

安徽省产业结构升级、技术进步与能源效率间的动态关系^{*1}

沈莲花¹ 徐丽² 曹宗宏²

(1 安徽农业大学经济管理学院, 合肥 230036;

2 安徽农业大学理学院, 合肥 230036)

【摘要】:采用向量自回归(VAR)模型、脉冲响应函数和方差分解等统计方法,研究产业结构升级、技术进步与安徽省能源效率间的动态关系。研究发现:短期内技术进步对能源效率有负面效应,但从长期来看,技术进步对提高能源效率的影响最大、贡献度最高;产业结构升级对技术进步有显著的促进作用。可能的对策建议:调整产业结构,降低产业结构抑制能源效率的速度;依靠技术进步,加大新能源技术投入;优化产业结构升级,加快技术进步,间接提高能源效率。

【关键词】:能源效率;产业结构;DEA数据包络分析;脉冲响应函数;方差分解

0 引言

我国当前正处于战略结构调整阶段,成功的结构转型升级不仅意味着我国经济发展的质的飞跃,还能够促进农村剩余劳动力的顺利转移就业、改善农村经济发展状况,对我国能源效率的提高也具有不可忽视的作用。能源是重要的生产要素,人类生产活动由于增加了能源要素投入而极大地提高了劳动生产率,推动了经济与社会发展^[1]。反过来,经济的发展特别是工业化和城市化进程的加快会带来大量的能源消费,这不仅造成能源供需矛盾突出,而且环境污染日益严重,这些问题产生的原因跟产业结构不合理以及能源利用效率较低有关^[2]。我国的能源消费主要集中在二三产业,特别是工业企业。部分工业企业生产经营者为了自身利益不惜以破坏生态环境为代价,使用纯度低的煤炭等能源,导致大量有害物质进入大气、河流和田地当中。作为生活必不可少的家电之一——空调,其运转所需消耗的电力之多众所周知。但我国,乃至全世界的能源并非是无穷无尽、可再生的,在有限的能源供给条件下,如何提高能源效率、改善生态环境是我国亟需解决的一大难题。

丁建勋等发现产业结构对能源效率产生了显著的影响^[3]。王强等研究结果显示近40年来,中国第三产业较第二产业发展对能源效率提高具有更大推动作用^[4]。杨冕等基于广义脉冲响应函数分析方法研究发现产业结构与能源结构的变动在不同程度上阻碍着我国能源效率的提高^[5]。尹硕等构建误差修正模型(VECM),研究发现,从长期来看,能源消费和产业结构的变动呈现正向关系,表明第二、三产业的发展对能源消费的增加影响显著^[6]。于斌斌利用中国面板数据,发现提高产业结构调整质量对东、中、西各地区能源效率的改善均存在显著的促进作用及空间溢出效应^[7]。臧传琴等基于超效率DEA能源效率模型,发现山东省

¹ **基金项目**:教育部人文社科基金规划项目——“基于顾客网购行为的电商平台运作决策模型和方法”(项目编号:16YJA630003;项目负责人:曹宗宏)成果之一。

作者简介:沈莲花,安徽农业大学经济管理学院硕士研究生,研究方向:技术经济管理;徐丽,安徽农业大学理学院教授,研究方向:数量经济学;曹宗宏,安徽农业大学理学院副教授,研究方向:运筹与优化,物流与供应链管理。

的产业结构、能源结构和对外开放程度同全要素能源效率呈显著的负相关关系，而技术进步的作用并不突出^[8]。王兆华等结合四阶段全局 DEA 和方向距离函数发现提高第二产业的比重不利于区域全要素能源效率的提高^[9]。

综上所述，产业结构调整、技术进步对提高能源效率作用显著。相关文献以国家为单位的研究居多，但每个省份的经济、政治、科技等方面存在较大差异，一概而论有失偏颇。随着安徽省近年经济规模的不断扩大，能源消费总量持续上升。据统计，2000—2015 年，安徽省能源生产总量增加了 6545.662 万吨标准煤，能源消费的总量增加了 7410.886 万吨标准煤，增长 150.59%，能源消费速度远超能源生产速度。基于此，文章以安徽省能源效率为研究对象，通过构建产业结构、技术进步与能源效率间的向量自回归模型、脉冲响应函数以及方差分解来探寻提高安徽省能源效率的可能途径。

