

区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率的动态关系研究：淮河生态经济带的实证分析

宋马林，陶伟良，翁世梅

摘 要：运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型对 2005—2018 年淮河生态经济带 28 个地级市的能源生态效率进行测度分析，通过 PVAR 模型实证研究了区域产业升级、政府创新支持和能源生态效率之间的动态关系及影响机制。结果表明：淮河生态经济带能源生态效率整体波动较大，且不具有 σ 收敛特征，但整体及各地区绝对 β 收敛趋势显著，区域协调发展有利于共同提升能源生态效率；脉冲响应分析表明区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率三者间互动存在非线性特征，方差分解结果表明区域产业升级和政府创新支持对能源生态效率的提升具有重要影响，政府创新支持可以促进区域产业结构的优化升级，能源生态效率对政府创新支持存在拉动作用，此外，中介效应检验结果表明政府创新支持对能源生态效率的促进作用有 13.36% 是通过传导影响区域产业升级实现的。

关键词：能源生态效率；区域产业升级；政府创新支持

中图分类号：F205 **文献标识码：**A **文章编号：**1671-0169(2021)04-0119-14

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2021.04.010

一、引 言

能源问题关乎国家发展，提升能源生态效率是经济社会可持续发展的重要保障。经济社会可持续发展的关键在于产业的耦合协调与创新，这主要体现在产业结构的优化升级和创新技术的支持上。能源生态效率与产业结构密切相关，产业结构变迁对中国经济增长的贡献亦非常显著，但随着市场化的深入，“红利结构”不断减弱，经济高质量发展的实现取决于各个产业的集约程度和产业结构特征。科技创新在一定程度上能够提高资源、能源的利用效率，减少污染排放，提升区域生态效率。科技创新水平的提升离不开政府的大力支持，因此，政府创新支持对于能源生态效率也有着重要影响。产业结构与政府创新支持也受到能源生态效率的影响，但这种影响存在着不确定性。本文将深入探讨区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率三者之间的动态关系和长期影响。

国内外学者对能源生态效率、区域产业升级与政府创新支持已进行一系列研究。生态效率最早由 Schaltegger 等在 1990 年提出，主要用于衡量环境和能源资源对经济活动的影响^[1]。由于能源消耗造成的环境问题给人类的生产和生活造成了严重的危害^[2]，学术界对能源消耗中的环境污染与生态破坏问题展开了激烈的讨论，综合能源、经济、生态环境三大方面的能源生态效率受到了广泛关

基金项目：国家社会科学基金项目“全面建立资源高效利用制度研究”(20ZDA084)

作者简介：宋马林，管理学博士，安徽财经大学统计与应用数学学院教授（安徽 蚌埠 233030）；陶伟良，安徽财经大学统计与应用数学学院研究生，18895615241@163.com；翁世梅，安徽财经大学统计与应用数学学院研究生

注。关于能源生态效率的测度,既有文献主要采用指标体系法^[3]、层次分析法^[4]、因子分析法^[5]、生命周期评价^[6]、随机前沿分析^[7]和数据包络分析^{[8][9]}。在这些方法中,DEA 由于不需要考虑函数形式、预估模型参数以及分布假设^[10],成为衡量全要素能源效率的典型方法,被广泛应用于生态效率评估^[11]。但传统的 DEA 模型难以对多个有效决策单元排序,Andersen 等^[12]提出了超效率 DEA 模型,克服了这一缺陷。目前基于 DEA 模型扩展的 SBM 以及超效率 SBM 模型在能源效率的测度上有着广泛的应用^[13]。

