

# 能源发展路径和价格变化： 经济、环境和能源的综合影响评价

陈煜<sup>1</sup>，谭睿鹏<sup>2</sup>，林伯强<sup>3</sup>，叶彬<sup>1</sup>

(1. 国网安徽省电力公司 经济技术研究院，安徽 合肥 230022; 2. 厦门大学 经济学院，福建 厦门，361005;  
3. 厦门大学 管理学院，福建 厦门 361005)

**摘要：**本文建立了测算能源价格变化所带来的经济产出、能源需求和污染物减排效应的理论分析框架，分自然演化情形和约束情形计算未来的能源平均价格变化（包括化石能源和非化石能源），并以此价格变化作为外生冲击，在要素可变投入产出模型的框架下模拟能源价格变化对经济系统、能源需求和污染物排放的影响。以安徽省为例进行了实证分析得到以下主要结论，有约束情形下的能源价格比自然演化情形下高，且差额随年份增加而增加，由能源结构转变和能源价格的上涨造成产出和能源需求比自然演化情形下低。能源价格的增加主要是由可再生能源消费占比增加引起的，发展可再生能源有利于环境改善，对经济发展的不利影响有限。

**关键词：**可再生能源发展；能源成本；能源需求；经济产出

**文献标识码：**A    **文章编号：**1002-2848-2018(03)-0095-08

## 一、引言

能源作为经济发展不可或缺的生产要素，在中国经济增长中扮演着重要角色。近年来，人们对环境的关注度不断提高。十九大报告指出未来要坚持人与自然的和谐共生，建设美丽中国，为全球生态安全做出贡献。这就对能源、经济和环境三者的平衡发展提出了更高要求，如何实现绿色发展，即在保障经济平稳健康增长的同时，实现节能减排和生态环境可持续发展<sup>[1]</sup>是一个新的时代话题。以太阳能、风能和核能为代表的可再生能源发展必将在这一过程中起到重要作用。但是，可再生能源的使用成本比传统能源高，随着能源结构趋于清洁化（可再生能源消费占比增加），其带来的经济产出效应和能

源需求效应如何是本文重点关注的问题之一。具体来说，对未来能源发展状况设定不同的情形，包括自然演化情形和约束情形。前者指各变量的发展都是根据其历史发展趋势进行，后者是在综合考虑各种政府文件规划后设置的一种情形。在不同的发展情形下，能源消费结构不一样，能源平均使用成本不一样，进而会影响经济产出、能源消费和污染物排放。

鉴于不同区域的要素禀赋的巨大差异，所处的发展阶段和发展模式不一致，在文章构建出分析框架后，以安徽省为例进行了实证分析。安徽省未来可再生能源规划量大，在节能减排的政策压力下，未来化石能源消费比重将逐年下降，可再生能源比重上升。用可再生能源对传统化石能源进行替代必然会导致单位能源使用成本的上升，由此可能会对安

收稿日期：2018-03-23

基金项目：国网安徽省电力公司项目“全球能源互联网背景下安徽省远景能源电力发展路径研究”（15301）。

作者简介：陈煜（1976-），福建省莆田市人，国网安徽省电力公司经济技术研究院高级工程师，研究方向：电力经济与电网规划；谭睿鹏（1991-），湖北省巴东县人，厦门大学经济学院博士研究生，研究方向：能源经济和能源政策；林伯强（1957-），福建省漳州市人，厦门大学管理学院教授，博士生导师，中国能源政策研究院院长，研究方向：能源经济和能源政策；叶彬（1980-），安徽省全椒县人，国网安徽省电力公司经济技术研究院高级工程师，研究方向：电力经济与电网规划。

徽省整个能源经济系统造成一些影响。本文的余下部分安排如下:第二部分是文献回顾;第三部分构建了本文分析的模型,分化石能源和可再生能源计算安徽省未来能源成本和能源价格,并以安徽省为例进行了实证分析;最后一部分对全文进行了总结。

## 二、相关文献回顾

关于能源与经济发展关系的研究可以追溯到 Kraft 等<sup>[2]</sup>,他们用格兰杰因果检验的方法实证检验了 1947 年到 1974 年间美国 GDP 与能源消费之间的关系,发现 GDP 与能源消费之间存在单向格兰杰因果关系。自那之后,格兰杰因果检验方法作为一种主流的研究方法被广泛使用,比如,Belloumi<sup>[3]</sup>研究了突尼斯能源消费与 GDP 之间的关系,发现人均 GDP 与人均能源消费之间存在长期双向因果关系,但能源消费与 GDP 之间只存在短期单向因果关系。Bozoklu 等<sup>[4]</sup>对经济合作与发展组织(OECD)国家的能源消费与经济增长之间的关系进行了检验,结果发现,澳大利亚、奥地利、加拿大、意大利、日本、墨西哥、新西兰、葡萄牙、英国和美国存在 GDP 到能源消费的短期格兰杰因果关系;奥地利、比利时、丹麦、德国、意大利、日本、新西兰、挪威和美国存在 GDP 到能源消费的长期格兰杰因果关系;反过来,从能源消费到 GDP 的短期格兰杰因果关系主要存在的国家包括奥地利、丹麦、意大利、新西兰、挪威、葡萄牙;而能源消费到 GDP 的长期格兰杰因果关系主要存在的国家包括比利时、芬兰、希腊、意大利、日本和葡萄牙。Tiba 等<sup>[5]</sup>对能源、环境和经济增长之间关系研究的文献进行了系统有序的总结和回顾,主要方法包括协整、误差修正模型<sup>[6-8]</sup>、向量自回归模型(VAR)<sup>[9-10]</sup>、广义矩估计(GMM)<sup>[11-12]</sup>、ARDL 边界检验<sup>[13-14]</sup>。能源价格变动与经济之间关系的研究自 Hamilton<sup>[15]</sup>开始,该研究实证分析发现第二次世界大战后全球的经济衰退是由石油价格上涨造成的。Blanchard 等<sup>[16]</sup>发现 21 世纪之后油价上涨对经济和通货膨胀的影响程度都比 20 世纪 70 年代弱。