1 模型构建与数据处理

1. 1VAR 模型

向量自回归模型简称 VAR 模型，是一种常用的计量经济模型，主要是通过把系统中每一个内生变量作为所有内生变量的滞后值的函数来构造模型^[10]。一个包含 n 个内生变量而不含外生变量的 p 阶非限制 VAR 模型的基本结构为：

$$y_t = A_0 + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + A_3 y_{t-3} + \cdots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

式中， y_t 是 t 期 n 个内生变量的列向量， p 代表滞后阶数， A_p 表示 p 阶之后内生变量的系数矩阵， ε_t 为扰动列向量，扰动向量间可同期相关，但不与自身滞后值相关且不与等式右边的变量相关。式(1)的展开式为：

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ \vdots \\ y_{nt} \end{bmatrix} = A_0 + A_1^* \begin{bmatrix} y_{1t-1} \\ y_{2t-1} \\ \vdots \\ y_{nt-1} \end{bmatrix} + A_2^* \begin{bmatrix} y_{1t-2} \\ y_{2t-2} \\ \vdots \\ y_{nt-2} \end{bmatrix} + \cdots + A_p^* \begin{bmatrix} y_{1t-p} \\ y_{2t-p} \\ \vdots \\ y_{nt-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{nt} \end{bmatrix}, t = 1, 2, 3, \cdots, T \quad (2)$$

1. 2 变量选取及数据来源

产业结构:通过产业结构调整，一方面可以降低高能耗产业比重，减少能源消费；另一方面可以提高知识密集型产业比重，增强创新能力，提高能源效率^[3]。文章参考丁建勋和王强的指标选取，以第二产业产值比重和第三产业产值比重来反映产业结构的变动情况。具体计算公式为第二产业产值/GDP 和第三产业产值/GDP，分别用 SI 和 TI 表示。

源效率:提高能源效率关乎经济发展、社会进步、生态环境以及居民生活。文章参考关伟的能源效率测度方法,采用 DEA 数据包络分析,它是以相对效率概念为基础发展起来的一种非参数统计方法^[11]。DEA 能源效率测度需要产出和投入两类指标,考虑到数据的可得性和完整性,产出指标主要是实际 GDP,投入指标主要有社会固定资产投资额、三大产业总从业人数和能源消费总量,分别代表资本、劳动力和能源投入。选择基于投入导向的生产规模报酬不变模型,获得 1995—2015 年的安徽省 DEA 能源综合技术效率。为了突出能源消费在能源效率中的重要地位,最终以 DEA 能源综合技术效率与单位 GDP 能耗的比值作为能源效率,用 EE 表示。

技术进步:以往多数学者在研究能源效率影响因素时发现技术进步对提高能源效率有显著作用,可以节约能源消费。技术进步不仅包括科技创新还包括管理和制度上的创新。文章参考彭公阳和王超楠的指标选取,以专利授权量来衡量技术进步,用 TP 表示。

原始数据主要来源于 1991—2016 年的《安徽省统计年鉴》,数据计算与分析主要应用了 DEAP2.1 软件和 Eviews6.0 软件。考虑到数据量纲不一致及异方差问题,文章对所有变量指标作取对数处理,用 LOG()表示。

2 产业结构、技术进步与能源效率间的动态分析

2.1 单位根检验和协整检验

2.1.1 单位根检验

对各个时间序列及差分后的时间序列进行平稳性检验(见表 1):第二产业技术进步能源效率水平序列的 ADF 值均大于 10%显著性水平下的临界值,说明原序列是不平稳的;第三产业水平序列的 ADF 值小于 5%显著性水平下的临界值,说明原序列是平稳的。技术进步水平序列的 ADF 值大于 10%显著性水平下的临界值,说明原序列是不平稳的;能源效率水平序列的 ADF 值大于 10%显著性水平下的临界值,说明原序列是不平稳的。构建 VAR 模型的前提条件是所有的变量必须是平稳的、变量间至少存在一个协整关系,协整检验的前提条件是所有变量均为同阶单整序列,继而文章对所有变量进行一阶差分变换,发现所有变量均是平稳的。因此,所有变量均为一阶单整序列(即 I(1))。