关于区域产业升级与能源生态效率的研究,大多学者认为产业结构升级有利于改善区域生态环境^{[14][15][16][17][18]},且随着经济水平的提升,产业升级对城市生态效率的促进作用会更加显著。韩永辉等^[14]从区域层面证实了产业结构高级化有利于生态效率的提高,Zhu 等^[15]也认为产业结构升级对区域生态效率的提升有积极的影响。产业升级通过产业自身转型实现了资源的有效配置,通过要素流动和分工专业化提升了区域能源生态效率^[19]。但也有学者对此提出质疑,刘杰等^[20]、Zhou 等^[21]以及 Wang 等^[22]认为产业升级对生态效率没有显著影响,主要原因在于单纯的要素积累带来的产业升级并不能提升资源利用效率,对生态环境的改善并不显著。此外,有研究指出产业升级对生态效率存在异质性作用^[23]。关于政府创新支持与能源生态效率的研究目前较少,既有文献对政府创新支持的研究多集中在其与创新及经济发展的关系上,例如,吴晓园等^[24]探讨了政府创新支持与经济增长的关系,发现政府对创新的补贴支持对技术进步和经济增长具有促进作用。部分学者认为,政府对科技创新支持力度的加大在一定程度上能够有效提升能源利用技术,改善环境质量^{[25][26]},最终提升能源生态效率^[27]。也有研究认为两者之间存在“U”型非线性关系,如谢波等^[28]在研究科技创新对区域生态效率的影响时发现,两者存在“U”型关系,政府只有加大科技创新资金的支持力度,使其过渡到“U”型曲线右端,方能发挥科技创新对生态效率的促进作用。

通过梳理相关文献发现,鲜有研究将能源生态效率、区域产业升级和政府创新支持三者纳入一个系统,研究三者间的相互作用关系;同时现有研究多针对中国省际能源生态效率进行测度,有关地级市能源生态效率的研究相对较少。因此,本文将区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率纳入同一系统,并以此为切入点,探究三者之间的相互作用及长期影响关系,同时研究了政府创新支持对能源生态效率的直接和间接效应。此外,利用较为成熟的包含非期望产出的超效率 SBM 模型对淮河生态经济带能源生态效率进行研究,保证了结果的可靠性,同时丰富了淮河生态经济带绿色发展研究的文献。

二、研究方法

本文首先采用非期望产出的超效率 SBM 模型对淮河生态经济带能源生态效率进行测度评价,并结合收敛性分析方法反映出整体及各区域能源生态效率的敛散程度及趋势,之后利用面板向量自回归模型(PVAR)研究了区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率的动态关系。为进一步探讨政府创新支持通过区域产业升级对能源生态效率的影响机制,本文进行了中介效应检验。

(一) 基于非期望产出的超效率 SBM 模型

DEA 模型是一种用于测度决策单元(DMU)效率的方法,传统基于径向和角度思想的 DEA 模型往往缺乏考虑投入产出的松弛变量对所测度效率的影响,并且对于无效率的决策单元,改进的方法也仅限于等比例缩小(增大)投入与产出的比例,同时由于径向和角度的不同也会导致评价效率产生偏差。Tone^[29]提出的 SBM 模型是基于松弛变量的非径向和非角度的效率评价模型,可以有效解决因径向和角度的选择所带来的影响,然而 SBM 模型对效率值同时为 1 的 DMU 评价失效,并且忽视了“坏产出”的负向影响。为此,Tone^[30]又提出了基于非期望产出的超效率 SBM 模型。

该模型不仅处理了投入产出变量存在的松弛性问题, 充分考虑了“坏产出”的影响, 还解决了有效 DMU 之间的效率排序问题, 可以更准确的评价各 DMU 的真实效率。模型构建如 (1) 所示:

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^{b-}}{b_{tk}} \right)}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^+ \geq y_{rk} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n b_{tj} \lambda_j - s_t^{b-} \leq b_{tk} \\ 1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^{b-}}{b_{tk}} \right) > 0 \\ \lambda, s^-, s^+ \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, q_1; t = 1, 2, \dots, q_2; j = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \end{cases} \quad (1)$$

