)^\beta E_K(t)^{1-\beta} = \rho \mu_K - \dot{\mu}_K \end{cases} \quad (9)$$

其中针对劳动力投入 $L_Y(t)$ 和 $L_K(t)$, 以及针对能源投入 E 的一阶条件发生了变化,而在新的一阶条件下,可以推导出动态优化的消费路径为

$$C = \frac{AD L_K(t)^\beta E_K(t)^{1-\beta} - \rho}{1 - \alpha(1 - \sigma_c)} * (1 + \omega) \quad (10)$$

其中可以证明只要满足 $1 - \alpha(1 - \sigma_c) > 0$ 的条件, ω 就能被认为是推动稳态 C 增长的动力

之一。

综合以上的分析,可以得出以下两个结论:一方面,在最优消费路径下,消费水平和技术水平 A 依然存在正向关系,而从影响途径上看,技术水平对产出和消费的增长通过资本积累方程 3,人力资本积累方程 4,和能效使用效率方程 5 共同影响经济。尤其是在后两个因素上,尽管人力资源和能源资源在总量上没有提高,但通过资源质量和使用效率的改善,同样能对宏观经济增长起到贡献。

另一方面,能源价格变量 $P_E(t)$ 尽管没有直接出现在最优消费解之中,但从机制上讲, $P_E(t)$ 对于经济的影响有两个不同方向的路径。消极方面,更高的能源价格会降低投资的需求和生产能力,从而抑制经济增长;但是积极方面,更高的能源价格能促进能效使用效率的提升,潜在提高了经济中可支配能源的规模,对于长远经济增长产生了积极作用。这是内生模型的一个重要发现和改进。

3. 云能源的内生增长效应

通过以上的讨论可以看出能源要素作为经济投入中的重要部分,其使用效率对于经济长期增长的意义和影响是不可忽略的。新模型对于云能源对宏观经济增长影响机制的解释可以归结为以下三点:

首先,能源使用效率源自经济体中能耗单元的主动行为,在经济利益的刺激下能实现自我提升和改进,而这样的行为对于提升整体经济能效水平,突破能源限制有着重要的意义。

其次,在宏观经济长期增长中,通过能源价格作为市场调节信号,依托技术进步,整体社会的能效水平能在自发性行为下实现持续增长,并且持续推动经济增长。

第三,云能源通过创新的能源市场结构,整合了经济体中的产消型能源个体,通过更加灵活的交易机制,充分激发能耗个体的积极性,从而提高经济生产的能效水平,实现高质量的内生性增长。

4. 实证模型的计量方法

基于阐述的实证计量模型框架,本文的数据实证依托中国省级宏观数(1995 - 2014),主要完成三方面的检验:

(1)能源使用效率和 GDP 的增长存在正相关关系,更高的能源使用效率能有效降低 GDP 增长中的“尾效”影响。

(2)内生化的能源使用效率在 GDP 增长中能成为持久的推动力,确保经济增长的可持续性。

(3)在更加开放的能源市场环境下,以能源价格为导向的能源市场能激发能源使用效率的内生化提高。

针对第一个问题涉及“尾效”影响的计量建立在对数形态的柯布 - 道格拉斯函数之下,对时间 t 取对数以后可以得到:

$$g_y(t) = g_A(t) + \alpha g_k(t) + \beta g_E(t) + (1 - \alpha - \beta) g_L(t) \tag{11}$$

GDP 长期的增长率取决于技术进步速度、资源变动率和人口增长率:

$$g = \frac{g_A + \beta g_E + (1 - \alpha - \beta) g_L}{1 - \alpha} \tag{12}$$

因此实证公式只需要通过求解 $Drag = \frac{\beta(g_E + g_L)}{1 - \alpha}$ 就可以得出尾效指标的计量。

第二个问题涉及能耗使用效率的内生化检验。Farrell 的论述,经济效率可以分为技术效率和配置(效率技术效率指现有资源最优利用的能力,即在给定各种投入要素的条件下实现最大产出,或者给定产出水平下投入最小化的能力,配置效率则要求在一定的要素价格条件下实现投入产出最优组合的能力)。数据包络分析(DEA)^[19] 提供了有效的计量模式,基于的是(非)线性优化方案实现对两个指标的有效区分。