表 1 产业结构、技术进步与能源效率间的单位根检验结果

检验变量	检验类型 (C, T, P)	ADF 检验	P 值	结论
LOG(EE)	(C, 0, 2)	-1.614 437*	0.455 2	不平稳
LOG(SI)	(C, 0, 0)	-0.863 207*	0.778 3	不平稳
LOG(TI)	(C, 0, 3)	-3.345 551 **	0.028 8	平稳
LOG(TP)	(c, o, o)	-1.757 172*	0.388 6	不平稳
D(LOG(EE), 1)	(C, 0, 1)	-7.131 938 ***	0	平稳
D(LOG(SI), 1)	(c, o, o)	-3.713 601 **	0.012 8	平稳
D(LOG(TI), 1)	(0, 0, 0)	-2.450 055 **	0.017 4	平稳
D(LOG(TP), 1)	(C, 0, 2)	-3.290 439 **	0.033 1	平稳

注:检验类型(C, T, P) 中的 C、T、P 依次表示为单位根检验中的常数项、时间趋势项和滞后阶数;* 表示在 10%的显著性水

平下拒绝原假设，**表示在 5%的显著性水平下接受原假设，***表示在 1%的显著性水平下接受原假设；D(, 1) 表示相应变量的一阶差分序列

2. 1. 2Johansen 协整检验

由平稳性检验结果可知变量是 I(1)序列，满足协整分析的前提条件，因此可对变量作协整检验。文章采用 Johansen 协整检验对变量 LOG(EE)、LOG(SI)、LOG(TI) 和 LOG(TP) 进行协整分析。在 VAR 模型中，根据 Eviews6. 0 统计软件提供的确定最大滞后阶数的标准，将 VAR 模型的滞后阶数定为 2 阶。

为了增加检验结果的准确度及可信度，文章同时进行了迹检验和最大特征值检验。在 5%显著性水平下，当原假设为 None 时，迹统计量大于 5%临界值，所以拒绝不存在协整关系的原假设；当原假设为 Atmost1 时，迹统计量小于 5%临界值，所以接受存在协整关系的原假设。最大特征值检验所得结果与迹检验结果一致(见表 2)。

表 2 产业结构、技术进步与能源效率间的 Johansen 协整检验结果

原假设协整 方程个数	特征根	X-trace (p 值)	5%临界值	X-max (p 值)	5% 临界值
None *	0.815 419	57.803 53 (0.004 4)	47.856 13	32.103 68 (0.012 2)	27.584 34
At most 1	0.596 124	25.699 86 (0.137 9)	29.797 07	17.226 28 (0.161 6)	21.131 62
At most 2	0.358 819	8.473 577 (0.416 2)	15.494 71	8.444 425 (0.335 3)	14.264 6
At most 3	0.001 533	0.029 151 (0.864 4)	3.841 466	0.029 151 (0.864 4)	3.841 466

注：* 表示在 5%显著性水平下拒绝原假设

综上所述，能源效率指数与产业结构和技术进步之间存在长期稳定的协整关系，协整关系的个数为 1。

2. 2VAR 模型和脉冲响应函数

2. 2. 1VAR(2)模型

VAR(2)模型的具体表达式为：

$$\text{LOG}(\text{EE}) = 15.1519 +$$

$$\begin{pmatrix} -1.369110 & -2.084631 & -0.041866 & -0.612611 \\ -0.391835 & -0.456013 & -0.153354 & -0.743194 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{LOG}(\text{SI})(-1) & \text{LOG}(\text{SI})(-2) \\ \text{LOG}(\text{TI})(-1) & \text{LOG}(\text{TI})(-2) \\ \text{LOG}(\text{TP})(-1) & \text{LOG}(\text{TP})(-2) \\ \text{LOG}(\text{EE})(-1) & \text{LOG}(\text{EE})(-2) \end{pmatrix} \quad (3)$$