其中, ρ 为效率值, m 为投入指标的个数, q_1 为期望产出指标个数, q_2 为非期望产出指标个数, n 为 DMU 个数, x_{ij} 、 y_{rj} 和 b_{tj} 分别表示第 j 个 DMU 的 m 维投入变量、 q_1 维期望产出变量和 q_2 维非期望产出变量, λ_j 为强度变量, s_i^- 、 s_r^+ 和 s_t^{b-} 分别表示被评价 DMU 的投入、期望产出和非期望产出的松弛变量, x_{ik} 、 y_{rk} 和 b_{tk} 分别表示被评价 DMU 的投入变量、期望产出变量和非期望产出变量。若 $\rho < 1$, 则被评价的 DMU 无效, 若 $\rho = 1$, 则被评价的 DMU 有效, 若 $\rho > 1$, 则被评价的 DMU 有效, 且 ρ 值越大效率越高。

(二) 收敛性分析方法

能源生态效率 σ 收敛反映了各地区能源生态效率的敛散程度, 判断依据为能源生态效率的标准差是否随时间的推移呈现下降趋势; 能源生态效率绝对 β 收敛是指各地区的能源生态效率会收敛于相同的增长水平, 其主要体现为能源生态效率较低的地区向较高地区“靠拢”, 最终各地区的能源生态效率趋于稳定。 σ 收敛和绝对 β 收敛的方程形式如 (2)、(3) 所示:

σ 收敛:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [E_{it} - (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{it})]^2} \quad (2)$$

绝对 β 收敛:

$$\ln(\frac{E_{it+T}}{E_{it}})/T = \alpha + \beta \ln E_{it} + \epsilon_{it} \quad (3)$$

其中, E_{it} 和 E_{it+T} 分别表示第 i 个地区第 t 期和第 $t+T$ 期的能源生态效率值, $\ln(E_{it+T}/E_{it})$ 表示从第 i 个地区第 t 期到第 $t+T$ 期年均能源生态效率增长率, 本文中 T 设定为 1, n 为地区个数, α 为截距项, β 为基期能源生态效率系数, μ_{it} 为随机误差项。若 β 显著为负, 则表明存在绝对 β 收敛, 即各地区的能源生态效率收敛于相同的增长水平并趋于稳定; 反之, 则不存在。

(三) 面板向量自回归模型 (PVAR)

面板向量自回归模型是对向量自回归模型的拓展, PVAR 模型无需设定变量之间的因果关系, 将所有变量均视作内生变量, 以此分析各个变量及其滞后变量对其他变量的影响, 充分考虑了个体效应和时间效应。本文利用该模型研究区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率之间的动态关

系, 构建形式如 (4) 所示:

$$Y_{it} = \gamma_0 + \sum_{j=1}^k \gamma_j Y_{it-j} + h_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, i 表示第 i 个地区, t 表示第 t 期, $Y_{it} = (\ln TS, \ln TI, \ln E)$ 分别表示区域产业升级、政府创新支持和能源生态效率, Y_{it-j} 表示 j 阶滞后项, γ_0 为截距项, γ_j 为待估滞后项的系数矩阵, h_i 为个体固定效应, θ_t 为每一时期特定冲击的时间效应, ε_{it} 为随机误差项。

(四) 中介效应检验方法

为了进一步探讨政府创新支持通过区域产业升级对能源生态效率的影响机制, 本文借鉴了温忠麟等^[31]的中介效应检验方法构建了如下递归方程:

$$\ln E_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln TI_{it} + \lambda_j \sum_{j=1}^n Controls_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$\ln TS_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln TI_{it} + \lambda_j \sum_{j=1}^n Controls_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\ln E_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln TI_{it} + \delta_2 \ln TS_{it} + \lambda_j \sum_{j=1}^n Controls_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

其中, 被解释变量 $\ln E_{it}$ 为能源生态效率, 解释变量 $\ln TI_{it}$ 为政府创新支持, $\ln TS_{it}$ 为中介变量, 代表区域产业升级, $Controls_{it}$ 为控制变量, 包括环境规制 $\ln ER_{it}$ 和外商投资 $\ln FDI_{it}$ 。