在实际计量过程中,一个区域的能源使用效率 EE (Energy efficiency) 可以通过以下公式计量:

$$EE_{i,t} = \frac{AEI_{i,t} - LEI_{i,t}}{AEI_{i,t}} \tag{13}$$

其中 $AEI_{i,t}$ 为实际投入的能源规模, $LEI_{i,t}$ 为对比最优配置浪费的能源规模。 EE 取值越接近 1,说明资源的配置效率越高。

得出了一个区域在连续时间段的资源配置效率以后,通过时间序列的相关性分析就可以验证能效指标的内生性变动。

第三个问题需要针对 29 个省市自治区的能效情况做出对比结论。在综合已经讨论的关于各省能源尾效约束和能效内生性程度的基础上,这个问题重点考察的是当前经济背景下各省的能源使用情况。借用聚类分析方法,综合前两项研究的结果分析各地在能源消费和经济增长两项指标上的协同效应。

四、中国省级数据(1995 - 2014) 实证分析

1. 数据样本概况

本文实证分析所需要的数据样本来自中国统计年鉴(1995 - 2014)和中国劳动力市场统计年鉴(1995 - 2014)。主要包括了 $Y(t)$ GDP(以 2000 年为基年的 GDP 平减指数折算)、 $L(t)$ 就业规模、 $K(t)$ 固定资本总额(基于年投资额和“永

续盘存法”进行折算)和 $E(t)$ 能源投入(统一为(吨)标准煤)四个方面的数据。

表 1 给出了各个统计变量的基本描述性指标。对比各个指标的平均值和中位值不难看出,各项指标的样本分布基本都呈现显著的左偏。而且这样的现象在 GDP、投资和能源投入三个指标上尤为明显。再对比最小值和最大值,更能发现各省市之间的投入产出差距悬殊,这说明经济增长显著地偏向于少数发达地区。

表 1 样本概况

变量	平均值	标准差	中位数	最大值	最小值
GDP	8669.59	10092.07	5038.52	62474.79	184.17
投资	5202.56	6970.98	2205.85	42495.53	55.58
劳动力投入	473.28	304.37	409.69	1966.98	47.02
能源投入	9160.09	7485.62	7237.29	47614.54	211.76
样本容量	551	551	551	551	551

第二方面转向 GDP 增长和能效变量之间的相关性考察。图 1 描述了 GDP 增长率和单位能耗产出的对比关系。从图中可以直观地看出只有前五年(1995 - 2000),单位能耗产出和 GDP 增长率呈现出了显著负相关关系。2001 - 2014 年的

样本则说明了我国 GDP 增长对于能耗效率的要求在不断提高。相比传统的粗放型增长模式(1995 - 2000 期间),GDP 的增长逐渐摆脱高投入低效率的模式,对于单位能耗的经济产出提出更高的要求,本质上是增长模式质的提升。