关于对中国能源消费与经济增长的研究,刘卫国<sup>[17]</sup>发现中国经济总量对石油消费量具有单向正影响,即存在单向格兰杰因果关系。吴永平等<sup>[18]</sup>证明中国煤炭消费和经济增长之间存在长期稳定的均衡关系,且经济增长与能源消费之间存在双向格兰

杰因果关系,但经济增长与煤炭消费之间仅存在单向格兰杰因果关系。林伯强<sup>[19]</sup>对中国电力消费与经济增长之间的关系进行了探讨,证明 GDP 与电力消费之间存在显著的单向格兰杰因果关系。考虑到环境因素,陈诗一<sup>[20]</sup>对中国工业全要素生产率的变化和绿色增长进行了核算,结果表明中国工业大体上以集约型增长为主,只有少数高耗能和排放高的行业仍然呈粗放型增长。王兵等<sup>[21]</sup>基于全局非径向方向距离函数测算了中国区域绿色发展绩效并分析了区域差异性形成的主要原因。林伯强等<sup>[22]</sup>模拟了在反映节能和排放约束下的最优能源结构和现有能源结构下能源成本增加对中国宏观经济的影响。本文正是借鉴这一思路,参考马静等<sup>[23]</sup>对安徽省未来能源消费总量、电力消费总量和能源消费结构的预测,结合本文构建的理论分析框架,分情形讨论了安徽省未来能源结构转变和能源价格变化对其经济产出、能源需求和污染物排放造成的影响。

## 三、理论模型构建和分析

### (一) 要素可变的投入产出模型

本节将构建要素可变的投入产出模型,模拟未来由于能源结构和能源价格变化导致的经济产出、能源需求和污染物排放变动。首先将部门合并整理,并通过以下五个模块进行刻画:生产、价格、能源、排放及系统约束,所以在模型中,将未来远景的能源结构、能源价格作为冲击,带入模型中计算相应的影响。

(1) 生产:生产模块主要描述国内外产品市场的供需情况,本节把产业分为第一产业部门、第二产业部门(不包括能源产业部门)、第三产业部门和能源产业部门。方程(1)为包含要素投入的多元生产函数,该生产函数包括劳动和资本、中间投入以及能源投入。

$$Y_i = AF_{1i}^{\alpha_{1i}} F_{2i}^{\alpha_{2i}} F_{3i}^{\alpha_{3i}} F_{4i}^{\alpha_{4i}} L_i^{\alpha_{5i}} K_i^{\alpha_{6i}} \quad (1)$$

其中  $Y_i$  为  $i$  部门的产出,  $F_{ki}$  为第  $i$  产业部门对第  $k$  产业部门的其他要素需求,  $L_i$  为  $i$  部门的劳动投入,  $K_i$  为  $i$  部门的资本投入,  $\alpha_{ki}$  为  $i$  部门生产函数中对  $k$  产业部门的投入系数。

(2) 价格:在零利润的假设下,如果各投入获得边际报酬,那么  $\alpha_{ki}$  就等于投入产出表中的直接投入系数。

在最大化利润的约束下,不同要素投入的边际

产出之比等于边际价格之比:

$$\frac{MP_{mi}}{MP_{ni}} = \frac{P_m}{P_n} \Rightarrow \frac{\alpha_{mi} F_{ni}}{\alpha_{ni} F_{mi}} = \frac{P_m}{P_n} \quad (2)$$

其中  $MP_{mi}$  表示第  $i$  产业部门中第  $m$  产业的投入的边际产出;  $MP_{ni}$  表示第  $i$  产业部门中第  $n$  产业的投入的边际产出;  $F_{mi}$  和  $F_{ni}$  分别表示第  $i$  产业部门对第  $m$  产业和第  $n$  产业的投入要素需求;  $\alpha_{mi}$  和  $\alpha_{ni}$  分别表示第  $i$  产业部门生产函数中对  $m$  和  $n$  产业投入的弹性系数;  $P_m$  和  $P_n$  分别表示第  $i$  产业中第  $m$  产业投入和第  $n$  产业投入要素的价格。由于投入系数  $\alpha_{mi}$  和  $\alpha_{ni}$  一般不发生变化, 根据式 (2), 就可以计算价格变动后, 对于投入要素需求的冲击。价格变化后, 不同的投入要素要根据上式进行调整, 重新满足平衡约束条件。

(3) 能源: 根据变化后的要素投入量, 就可以计算出对能源需求和社会总产出的冲击。由于能源在本模型中作为一种要素投入, 所以能源价格变化后对总能源消费的影响为:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^4 \Delta F_{Ei}}{E} \quad (3)$$