根据中介效应的检验步骤: 首先, 对式 (5) 进行回归, 衡量政府创新支持对能源生态效率的总效应, 若 α_1 显著为正, 表明政府创新支持力度的加大对提升能源生态效率的总体效应存在; 然后, 对式 (6) 进行回归, 判断政府创新支持对中介变量区域产业升级的作用 (β_1); 最后, 对加入中介变量后的式 (7) 进行回归, 检验政府创新支持对能源生态效率的直接效应 (δ_1) 和通过区域产业升级传导的中介效应 (δ_2), 若 β_1 和 δ_2 均显著, 则表明存在中介效应, 同时若 δ_1 显著小于 α_1 , 则说明存在部分中介效应, 中介效应占总效应的比重为 $\frac{\beta_1 \delta_2}{\delta_1 + \beta_1 \delta_2}$ 。

三、变量设定与数据来源

(一) 能源生态效率

参考国内外能源全要素生产率和生态全要素生产率的研究成果^{[9][11]}, 本文从能源、环境和经济三个方面选取了指标对能源生态效率进行衡量, 并利用非期望产出的超效率 SBM 模型进行测算。

1. 投入变量。(1) 能源投入。选取淮河生态经济带 28 个城市的能源消费总量衡量能源投入, 由于市级数据难以获取, 参考蔺鹏等^[32]的做法, 利用各省能源消耗数据按照工业增加值占比折算出相关城市能源投入数据。(2) 劳动力投入。选取 28 个城市的年末从业人员数衡量劳动力投入。(3) 资本投入。选取各市固定资产投资额作为资本投入的代理变量, 并以 2005 年为基期利用固定资产投资指数进行平减。

2. 产出变量。(1) 期望产出。选择各地区的地区生产总值作为期望产出, 利用地区生产总值增长率折算成以 2005 年为基期的不变价地区生产总值。(2) 非期望产出。选择工业废水排放量、工业二氧化硫排放量以及工业烟尘排放量作为非期望产出, 部分缺失数据填补获取。

(二) 区域产业升级

产业结构高级化是对产业结构优化升级状况的一种度量, 在以往的研究中通常根据克拉克定律采用非农业产值占农业产值的比重进行衡量。随着“经济服务化”趋势的演进, 农业产业和非农业产业的界限逐渐模糊, 传统的衡量方法无法准确地反映经济结构的状况, 因此, 本文借鉴干春晖

等^[33]的做法,以第三产业产值和第二产业产值之比对区域产业升级进行衡量。该方法可以清晰地反映出经济结构向“服务化”方向推进的状况,其值越大则表明产业结构优化升级程度越高。

(三) 政府创新支持

政府创新支持作为科技创新的动力源泉,对于提高地区科技实力有着重要作用。众所周知,科技创新是社会发展的需要,可以直接推动社会生产力的发展,因此,加大政府创新支持力度对于促进经济增长也有着重要意义。常用的技术创新指标主要为创新支出和创新投入^[34],而在对政府创新支持进行衡量时,由于产出指标具有时滞性,投入指标更能反映支持力度水平,同时在选取政府创新支持指标时,主要考虑资金以及政策优惠,但由于存在人力、物力以及政策等难以量化处理的问题,因此,本研究将从资金投入方面衡量政府对创新的支持力度。对于区域创新而言,政府对创新支持的最直接手段就是对科技活动的支持力度,然而 R&D 经费支出的包含范围较广,用以衡量创新投入较为不妥,相对而言,以科技活动经费中政府资金的比例衡量政府对科技创新的支持比较合适,但由于现有的淮河生态经济带各地区的统计数据中有关科学创新投入中政府经费的数据缺失,而考虑到财政预算内科学事业投入是保障地方科技创新事业发展的重要资金来源,对科技创新发展有着基础性和引领性作用,具有极其重要的意义,因此,本文以地方财政科学事业费用支出占地方财政一般预算内支出的比重代表政府创新支持,既体现了政府财政计划中支持科技创新的一种主动行为,又突出了政府在科技创新活动中的重要地位,因而更具代表性。

(四) 其他控制变量

为控制其他因素对能源生态效率的影响,参考相关研究,本文选取环境规制和外商投资作为控制变量,其中环境规制利用熵值法对建成区绿化覆盖率、生活污水处理率和工业烟尘去除率三个指标进行综合测度,而外商投资则是采用当年实际使用外资金额与地区生产总值的比重来衡量。