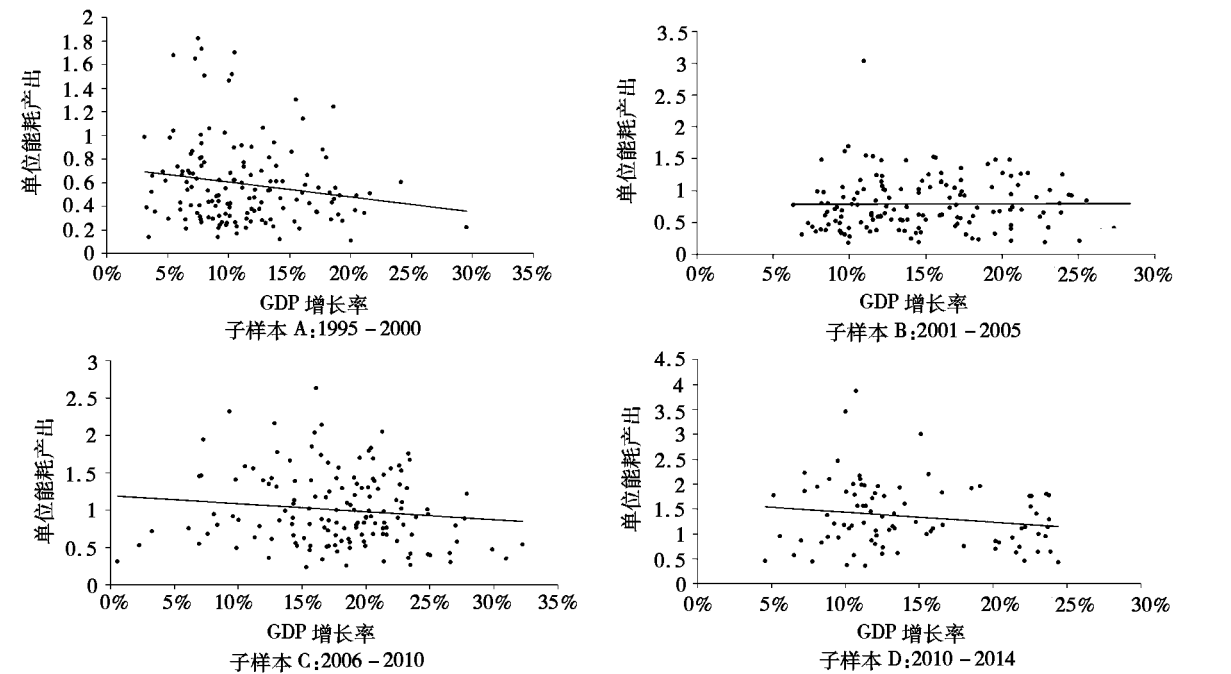


图 1 GDP 增长率和单位能耗产出的关系对比

2. 实证计量结果

针对在第一小节提出的三个问题,首先需要的是基于面板数据计量生产函数,在柯布 - 道格拉斯型函数的假设下,模型选用了三种计量框架

(6 个模型),传统的 OLS、克服异方差的 GLS 和面板数据模型的固定效应以及一阶差分计量,参数估计结果见表 2。

表 2 生产函数参数估计结果

	OLS		GLS		Panel Data	
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
constant	0.022 * * * (0.001)	0.019 * * * (0.001)	0.019 * * * (0.002)	0.020 * * * (0.002)	0.019 * * * (0.001)	0.019 * * * (0.001)
$K(t)$	0.599 * * * (0.24)	0.599 * * * (0.21)	0.579 * (0.33)	0.580 * (0.38)	0.601 * * * (0.29)	0.600 * * (0.32)
$L(t)$	0.312 (0.33)	0.301 * * (0.13)	0.291 (0.22)	0.277 (0.29)	0.251 (0.27)	0.257 (0.31)
$E(t)$	0.10 (0.13)	0.11 (0.09)	0.132 * * * (0.06)	0.146 * * * (0.07)	0.148 * * * (0.07)	0.144 * * (0.08)
R^2	0.61	0.66	0.59	0.63	0.66	0.65
T Dummy	No	Yes	No	Yes	Fixed eff	Diff-in-Diff

不难看出，三种不同的估计框架下的六个模型在各系数估值上的差异并不显著，但是在同一个估计框架下，引进时间虚拟变量能显著提升拟合优度。而面板数据的估计结果无论是在有效性水平上还是参数显著性上都更有优势，因此在后续讨论中将依据模型 5 的固定效应 (fixed effect)

计量结果展开。

根据“尾效”估计的方法和框架，在得到了估计结果以后，根据区域经济中的能源投入变动率和劳动力增长率就可以构建尾效指标的度量。基于样本中 29 个省市自治区的计量结果如图 2 所示。