其中  $\mu$  为能源消费变化率,  $\Delta F_{Ei}$  为各行业对能源投入要素需求的变化量,  $E$  为总能源需求。

而总产出等于各行业产出变化减中间投入变化量, 新的社会总产出为:

$$Y_T = (I - A) F^N \quad (4)$$

其中  $Y_T$  为社会总产出,  $F^N$  为调整后的要素投入量,  $A$  为直接消耗系数矩阵。

总产出变化率则可以根据价格变化前后产出的变化情况进行计算。

(4) 排放: 我们主要考虑的污染物排放包括二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和烟尘, 它们主要由化石能源燃烧使用引起。其中使用一吨煤炭会产生 1.39 kg 二氧化硫, 1.88 吨二氧化碳, 5.75 kg 氮氧化物以及 4 kg 烟尘; 使用一吨石油会产生 17.2 kg 二氧化硫, 3.005 吨二氧化碳, 2.32 kg 氮氧化物以及大约 2 kg 烟尘; 天然气作为一种清洁化石能源, 我们只考虑其燃烧排放的二氧化碳, 使用一亿立方米天然气排放的二氧化碳大约为 21.84 吨。

(5) 系统约束: 由于本模型主要关注于长期能源结构与价格变化的影响, 所以讨论家庭与政府平衡对于分析问题的意义不大, 本文关注于投入要素之间的平衡。在上述所有约束条件下, 使用投入产

出模型可以模拟出能源价格变化对某区域能源消费变化和产出冲击的影响。

## (二) 能源成本和能源价格的估算

能源成本包括化石能源成本和可再生能源成本, 其中前者由其使用量乘以相应的价格得到; 后者计算比较复杂, 包括并网成本和购电成本, 下面依次介绍这两种成本的计算过程。

(1) 并网成本: 可再生能源发电因其不稳定性会给电网造成一定冲击, 并因此产生一些成本<sup>[24]</sup>。大规模开发利用可再生能源, 尤其是风电和光伏发电将需要更为稳定的电网配套设施, 其产生的成本可以分为电网基础设施建设成本和系统平衡成本<sup>[25]</sup>, 本小节将分别计算这两种成本。

由于风力发电和光伏发电的随机性和间歇性, 要稳定地传输风电和光伏电力需要更加强大和稳定的电力系统, 对安徽省而言, 未来伴随可再生能源使用量的增加, 要强化的电力系统也更大。通过增加电网基础设施投资来消纳可再生能源发电已经达成一种共识<sup>[26-28]</sup>。在具体计算中, 我们使用的参数来自 Cometto 和 Keppler<sup>[29]</sup> 对风力发电和光伏发电的电网基础设施建设成本的估计, 即每单位电力的运输成本的估算, 详见表 1。

表 1 陆上风电和光伏发电的电网基础设施建设成本

种类	取值	来源
陆上风电	3.96 美元/千千瓦时	Cometto 和 Keppler(2012)
光伏发电	15.55 美元/千千瓦时	Cometto 和 Keppler(2012)

建设电网基础设施运输陆上风电的单位成本为 3.96 美元/千千瓦时, 运输光伏发电的单位成本为 15.55 美元/千千瓦时, 单位成本乘以风力和光伏发电量可得安徽省未来风力和光伏发电的总电网建设成本。

除了要加强电网基础设施建设以外, 发展风电和光伏还需要对其电力负荷进行转换实现峰值调控<sup>[25]</sup>, 抽水蓄能电站可以满足这一功能。根据何永秀等<sup>[30]</sup>, 抽水蓄能电站在电力负荷低谷时将水由下至上抽至水库, 在电力负荷调峰时放水发电, 可以实现维持电网负荷平衡的作用。假设安徽省未来为了平衡电网负荷, 将建设一些新的抽水蓄能电站, 基于此我们估计了可再生能源发电的系统平衡成本(包括建设抽水蓄能电站的成本和平衡电力负荷时的电

力损失成本)。根据 Lin 等<sup>[25]</sup>,建设成本的具体计算公式为:

$$\sum_{i=1}^2 \beta \times ic_{i,j} \times I \times \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (5)$$

其中  $i$  代表可再生能源发电的种类,本小节包括风电和光伏; $ic$  代表风电或光伏的装机容量; $I$  代表抽水蓄能电站的单位投资,在本小节中取 3898 元/千瓦<sup>①</sup>; $\beta$  是平衡设置,在本小节中取 1:0.25<sup>[31]</sup>; $r$  代表投资回收率,在本小节中取 6%; $n$  代表回收期,在本小节中取 40 年(即假设抽水蓄能电站使用年限为 40 年); $\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$  是在每年回收成本相同且预计净残值为 0 的假设下的折现因子。

除了建设抽水蓄能电站外,另一部分成本为电力损失成本。目前全球抽水蓄能电站的能源转换效率为 70% 到 80% 之间。中国抽水蓄能电站目前的能源转换效率为 75%,假设到 2050 年这一效率将上升至 80%。因此,总的系统平衡成本为:

$$\sum_{i=1}^2 \beta \times ic_{i,j} \times I \times \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + \sum_{i=1}^2 (1-\theta) \times p_{i,j} \times electricity_{i,j} \quad (6)$$

其中  $\theta$  表示能源转换效率; $p_{i,j}$  表示可再生能源上网电价; $electricity_{i,j}$  表示可再生能源的发电量。根据式(6),可以计算得到因可再生能源发电而带来的系统平衡总成本。