(五) 数据来源

本文的研究对象为淮河生态经济带规划下的地级市,主要包括江苏、安徽、河南、山东、湖北这 5 个省份的 28 个城市,并以此 28 个城市 2005—2018 年的面板数据进行分析。淮河流域作为我国中东部极具发展潜力的地区,有着丰富的自然资源,在国家发展中占据重要地位,但由于流域粗放的发展模式,近年来,淮河流域发展弊端显现,随着能源被大量消耗,资源环境变得更加脆弱,环境污染问题亟待解决。2016 年 3 月,淮河生态经济带建设被写入国家“十三五”规划纲要;2018 年 11 月,国务院正式发布《淮河生态经济带发展规划》,淮河生态经济带建设正式上升为国家战略。各指标数据来源于《EPS 全球统计数据库》《中国城市统计年鉴》、各市统计年鉴以及统计公报,部分缺失数据利用移动二项平均法进行补充。为了方便分析,对淮河生态经济带地区进行简化,根据《淮河生态经济带发展规划》将其划分为东部海江河湖联动区、北部淮海经济区和中西部内陆崛起区,以下分别简称东部、北部和中西部地区^①。

四、实证分析

(一) 淮河生态经济带能源生态效率分析

本文通过 Max-DEA6.0 软件,采用非径向的超效率 SBM 模型,测算出淮河生态经济带 28 个城市 2005—2018 年的能源生态效率值,结果如表 1 所示。

^① 东部海江河湖联动区包括:淮安、盐城、扬州、泰州、滁州等市;北部淮海经济区包括:徐州、连云港、宿迁、宿州、淮北、商丘、枣庄、济宁、临沂、菏泽等市;中西部内陆崛起区包括:蚌埠、信阳、淮南、阜阳、六安、亳州、驻马店、周口、漯河、平顶山、桐柏、随县、广水、大悟等市(县)。