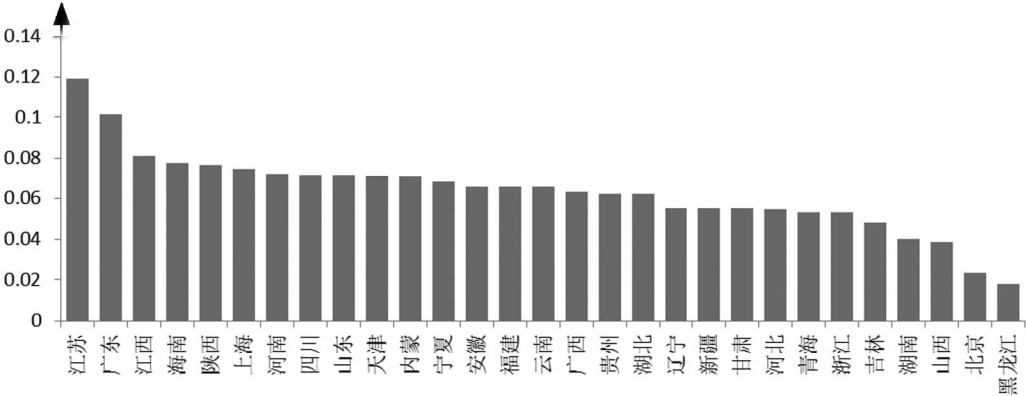


图 2 区域经济能源尾效计量结果

在样本 29 个省市自治区的尾效指标排名中，江苏、广东为代表的经济发达地区基本都面临较为严重的能源投入约束。与此同时，东北、西部等能源大省则在这一指标上排名相对较后，说明这些地区能源投入尚未成为经济增长的障碍。值得注意的是浙江和北京尽管经济发展水平在全国名列前茅，但是尾效指标却相对理想，分别位于 24 位和 28 位，远远优于江苏、广东、上海等地。这部分和当地的经济结构有着密切的关系。理论模型的第一个结论“能源使用效率和 GDP 的增长存在正相关关系”得以验证。

在能效水平的内生性考察上，模型基于以上阐述的数据包络分析 (DEA) 框架，在 DEAP2.1 软件下很容易对样本中每一个点的能耗效率做出计

算和测度，计量见表 3。

从表中的测算结果中不难看出，以上海、浙江和北京等相对发达地区为代表的省市能源使用效率处于全国相对领先的水平。而宁夏、甘肃和山西等地区的能效水平则比较落后。

具体到每一个省份的考察和分析，可以对数据结论做出更加详细的解释：一方面，产业结构会影响到地区的能源使用效率；以上海、北京等为代表的发达地区，较早摆脱了对高能耗产业的依赖，支柱产业转型为高附加值低能耗的服务业，因此相应的能耗效率也领先于其他地区。但另一方面，以山西为代表的能源生产地，得益于相对充足的本地资源，提高能效水平的动力相对不足，也在一定程度上导致了能效水平长期得不到提高。同