(2) 可再生能源购电成本:各可再生能源品种的发电量和上网电价的乘积构成了未来使用可再生能源的购电成本。对安徽省而言,2015 年风电装机容量 135.5 万千瓦<sup>②</sup>,光伏装机容量 120.8 万千瓦<sup>③</sup>,水电 291 万千瓦(其中常规水电 123 万千瓦,抽水蓄能 168 万千瓦)。安徽省规划到 2020 年实现风电装机 284 万千瓦,光伏装机 1100 万千瓦<sup>④</sup>。在约束情形下,安徽省 2030 年风电和光伏装机容量将达到 450 万千瓦和 3500 万千瓦;到 2050 年,风电和光伏装机容量将分别达到 600 万千瓦和 7500 万千瓦。而在自然演化情形下,安徽省 2030 年风电和光伏装机容量将达到 300 万千瓦和 1100 万千瓦;到 2050 年,风电和光伏装机容量将分别达到 600 万千瓦和 7000 万千瓦。(关于自然演化情形和约束情

形的具体设定见附录)

对水电而言,安徽省常规水电资源并不丰富,常规水电理论蕴藏量 160 万千瓦,经济可开发量 120 万千瓦,目前常规水电资源已基本开发完毕。而抽水蓄能电站可以选择的站址资源丰富,从普查资料看具有开发价值的站址共 27 处,装机容量 2825 万千瓦,其中装机容量超过 100 万千瓦且水头高于 300 米以上的有 13 处,总装机容量 1815 万千瓦。绩溪抽蓄和金寨抽蓄 2 个站址被国家能源局批准列为安徽省 2020 年新建抽水蓄能电站推荐站点,目前正在开工建设,预计 2020 年投产后水电总装机容量将达到 591 万千瓦。在约束情形下,至 2030 年和 2050 年,安徽省抽水蓄能装机容量将分别达到 900 万千瓦和 2000 万千瓦,水电总装机则分别达到 1023 和 2130 万千瓦。在自然演化情形下,至 2030 年和 2050 年,安徽省抽水蓄能装机容量将分别达到 500 万千瓦和 2000 万千瓦,水电总装机则分别达到 623 万千瓦和 2130 万千瓦。

对于核电建设,由于受日本福岛核事故的影响,导致了公众对于核电发展安全性的担忧,因而安徽省的内陆核电建设计划被一度搁置,预计 2020 年之前不太可能建设核电站。目前多方论证的主要核电选择地址有董公山厂址、芭茅山厂址和吉阳厂址,各厂址规划装机均为  $4 \times 100$  万千瓦级,芭茅山具体规划装机为  $4 \times 125$  万千瓦,其他两个厂址也按此装机容量考虑,基本上核电站均按照两期建设,一期工程  $2 \times 125$  万千瓦。进而我们对安徽省未来核电装机容量做出以下预测,在约束情形和自然演化情形下,2050 年核电装机容量分别为 1500 万千瓦和 2500 万千瓦。

2015 年安徽省风力发电平均利用小时数约为 1700 小时,光伏发电平均利用小时数约为 1100 小时,常规水能发电利用小时数约为 2750 小时。2016 年抽水蓄能发电利用小时数约为 1600 小时,预计 2016 年以后每年的发电小时数至少与 2016 年持平。核电利用小时数约为 7200 小时。根据不同种类的可再生能源发电装机量与设备发电利用小时数,可以计算安徽省在未来各年份的可再生能源发

① 根据南方电网的清远抽水蓄能电站的结算,抽水蓄能电站的平均投资成本约为 3898 元/千瓦时。

② <http://www.askci.com/news/chanye/20160418/154512310.shtml>。

③ <http://www.askci.com/news/chanye/20160418/154512310.shtml>。

④ <http://mt.sohu.com/20161107/n472522191.shtml>。

电量。

安徽省 2016 年光伏上网电价为 0.98 元/千瓦时,属 III 类资源区。根据王利等<sup>[32]</sup>,2020 年 III 类资源区地面光伏电站的发电成本电价为 0.8 元/千瓦时,2025 年可以实现发电侧平价上网。自 2020 年往后,光伏发电成本将进一步降低。据日本学者的估计,到 2030 年业务用光伏发电成本有望降低到 7 日元/千瓦时,2050 年则更低;美国能源部 2030 年的目标更是争取实现百万光伏电站成本降至 3 美分/千瓦时<sup>[33]</sup>。所以我们假设安徽省 2030 年光伏发电成本将降为 0.5 元/千瓦时,2050 年降低至 0.3 元/千瓦时。风电的上网电价分为陆上风电和海上风电两种,安徽省地处内陆,没有海上风电场,2016 年风电上网电价为 0.6 元/千瓦时,属 IV 类资源区。根据国家发改委对 2018 年风电上网标杆电价的设定,IV 类资源区为 0.57 元/千瓦时,我们假设安徽省 2020 年风电上网电价为 0.50 元/千瓦时,自 2020 年往后,风力发电成本将进一步降低,所以我们设定其成本 2030 年为 0.4 元/千瓦时,2050 年为 0.3 元/千瓦时。水力发电 2014 年全国上网电价为 0.2 ~ 0.4 元/千瓦时,在未来一段时间内,其成本变化不大,我们假设 2016 年为 0.4 元/千瓦时,2050 年降为 0.2 元/千瓦时,且在这一段时间呈线性变化。核电的上网电价根据国家发改委的规定,设定为 0.43 元/千瓦时(佚名<sup>[34]</sup>)且未来变化不大。