整个模型的拟合优度为 0.95206, 表明模型的拟合效果较好。VAR(2) 模型所有根模的倒数均在单位圆内, 表明 VAR(2) 模型是稳定的。式(3)表明: 第二产业和第三产业的产值比重指数的滞后一二期系数均为负值, 且滞后一期系数的绝对值(1.369110, 2.084631)大于 1, 滞后二期系数的绝对值(0.391835, 0.456013)介于 0~1 之间, 说明滞后一期对能源效率的抑制作用明显, 滞后二期虽与能源效率间存在反向变动趋势, 但降速较慢。技术进步指数滞后一二期系数为负值, 其绝对值小于 0.2, 与能源效率指数间呈反向变动, 说明技术进步指数以很慢的速度促进能源强度(能源效率的倒数)上升。

2.2.2 脉冲响应函数

脉冲响应函数描述的是 VAR 模型中一个内生变量的冲击给其他内生变量带来的影响, 是随着时间推移的, 观察模型中的各变量对于冲击是如何反应的^[10]。根据所建立的 VAR(2) 模型, 可得各种脉冲响应函数图。

能源效率指数对二三产业产值比重和技术进步冲击的响应函数图(图 1)表明: 能源效率指数对自身一个单位标准差的正向冲击当期立即做出响应, 响应值为 0.071643(最大值), 随后以上下波动的形式延续。能源效率指数对第二产业产值比重指数在第 2 期当期末做出响应, 除第 4 期外, 前 6 期的响应值均为正值, 第 7 期开始下降后又上升, 响应值仍为负值。第三产业产值比重指数引起能源效率指数幅度渐缓的负向响应, 第 14 期开始响应值趋于 0。技术进步指数正向冲击当期并未引起能源效率指数的响应, 第 14 期开始响应值趋于 0。技术进步指数正向冲击当期并未引起能源效率指数的响应, 第 3 期下降至最低点(-0.043085)后上升至最高点(0.006339), 此后以渐缓幅度波动, 第 10 期开始有趋于稳定的收敛迹象。