表 3 基于 DEA 测算了各省能效指标排名

排名	1995 - 2000		2001 - 2005		2006 - 2010		2011 - 2014	
	省份	能效	省份	能效	省份	能效	省份	能效
1	上海	1	云南	1	湖南	1	北京	1
2	浙江	0.91	海南	0.91	上海	0.93	黑龙江	0.93
3	天津	0.86	上海	0.88	北京	0.89	上海	0.91
4	广西	0.81	浙江	0.87	浙江	0.88	浙江	0.89
5	海南	0.8	湖南	0.82	云南	0.87	云南	0.88
6	湖南	0.8	北京	0.81	黑龙江	0.86	湖南	0.83
7	北京	0.79	江西	0.8	吉林	0.77	广西	0.77
8	湖北	0.77	黑龙江	0.77	福建	0.75	吉林	0.76
9	山东	0.75	四川	0.77	广西	0.75	福建	0.75
10	江西	0.73	吉林	0.74	海南	0.73	湖北	0.72
11	吉林	0.71	福建	0.74	安徽	0.72	江苏	0.7
12	福建	0.7	湖北	0.73	湖北	0.71	四川	0.7
13	云南	0.7	天津	0.71	江西	0.7	安徽	0.69
14	黑龙江	0.68	安徽	0.7	天津	0.69	海南	0.68
15	安徽	0.67	广西	0.68	山东	0.68	江西	0.68
16	青海	0.67	山东	0.67	江苏	0.67	辽宁	0.67
17	辽宁	0.66	江苏	0.66	新疆	0.66	天津	0.66
18	广东	0.65	新疆	0.65	广东	0.66	山东	0.66
19	河南	0.63	辽宁	0.63	河南	0.66	广东	0.66
20	内蒙古	0.63	广东	0.63	四川	0.65	河南	0.63
21	四川	0.62	河南	0.62	陕西	0.65	陕西	0.63
22	江苏	0.61	青海	0.61	青海	0.63	河北	0.61
23	宁夏	0.6	陕西	0.61	山西	0.63	新疆	0.59
24	河北	0.59	河北	0.6	辽宁	0.61	青海	0.59
25	新疆	0.58	内蒙古	0.59	河北	0.6	内蒙古	0.59
26	陕西	0.57	甘肃	0.56	贵州	0.57	贵州	0.55
27	山西	0.56	宁夏	0.54	内蒙古	0.55	宁夏	0.55
28	贵州	0.5	贵州	0.52	甘肃	0.51	甘肃	0.53
29	甘肃	0.49	山西	0.51	宁夏	0.41	山西	0.33

时技术水平也是限制一个区域能效水平提高的重要因素,相比排名靠前的省份,排名相对落后的地区当地经济发展水平和技术水平都在全国处于靠后的位置,缺乏技术的输入和高效率设备的投资在很大程度上也限制了这些地区能效水平的提高。

除了针对表格中纵向的跨省对比,横向的跨时间对比对于结论同样重要,尤其是在解释能效水平内生性方面。值得注意的是,以黑龙江、北京、江苏等为代表的地区,能效指标在过去的 20 年间一直处于持续提高的状态。遗憾的是,山西、天津等地的能效水平却在样本期间内出现了显著的降低,以至于落后全国平均水平。

从深层次的原因上看,两个因素共同主导了这样的变化。一是产业转型,以北京等为代表的

大型城市,在过去的 20 年间,产业结构经历了持续有效的优化,高附加的服务业替代了低附加值的制造业。这样的结构性变化对于经济能效提升的影响力是不言而喻的,并且将继续推动这些地区的能源使用效率领跑全国。另一个因素是能源消费的压力,以江苏为代表的地区,在改革开放以后依靠制造业的快速发展经济得到了质的飞跃,但是随着可投入资源的减少,经济发展空间被限制。在这样的背景下,当地上至政府下至用能单位纷纷积极寻求能效提升的有效解决方案,并且催生了一大批以能效管理、能效优化为主导的新兴服务性企业,这些产业的快速成长为当地的能效水平提高起到了不可忽视的作用和影响。

结合这两点的分析,数据实证结果为理论模型的第二个结论:能效指标的内生性增长提供了

有力的支持和佐证。

最后的分析着眼于能源经济和能效指标的辩证关系。理论模型指出,两者能实现交互作用,相互促进。为了验证这一结论,实证分析使用 GDP 增长率、能耗效率和“尾效”影响三个指标对 29 个样本地区进行聚类分析。如果理论模型得以证实,期望中的实证分析应该能观察到三个变量指标之间的正相关关系。聚类分析的结果见表 4。