(3) 化石能源成本: 根据美国能源信息管理局对未来化石能源成本的估计和安徽省 2015 年煤炭、石油和天然气的单位使用成本以及马静等<sup>[23]</sup>对安徽省未来能源使用总量和能源结构的估计,可以计算安徽省未来在不同情形下化石能源使用成本,如图 1 所示。可以看出在约束情形下,天然气的使用成本比自然演化情形下高,而煤炭使用成本则比自

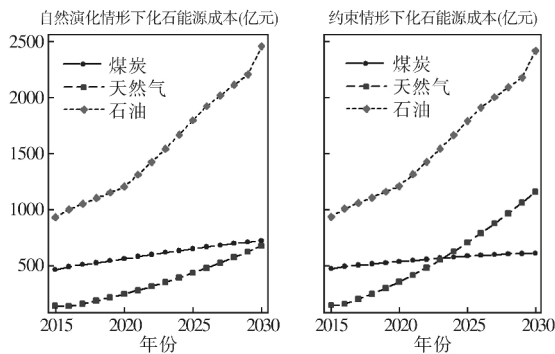


图 1 两种不同情形下化石能源使用成本

然演化情形下低。

最终,考虑到电力平衡,使用发电煤耗法和火电占比计算安徽省火力发电量并与可再生能源发电量进行对比,如果产生了电力缺口,则考虑从省外调电,该部分成本以安徽省火电上网电价核算。最终的能源成本是化石能源成本和可再生能源成本之和,计算结果见表 2。

表 2 安徽省未来在不同情形下的能源总成本 亿元

年份	自然演化情形	约束情形	差额
2016	1712.91	1723.25	10.34
2017	1831.02	1853.58	22.55
2018	1949.98	1986.52	36.54
2019	2081.52	2133.88	52.36
2020	2209.76	2280.05	70.29
2021	2362.88	2482.93	120.06
2022	2524.09	2692.77	168.68
2023	2692.74	2909.87	217.14
2024	2869.08	3134.69	265.61
2025	3053.28	3366.38	313.10
2026	3234.19	3592.48	358.29
2027	3384.65	3788.72	404.06
2028	3536.54	3984.21	447.67
2029	3687.69	4179.32	491.63
2030	3997.00	4548.36	551.36
2050	5924.86	7133.50	1208.64

从表 2 可以看出,安徽省未来能源成本都呈递增趋势,但是在自然演化情形下的能源总成本低于约束情形下的成本,且它们之间的差额也随时间推移而增加。表 3 显示了安徽省未来在不同情形下的能源价格,其中约束情形下的能源价格要高于自然演化情形,在约束情形下能源平均价格为 1851.6 元/吨标准煤,比自然演化情形下高出 9.2% (后者为 1695.5 元/吨标准煤),且在两种情形下能源价格增速逐渐下降。

### (三) 结果讨论

根据上文构建的分析模型,使用安徽省 2012 年投入产出表作为数据基础进行了实证分析,结果见表 4。可以看出,与自然演化情形相比,约束情形下的能源需求和产出都会减少,这是因为受到能源结构变化的约束,约束情形下的传统化石能源消费比例下降,可再生能源消费比例上升,导致能源成本上

表3 安徽省未来不同情形下的能源价格

年份	能源价格(元/吨标准煤)	
	自然演化情形	约束情形
2016	1308.7	1316.6
2017	1351.9	1368.5
2018	1391.2	1417.3
2019	1435.0	1471.1
2020	1472.0	1518.8
2021	1522.5	1599.9
2022	1574.9	1680.2
2023	1628.8	1760.1
2024	1684.3	1840.2
2025	1741.6	1920.2
2026	1795.4	1994.3
2027	1831.6	2050.3
2028	1868.7	2105.3
2029	1905.9	2160.0
2030	2023.9	2303.1
2050	2590.9	3119.4

升,进而导致能源与其他生产要素之间发生了替代。比如要更多地使用资本和劳动来替代能源投入,资本和劳动投入的增加相当于增加了中间投入,所以最终产出也会减少。具体来说,2020年,由于能源价格的上升会使能源消费量在有约束情形下比自然演化情形降低1.58%,产出下降0.64%;2030年能源消费量在有约束情形下比自然演化情形降低6.41%,产出下降2.61%;2050年能源消费量在有约束情形下比自然演化情形降低9.11%,产出下降3.73%。

表4 模型模拟结果

年份	产出变化(%)	能源需求变化(%)
2020	-0.64	-1.58
2030	-2.61	-6.41
2050	-3.73	-9.11

对污染物排放而言,能源结构和能源价格的冲击导致能源需求量下降,污染物排放量也会相应下降。表5呈现出与自然演化情形相比,约束情形下的各类污染物排放减少量,其中二氧化碳的减少量最为明显,到2050年达到了1.28亿吨,氮氧化物其次,达到37.49万吨,烟尘和二氧化硫减少量分别为

26.11万吨和13.02万吨。由此可见,发展可再生能源有利于安徽省未来的环境质量改善和提高。

表5 安徽省排放物减少量 万吨

年份	二氧化硫	二氧化碳	氮氧化物	烟尘
2020	2.09	2187.30	6.47	4.51
2030	9.97	8052.74	22.79	15.89
2050	13.02	12789.03	37.49	26.11