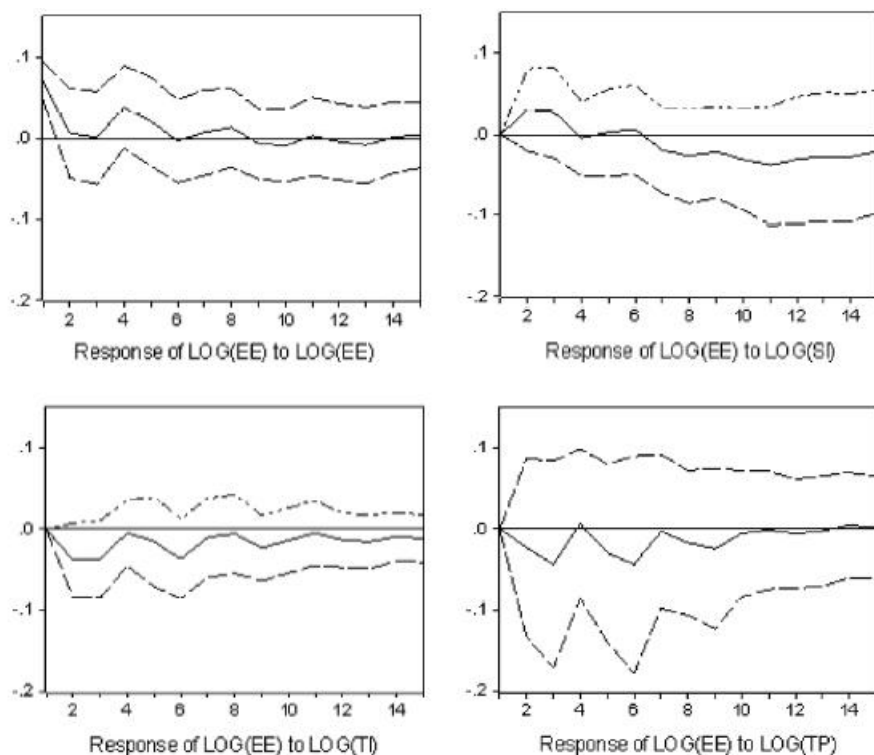


图 1 能源效率指数对二三产业产值比重和技术进步冲击的响应函数图

技术进步指数对二三产业产值比重冲击的响应函数图(图 2)表明:第二产业产值比重指数一个单位标准差的正向冲击当期会引起技术进步指数负向的响应(-0.068406),第 2 期开始响应逐渐上升至第 8 期达到最大值(0.265561),响应较为强烈,响应值转负为正,15 期的累积响应值为正。技术进步指数对第三产业产值比重指数当期做出正向响应(0.173960),第 3 期下降至最低点(0.018004)后再次上升,从第 5 期开始响应强度以平缓速度逐渐上升,累积响应值为 0.077315。

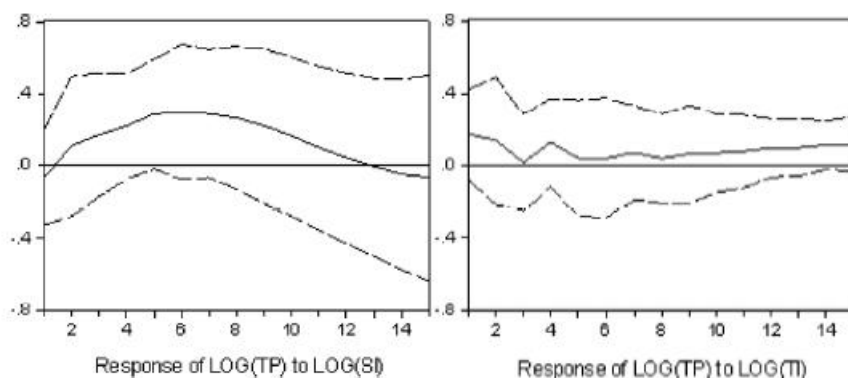


图 2 技术进步指数对二三产业产值比重冲击的响应函数图

2. 2. 3 方差分解

与脉冲响应函数不同，方差分解是通过分析每个结构冲击对内生变量变化的贡献度，进一步评价不同结构冲击的重要性^[10]。能源效率指数的方差分解结果(见表 3)表明:能源效率受自身影响最大，至第 10 期有 32.37288%的贡献度。二三产业产值比重滞后项和技术进步滞后项对能源效率的影响随着时间的推移逐渐上升，至第 10 期贡献度分别达到 18.51002%、22.78132%、26.33578%，其中二三产业产值比重指数对能源效率指数的影响发展较慢。除能源效率自身影响外，技术进步指数对能源效率指数的贡献度最高，上升速度最快。

表 3 LOG(EE) 的方差分解结果

周期	LOG(EE)	LOG (SI)	LOG(TI)	LOG(TP)
1	100	0	0	0
2	64.206 9	11.644 52	17. 880 5	6.2680 85
3	43.089 52	14.008 6	23.233 06	19.668 82
4	49.031 46	12.548 19	20.721 67	17.698 68
5	46.924 51	11.349 89	20.154 4	21.571 2
6	38.614 1	9.544 045	23.805 12	28.036 73
7	37.769 98	11.268 94	23.681 04	27.280 04
8	36.349 63	14.123 5	22.425 18	27.101 69
9	33.860 15	15.145 75	23.260 69	27.733 4
10	32.372 88	18.510 02	22.781 32	26.335 78