表 4 聚类分析结果

组别	组内包含的省市自治区	指标均值		
		GDP 增长率	能耗效率	尾效指数
1	北京、海南、黑龙江、湖南、上海、云南、浙江	0.13	0.857	0.085
2	安徽、福建、广东、广西、河南、湖北、吉林、江苏、江西、辽宁、山东、四川、天津	0.14	0.698	0.066
3	甘肃、贵州、河北、内蒙古、宁夏、青海、山西、陕西、新疆	0.15	0.571	0.043

在一类分组中,以北京、海南等为代表的省市,在能耗效率上表现出显著的领先优势,但是同样也面临更高的尾效指数,这再一次证明,能源市场压力能激发区域经济效益提升的内生化发展和优化。而二类分组覆盖面最广,既包含了传统的经济发达省市如江苏、广东等,也包括了处于转型中的部分东北省份,如辽宁、吉林。这些地区的能耗效率基本处于全国平均水平,但尾效影响的程度同样不容忽视。处于第三类分组的区域包括了绝大多数的西部省份,如甘肃、新疆等,还有部分经济欠发达地区,如贵州、宁夏。这些地区的能耗效率相对落后,但是得益于更充足的本地化资源,能源尾效指数相对较低。由此可见理论模型的第三个结论“能效内生化 and 能源经济性的关系”也得到了数据的支持。

五、结论、展望与政策建议

综合以上所有的讨论,本文构建了云能源下新型能源市场的内生增长效应模型,并且基于动态经济增长模型对 1995—2014 年间全国 29 个省市自治区的经济增长和能源消费的关系做了实证分析。本文的基本结论可以总结为以下三点:

第一,在理论模型层面的讨论指出,立足于内生经济增长机制架构的经济增长模型可以通过经济体内部的能效自发性提升实现经济的持续增长。而经济增长过程中能耗成本的动态调整能推动经济体能效的进一步改进。

第二,在能源结构方面的讨论指出,云能源构建的新型产消型能源用户能最大化激发个体的能效改进动力,通过智能化的调度管理系统方便了点对点的能源流动和交易,实现能效改进收益的

个体最大化。而在宏观层面上,能扩大到能源使用效率的内生化增长,帮助宏观经济增长克服能源“尾效”影响,为经济持续增长提供动力和保障。

第三,在数据实证方面的讨论指出,中国部分地区能耗效率已经成为经济增长的瓶颈,而能源约束带来的能耗高成本已经开始刺激地方经济主体关注能效水平,在“尾效”影响特别显著的地区,能效水平的提高已经初步实现了持续内生的增长。

落实到政策层面,自 2015 年电改五号文发布以来,更加开放的能源市场开始逐步接纳更多分布式能源产消用户,创造更加灵活的能源传输配送机制,充分激发个体提升能效水平的积极性。立足能源结构调整的长期发展,政策导向依然需要从两个维度进行市场培育:

一方面,进一步加速对可再生能源参与自由市场竞争的引导,通过补贴退坡,竞价上网,鼓励自发自用等模式,让基于云架构的分布式能源能在自由市场和包括煤电等在内的传统能源直接竞争,发挥分布式能源自身的比较优势。

另一方面,在分布式能源发展较为成熟和密集的地区引导电网实现职能转变,从之前的垂直化供求调度者变成平台化能源中间服务商,让分布式能源在云平台上实现点对点的对接,最大限度让分布式能源的用户侧优势得到发挥。

过去 20 年在市场机制和政策引导的双重作用下,中国可再生分布式能源已经实现了从零到一的质变,随着能源互联网技术的日益成熟和电改的深度推进,更加高效的能源市场已经可期,而基于云能源架构的新型能源市场也必将能持续成为经济增长的动力。

参考文献:

- [1] 赵媛,郝丽莎.世界新能源政策框架及形成机制[J].资源科学,2005(5):62-73.
- [2] 周茂荣,祝佳.欧盟新能源政策:动因分析与前景展望[J].世界经济研究,2007(12):67-88.
- [3] 刘松万.发展新能源产业的财政政策与措施[J].山东社会科学,2009(11):116-118.
- [4] 成思危.发展新能源的三个层次[J].建筑节能,2010(1):80.
- [5] 王军.新能源、传统能源对我国经济增长的贡献分析[J].安徽行政学院学报,2014,2(5):27-31.
- [6] Moghaddam FA, Lago P, Grosso P. Energy-Efficient Networking Solutions in Cloud-Based Environments: A Systematic Literature Review[J]. ACM Computing Surveys, 2015,47(4):17-43.
- [7] Chien T, Hu J L. Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies[J]. Energy Policy, 2007,35(7):3606-3615.
- [8] Feller E, Ramakrishnan L, Morin C. Performance and energy efficiency of big data applications in cloud environments: A Hadoop case study[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing. 2015,79:80-89.
- [9] Vishwanath A, Jalali F, Hinton K, et al. Energy Consumption Comparison of Interactive Cloud-Based and Local Applications[J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2015,33(4):616-626.
- [10] Bretschger L. Energy prices, growth, and the channels in between: theory and evidence[J]. Resource and Energy Economics, 2015,39:29-52.
- [11] Sun Q, Wang B, Huang B, et al. The optimization control and implementation for the special energy internet[J]. Proceedings of the CSEE, 2015,35(18):4571-4580.
- [12] Chen D, Cheng C, Urpelainen J. Support for renewable energy in China: a survey experiment with internet users[J]. Journal of Cleaner Production. 2015,8:981-1003.
- [13] Panayotou. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development [J]. Technology and employment programme,1993(4):1221-1263.
- [14] Zaim O, Taskin F. A Kuznets curve in environmental efficiency:an application on OECD countries[J]. Environmental and resource economics, 2000,17(1):21-36.
- [15] 王海建.耗竭性资源管理与人力资本积累内生经济增长[J].管理工程学报,2000,14(3):11-13.
- [16] 杨宏林,田立新,丁占文.能源约束下的经济可持续增长[J].系统工程,2004(3):40-43.
- [17] 陶磊,刘朝明,陈燕.可再生资源约束下的内生增长模型研究[J].中南财经政法大学学报,2008,1:16-19.
- [18] You S, Jin L, Zong Y. The Danish Perspective of Energy Internet: From Service-oriented Flexibility Trading to Integrated Design, Planning and Operation of Multiple Cross-sectoral Energy Systems[J]. ZhongguoDianjiGongchengXuebao, 2015, 14:3470-3481.
- [19] Hu J L, Wang S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. Energy policy, 2006,34(17):3206-3217.
- [20] 龙少波.中国能源消耗与经济增长的关系再研究[J].北京交通大学学报(社会科学版),2015(1):36-44.
- [21] Romer. Advanced Macroeconomics[M]. Columbus: The McGraw-Hill Companies,2001.
- [22] Bruvoll A, Glomstrød S, Vennemo H, Environmental Drag: Evidence from Norway[J]. Ecological Economics, 1999(30): 107-139.
- [23] 魏楚,沈满洪.能源效率与能源生产率:基于 DEA 方法的省际数据比较[J].数量经济技术经济研究,2007,9:110-122.
- [24] 李影.中国区域经济增长的能源约束研究[J].统计与决策,2015,17:122-124.
- [25] Kyriakopoulou E. Atmospheric Pollution in Rapidly Growing Urban Centers:Spatial Policies and Land Use Patterns[J]. Journal of Economic Geography,2014(10):1091-1023
- [26] Katrakilidis C, Kyritsis I, Patsika V. The dynamic linkages between economic growth, environmental quality and health in Greece[J]. Applied Economics Letters, 2015:1-5.
- [27] Farrell M J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), 1957:253-290.
- [28] 汪克亮,孟祥瑞,杨宝臣,等.基于环境压力的长江经济带工业生态效率研究[J].资源科学,2015,37(7):1491-1501.
- [29] Benhabib J, Spiegel M M. The role of human capital in economic development evidence from aggregate cross-country data [J]. Journal of Monetary economics, 1994,34(2):143-173.