#### 四、总结和政策建议

本文建立了能源价格变化所带来的经济产出、能源需求和污染物减排效应的理论分析框架,分自然演化情形和约束情形测算未来的能源平均价格变化,并以此价格变化作为外生冲击,在要素可变投入产出模型的框架下模拟能源价格变化对经济系统、能源需求和污染物排放的影响。在马静等<sup>[23]</sup>提供的数据库基础上,以安徽省为例进行了实证分析,分情形估算了安徽省未来的能源价格,模拟了能源价格变化对安徽省经济系统的影响。在自然演化情形下(即所有变量均按历史趋势演变)2020年能源价格为1472.0元/吨标准煤;2030年为2023.9元/吨标准煤;2050年为2590.9元/吨标准煤。在约束情形下,即综合考虑各种政策文件对新能源的发展规划时,安徽省未来可再生能源消费量所占比例提高,能源价格也相应上涨,2020年能源价格为1518.8元/吨标准煤,2030年为2303.1元/吨标准煤,2050年为3119.4元/吨标准煤。

模拟安徽省未来在自然演化情形和约束情形下能源成本的变化对能源需求和经济产出的影响,可以得到,与自然演化情形相比,约束情形下的能源需求和产出都会减少。具体来说,2020年,由于能源成本的上升会使能源需求量在有约束情形下比自然演化情形降低1.58%,产出下降0.64%;2030年能源需求量在有约束情形下比自然演化情形降低6.41%,产出下降2.61%;2050年能源需求量在有约束情形下比自然演化情形降低9.11%,产出下降3.73%。与能源需求下降相对应,污染物排放也将减少,其中二氧化碳的减少量最为明显,到2050年达到1.28亿吨,氮氧化物其次,达到37.49万吨,烟尘和二氧化硫减少量分别为

根据文章的发现,我们给出以下政策建议:第

一,由于风电和太阳能上网电价与技术进步密切相关,因此要加强在此方面的科研投入,较低的上网电价可以减少购电成本,进而降低未来可再生能源使用成本。第二,为避免风电和太阳能的不稳定性对电网产生的不良冲击,发展风电和太阳能所需要的电网建设成本巨大,且这一部分成本大都由国家电网承担,这将打击国家电网发展可再生能源的积极性,未来要建立更加合理的成本和收益分摊机制,在电网承担成本的同时保证其应得收益。第三,在电网系统平衡成本中,由抽水蓄能电站来调峰会带来相当一部分的电力损失,未来可结合运用多种调峰方式,以成本最小的方式进行;建立相应的机制保障抽水蓄能电站的健康发展,以应对可再生能源发展带来的巨大调峰需求。第四,可再生能源的发展有利于环境质量改善,但由于受限于技术进步,电网建设成本增加等因素的影响,大规模发展使用可再生能源会使得能源使用成本上升,对经济发展造成的负向影响较小,如果综合考虑可再生能源发展带来的外部效应,应该加快可再生能源的发展,使其在美丽中国的建设历程中发挥应有的作用。

#### 参考文献:

[1] 涂正革,王秋皓. 中国工业绿色发展的评价及动力研究——基于地级以上城市数据门槛回归的证据 [J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2018(1): 47-56

[2] Kraft J, Kraft A. On the relationship between energy and GNP [J]. Journal of Energy and Development, 1978, 3(2): 401-403.

[3] Belloumi M. Energy consumption and GDP in Tunisia: cointegration and causality analysis [J]. Energy Policy, 2009, 37(7): 2745-2753.

[4] Bozoklu S, Yilanci V. Energy consumption and economic growth for selected OECD countries: further evidence from the granger causality test in the frequency domain [J]. Energy Policy, 2013, 63: 877-881.

[5] Tiba S, Omri A. Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 69: 1129-1146.

[6] Shiu A, Lam P L. Electricity consumption and economic growth in China [J]. Energy policy, 2004, 32(1): 47-54.

[7] Hwang D, Gum B. The causal relationship between energy and GNP: the case of taiwan [J]. Journal of Energy

and Development, 1992, 16(2): 219-26.

[8] Kouakou A K. Economic growth and electricity consumption in cote d'ivoire: evidence from time series analysis [J]. Energy Policy, 2011, 39(6): 3638-3644.

[9] Lorde T, Waithe K, Francis B. The importance of electrical energy for economic growth in Barbados [J]. Energy Economics, 2010, 32(6): 1411-1420.

[10] Chiou-wei S Z, Chen C F, Zhu Z. Economic growth and energy consumption revisited — evidence from linear and nonlinear granger causality [J]. Energy Economics, 2008, 30(6): 3063-3076.

[11] Huang B N, Hwang M J, Yang C W. Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: a dynamic panel data approach [J]. Ecological economics, 2008, 67(1): 41-54.

[12] Soytaş U, Sari R, Ewing B T. Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States [J]. Ecological Economics, 2007, 62(3): 482-489.

[13] Ozturk I, Acaravci A. CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption and economic growth in turkey [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(9): 3220-3225.

[14] Shahbaz M, Feridun M. Electricity consumption and economic growth empirical evidence from pakistan [J]. Quality & Quantity, 2012, 46(5): 1583-1599.

[15] Hamilton J D. Oil and the macroeconomy since world war II [J]. Journal of political economy, 1983, 91(2): 228-248.

[16] Blanchard O J, Gali J. The macroeconomic effects of oil shocks: why are the 2000s so different from the 1970s? [R]. National Bureau of Economic Research, 2007.