3 结论与建议

综上所述研究表明:能源效率与产业结构升级、技术进步间存在长期稳定的协整关系。从短期来看，产业结构和技术进步与能源效率间存在反向相关性，但产业结构滞后二期及技术进步抑制能源效率提高的速度较为缓慢。从长期来看，产业结构与能源效率间仍存在负向相关，其中第三产业发展对提高能源效率的贡献度小于第二产业。这可能是因为安徽省总体经济发展处于全国中等水平，三次产业的发展水平与速度并不均衡，第二产业占比最大，其工业发展需要大量的能源供给以支撑其迅猛的发展。第三产业发展还不稳定，占比较小，截至 2016 年年底，高新技术产业增加值已增长 12.9%，服务业增加值占生产总值比重已达 41%，开发风能、太阳能等清洁能源可以减少对以煤炭为主的传统能源的使用。短期内技术进步对能源效率有负面效应，这可能是因为安徽省的经济发展虽然在十二五规划的带动下在转好转优，但其高新技术匮乏，企业发展受限。此外技术进步存在回弹效应，促进经济发展的同时会加大对能源的消耗。从长期来看，技术进步对提高能源效率的抑制作用逐渐减弱并有转抑为促的趋势。随着技术进步不断提高，技术进步节约的能源会部分抵消经济发展消耗的能源。与产业结构相比，技术进步的影响最大、贡献度最高。产业结构对技术进步有显著的促进作用。

综合研究结论，提出下列可能建议:第一，需要调整产业结构，加快能源生产速度、减少能源消耗量，继而降低产业结构抑制能源效率的速度。提高从事建筑业、制造业等劳动密集产业的一线从业者素质，提高企业经营者的环境保护意识，加强节能减排力度^[11]。第二，要依靠技术进步，加大能源技术投入。高效的能源开采技术和能源转换技术，能够减少能源浪费，最大限

度地挖掘能源价值,加快转变能源消耗方式^[12]。同时,安徽省可通过引进先进的节能技术和排污处理技术,直接降低机械能耗,过滤有害气体,减轻环境承载力,提高能源效率。第三,优化产业结构升级,加快技术进步,间接提高能源效率。通过大力发展第三产业,吸纳安徽省过剩劳动力,加强技能培训,使更多的素质教育者符合技术密集产业的技能要求。依靠高技能人才开发能源新技术,研发以风能、太阳能等清洁能源为主动力的大型机械替代工厂的传统机械,减少以煤炭为主的传统能源的消耗。

参考文献:

- [1] 刘佳骏,董锁成,李宇. 产业结构对区域能源效率贡献的空间分析—以中国大陆 31 省(市、自治区)为例 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(12):1999-2011.
- [2] 彭公阳. 产业结构变动对能源消费影响的实证研究 [D]. 杭州:浙江财经大学, 2015:1.
- [3] 丁建勋,罗润东. 技术进步和产业结构对能源利用效率的影响 [J]. 山西财经大学学报, 2009, 31(5):45-51.
- [4] 王强,郑颖,伍世代,等. 能源效率对产业结构及能源消费结构演变的响应 [J]. 地理学报, 2011, 66(6):741-749.
- [5] 杨冕,杨福霞,陈兴鹏. 中国能源效率影响因素研究—基于 VEC 模型的实证检验 [J]. 资源科学, 2011, 33(1):163-168.
- [6] 尹硕,张耀辉,燕景. 中国产业结构、能源效率与能源消费的动态关系—基于协整与 VECM 的实证研究 [J]. 华东经济管理, 2014, 28(7):53-56.
- [7] 于斌斌. 产业结构调整如何提高地区能源效率?—基于幅度与质量双维度的实证考察 [J]. 财经研究, 2017, 43(1):86-97.
- [8] 臧传琴,刘岩. 山东省全要素能源效率及其影响因素分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(8):107-113.
- [9] 王兆华,丰超. 中国区域全要素能源效率及其影响因素分析—基于 2003—2010 年的省际面板数据 [J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(6):1361-1371.
- [10] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模:EViews 应用及实例 [M]. 北京:清华大学出版社, 2009.
- [11] 关伟,许淑婷. 辽宁省能源效率与产业结构的空间特征及耦合关系 [J]. 地理学报, 2014, 69(4):520-530.
- [12] 祁奎. 基于投入产出方法的安徽省能源效率分析 [D]. 南昌:江西财经大学, 2014.