[17] 刘卫国. 我国石油消费与经济增长互动关系的实证研究 [J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2008, 23(4): 83-89.

[18] 吴永平,温国锋,宋华岭. 世界主要煤炭消费国与其国家经济增长 GDP 关系分析 [J]. 中国矿业, 2008, 17(2): 21-25.

[19] 林伯强. 电力消费与中国经济增长: 基于生产函数的研究 [J]. 管理世界, 2003(11): 18-27.

[20] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展 [J]. 经济研究, 2009(4): 41-55.

[21] 王兵,侯冰清. 中国区域绿色发展绩效实证研究: 1998—2013——基于全局非径向方向性距离函数 [J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2017(6):

24-40.

[22] 林伯强,姚昕,刘希颖. 节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整 [J]. 中国社会科学, 2010(1): 58-71.

[23] 马静,田鹏,林伯强,等. 安徽省中长期能源电力需求预测 [R]. 中国能源经济研究中心工作论文, 2017.

[24] Smith J C, Milligan M R, Demeo E A, et al. Utility wind integration and operating impact state of the art [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(3): 900-908.

[25] Lin B, Li J. Analyzing cost of grid-connection of renewable energy development in China [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 50: 1373-1382.

[26] Mills A. Estimating reserve costs for wind power [R]. The China Sustainable Energy Program, 2011.

[27] CDEAC. Report of the transmission task force to the western governors association [R]. Clean and Diversified Energy Advisory Committee, 2006.

[28] Jacobs M B. Transmission recommendations for high wind penetration [C]. Power Engineering Society General Meeting, 2007 IEEE 1-6.

[29] Cometto M, Keppler J H. Nuclear energy and renewables: system effects in low-carbon electricity systems [D]Paris: Paris Dauphine University, 2012.

[30] 何永秀,关雷,蔡琪,等. 抽水蓄能电站在电网中的保安功能与效益分析 [J]. 电网技术, 2004, 28(20): 54-57.

[31] 周小谦. 国网摒弃抽水蓄能利好风电并网为何不建? [EB/OL]. (2012-06-15). [http://www.cnsb.cn/html/news/782/show\\_782855.html](http://www.cnsb.cn/html/news/782/show_782855.html).

[32] 王利,周悦刚,徐晓敏. 我国光伏发电成本变化分析 [J]. 中国电力企业管理, 2016(5): 46-49.

[33] 章从福. 以5美分/kWh的成本发电美国风险企业开发出跟踪聚光型太阳能电池 [J]. 半导体信息, 2008(3): 39-39.

[34] 佚名. 国家发展改革委: 部署核电上网电价机制 [J]. 中国招标, 2013(30): 53-53.

## 附录

对未来的能源路径设定两种情形,即自然演化情形和约束情形。前者是指未来各种能源消费量的变化均按历史趋势进行,而约束情形是指未来各能

源消费量的变化要满足目前政府已经出台的一些规定。在本文中我们综合考虑了《安徽省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《中国2050高比例可再生能源发展情景暨路径研究》中提到高比例可再生能源的情景以及美国能源署发布的《年度能源展望2015》并结合安徽省风电、光伏、水电的资源禀赋和现有开发状况,以及中国内陆建核电场的趋势所设定的一种情形。例如,根据《安徽省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》,安徽省在2020年设定的目标中非化石能源在能源结构中占比约为5.5%,而天然气的消费量在2020年达到80亿立方米,实际上2014年安徽省天然气消费为34.5亿立方米,如果按照历史增速,安徽省2020年的天然气消费量将无法达到80亿立方米。国内外部分机构对于2050年中国可再生能源的比例的预测结果如下:清华大学——麻省理工学院中国能源环境项目预测2050年在持续努力的情境下,中国非化石能源占一次能源消费比重将从2020年的15%增加到2050年的26%;中石油技术经济研究院的研究认为2050年中国可再生能源的比重约为31%;《中国2050高比例可再生能源发展情景暨路径研究》中提到高比例可再生能源的情景“在2050年可再生能源在一次能源消费中的比例达到60%以上”。约束情形正是基于这些文件规定的考虑所设置的一种发展情形,不同情形下的能源消费结构如表6所示。

表6 安徽省未来不同情形下的能源消费结构(%)

年份	自然演化(约束)情形			
	煤炭	石油	天然气	其他
2020	72.40	18.92	5.20	3.47
	(68.18)	(18.92)	(7.40)	(5.50)
2025	67.99	21.48	6.61	3.91
	(60.29)	(21.33)	(10.67)	(7.71)
2030	63.85	23.88	7.94	4.32
	(53.32)	(23.45)	(13.57)	(9.67)
2050	49.70	14.20	12.50	23.60
	(32.60)	(14.00)	(17.50)	(35.90)

责任编辑、校对: 李斌泉



**Keywords:** Subjective well-being; Structural equation model; Analysis and evaluation of the structural; Public service; Ecological environment

**Study on the Nonlinear Relationship between Corruption and Public Entrepreneurship  
—Evidence from Financial Development Threshold Model**

HE Jianfeng , CHEN Qianru

( School of Economics and Commerce , South China University of Technology , Guangzhou 510006 , China)

**Abstract:** Based on China's 31 province-level panel data from 1999 to 2011 , setting financial development as the threshold variable and constructing the Hansen threshold model , this paper investigates the nonlinear relationship between corruption and entrepreneurship in China. The results indicate that corruption has a negative impact on entrepreneurship and there exists double financial development threshold effect. The negative effect of corruption on entrepreneurship is very significant when the financial development belongs to low-level zone , and then with the upgrading of financial development level , the negative effect is considerably reduced or even not obvious. Comparing different forms of entrepreneurship , we find the company system needs a higher level of threshold to weaken the negative effect than the self-employed. The further regional analysis shows the threshold value of financial development is higher in Mid-west region of China than the eastern. This paper gives the conclusion that financial development is benefit to weaken the negative effects of corruption impacting on entrepreneurial.

**Keywords:** Corruption; Public entrepreneurship; Financial development; Threshold model; Non-linear relationship

**Virtuous Circle: the Development of Knowledge-intensive Business Services and  
the Employment Expansion of the Manufacturing Industry**

XIAO Ting

( School of International Economics and Trade , Jiangxi University of Finance and Economics , Nanchang 330013 , China)

**Abstract:** As we all know , the service industry and the manufacturing industry are mutually promoting factors in the process of development. This article introduces the industry characteristics of the manufacturing industry as the mediator , including the total investment in manufacturing and total import and export of products in the region. This article empirically analyzes the data of construction panel of China's sub-province area and the empirical results show that the knowledge intensive service industry can contribute to the employment creation of the manufacturing industry , while the manufacturing industry can drive the development of knowledge intensive service industry. In this virtuous cycle , the interaction between the manufacturing industry and the knowledge intensive service enterprises has driven the development of regional economy.

**Keywords:** Servitization; KIBS; Employment generation; Industry characteristics

**Energy Development Paths and Price Changes:**

**Comprehensive Impact Assessments of Economic , Environmental and Energy**

CHEN Yu<sup>1</sup> , TAN Ruipeng<sup>2</sup> , LIN Boqiang<sup>3</sup> , YE Bin<sup>1</sup>

( 1. Institute of Economic Technology , State Grid Cooperation of China , Anhui Branch , Hefei 230022 , China; 2. School of Economics , Xiamen University , Xiamen 361005 , China; 3. School of Management , Xiamen University , Xiamen 361005 , China)

**Abstract:** In this paper , we set up a theoretical framework to measure the effects on economic output , energy demand and pollutant emission reduction which are caused by the change of energy prices. The future average price of energy including fossil fuels and non-fossils is calculated. The differences of energy price under different development situations are used as the exogenous shock. Under the framework of variable input-output model , we can simulate the impact of energy price changes on economic system , energy

demand and pollutant emissions. The main conclusions obtained from the empirical analysis of Anhui Province are that the energy price under the constraint situation is higher than that under the natural evolution and the difference increases with the increase of the year. The output and energy demand are lower in constrained situation than those in natural evolution situation. The increase in energy prices is mainly driven by the increase in the share of renewable energy consumption. This shows that the development of renewable energy, though conducive to environmental improvement, will have an adverse impact on economic development.

**Keywords:** Renewable energy development; Energy costs; Energy demand; Economic output

### **Spatial Evolution Characteristics of Chinese Urban Agglomerations in High-speed Rail Era: Agglomeration or Diffusion**

WANG Chunyang<sup>1</sup>, MENG Weidong<sup>1</sup>, ZHOU Jingxiang<sup>2</sup>

(1. College of Economics and Management, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. School of Business, Jinan University, Jinan 250022, China)

**Abstract:** Based on the panel data of five major urban agglomerations in China over the past 2004–2015 years, we use an econometric model to measure the impact of high-speed rail construction on the spatial evolution of urban agglomerations. It is found that there are significant regional differences in the impact of high-speed rail construction on the spatial pattern of urban system. The construction of high-speed rail has promoted population and economic diffusion in Yangtze River Delta Urban Agglomeration and Pearl River Delta urban agglomerations, and has promoted population and economic agglomeration in the middle reaches of Yangtze River and Chengdu Chongqing urban agglomeration. High-speed rail promotes the economic proliferation of large cities and promotes the economic agglomeration of small and medium-sized cities along the line. The high-speed rail networking has spawned a new impetus for the restructuring of urban spatial system. Every region should optimize the industrial division and urban functional layout of the urban agglomeration according to local conditions, and speed up the construction of intercity fast road network, so as to bridge the linkage effect of high-speed rail construction across large regional scale.

**Keywords:** High-speed rail; Urban agglomeration; Spatial pattern; Influence mechanism; Dependence index; Social network analysis

### **The Internal Mechanism of Traffic Scale Expansion to Steady Growth —Based on the View of Human Capital Matching**

NAN Yu<sup>1</sup>, LI Jing<sup>2</sup>

(1. Institute of Economics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100836, China;

2. School of Economics, Anhui University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** Traditional theory holds that traffic infrastructure has a stable growth momentum because its externalities promote the formation of regional economic integration through the diffusion effect. In addition, this paper suggests that on the one hand, the traffic infrastructure can accelerate information, knowledge, education, ideas and creativity accumulating and diffusing, thus can directly promote the whole social innovation efficiency. Traffic infrastructure, on the other hand, provides the human capital spillover channels, promotes human capital accumulation and leads to high human capital into the research and development department. Therefore, expanding the scale of traffic infrastructure has a steady growth momentum, avoids economies falling into “low equilibrium trap”, and finally realizes the convergence to the “high steady equilibrium”.

**Keywords:** Traffic infrastructure; Stabilizing economic growth; Human capital matching; New Kaldor's fact; Multiple equilibrium