表1 淮河生态经济带28个城市能源生态效率值

地区	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	均值
淮安	0.396	0.443	0.465	0.466	0.500	0.512	0.500	0.511	0.458	0.435	0.450	0.487	0.534	1.001	0.511
盐城	0.454	0.504	0.562	0.587	0.637	0.704	0.677	0.688	0.511	0.499	0.510	0.555	0.655	1.001	0.610
扬州	0.460	0.524	0.631	0.697	0.826	1.031	1.000	1.018	0.493	0.478	0.494	0.550	1.001	0.601	0.700
泰州	0.446	0.495	0.568	0.593	0.668	0.714	0.678	0.747	0.470	0.446	0.470	0.509	0.626	1.026	0.604
滁州	0.461	0.481	0.497	0.575	0.657	1.008	1.007	1.009	0.728	0.683	0.662	0.780	1.014	0.542	0.722
东部	0.443	0.489	0.545	0.584	0.658	0.794	0.773	0.795	0.532	0.508	0.517	0.576	0.766	0.834	0.630
徐州	0.420	0.469	0.530	0.552	0.634	0.704	1.000	1.011	0.493	0.529	0.637	1.004	1.018	1.058	0.718
连云港	0.395	0.415	0.452	0.476	0.514	0.511	0.475	0.485	0.449	0.436	0.449	0.450	0.477	0.549	0.467
宿迁	0.527	0.540	0.569	0.596	0.642	0.665	0.615	0.604	0.435	0.436	0.441	0.452	0.455	0.478	0.532
宿州	0.643	1.007	1.011	0.681	1.001	1.002	0.627	0.647	0.578	0.563	0.445	0.473	0.455	0.683	0.701
淮北	0.418	0.445	0.451	0.428	0.419	0.427	0.407	0.411	0.389	0.409	0.410	0.448	0.437	0.438	0.424
商丘	0.368	0.417	0.440	0.450	0.468	0.499	0.466	0.455	0.445	0.446	0.431	0.467	0.498	0.516	0.455
枣庄	0.331	0.380	0.431	0.465	0.504	0.562	0.552	0.537	0.487	0.495	0.492	0.512	0.617	1.013	0.527
济宁	0.372	0.421	0.479	0.504	0.579	1.003	0.601	0.606	0.522	0.579	1.000	1.006	1.031	1.010	0.694
临沂	0.379	0.441	0.514	0.544	0.627	0.727	0.653	0.623	0.525	0.540	0.583	0.678	1.004	1.010	0.632
菏泽	0.299	0.328	0.347	0.379	0.397	0.414	0.398	0.403	0.385	0.385	0.376	0.387	0.393	0.427	0.380
北部	0.415	0.486	0.523	0.508	0.579	0.651	0.579	0.578	0.471	0.482	0.526	0.588	0.638	0.718	0.553
蚌埠	0.425	0.459	0.485	0.501	0.550	0.637	0.603	0.570	0.547	0.540	0.534	0.608	0.636	0.595	0.549
信阳	0.416	0.439	0.458	0.482	0.491	0.514	0.551	0.589	0.568	0.513	0.515	1.048	0.678	1.059	0.594
淮南	0.306	0.321	0.326	0.323	0.330	0.344	0.347	0.364	0.356	0.367	0.362	0.392	0.395	0.398	0.352
阜阳	0.551	0.492	0.503	0.531	0.571	0.609	0.554	0.560	0.563	0.519	0.522	0.519	0.507	0.465	0.533
六安	0.460	0.490	0.536	0.540	0.614	0.656	0.479	0.468	0.459	0.600	0.409	0.724	1.026	1.020	0.606
亳州	1.368	1.018	1.028	1.038	1.035	1.022	1.009	1.009	0.727	0.692	0.622	0.820	1.006	1.042	0.960
驻马店	0.309	0.338	0.365	0.380	0.395	0.405	0.387	0.387	0.373	0.354	0.357	0.414	1.003	1.014	0.463
周口	0.487	0.570	0.654	1.005	1.005	1.028	0.697	0.679	0.625	0.561	0.558	1.013	1.043	1.061	0.785
漯河	0.399	0.425	0.462	0.473	0.508	0.556	0.624	0.671	0.610	0.610	0.655	1.045	1.020	1.130	0.656
平顶山	0.341	0.378	0.420	0.437	0.464	0.482	0.482	0.466	0.440	0.440	0.447	0.500	0.506	0.523	0.452
南阳	0.487	0.676	1.014	1.001	1.004	1.041	1.017	1.008	1.015	0.847	1.001	1.032	1.024	1.047	0.944
随州	1.054	1.008	1.062	1.017	1.021	1.059	1.071	1.004	0.782	1.002	1.013	1.095	1.204	1.168	1.040
孝感	0.344	0.363	0.386	0.392	0.429	0.454	0.434	0.418	0.383	0.395	0.391	0.408	0.410	0.380	0.399
中西部	0.534	0.537	0.592	0.625	0.647	0.678	0.635	0.630	0.573	0.572	0.568	0.740	0.804	0.839	0.641
整体	0.475	0.510	0.559	0.575	0.625	0.689	0.640	0.641	0.529	0.529	0.544	0.656	0.738	0.795	0.608

从时间变动趋势来看,2005—2018年淮河生态经济带整体能源生态效率的波动较大。从2005年到2018年,能源生态效率呈先上升后下降再上升的趋势,2018年能源生态效率达到最大值0.795,这得益于生态文明建设战略的提出,国家愈发重视能源资源环境,使得能源生态效率值提升。值得注意的是,大多数城市的能源生态效率都呈现分段变化,且在2018年达到有效水平,但仍有部分地区的能源生态效率值较低,如孝感和淮南能源生态效率值不足0.4,排名靠后。

从区域差异角度来看,中西部地区能源生态效率高于东部和北部地区。具体来看,中西部地区中的亳州、南阳和随州能源生态效率较高,其2005—2018年的能源生态效率均值高于0.9,主要原因在于这些城市经济发展程度一般,能源消耗不大,同时在经济发展的过程中注重生态环境保护;而对于北部地区而言,大多数城市的能源生态效率处于中等偏下水平,部分城市如连云港、淮北、商丘以及菏泽能源生态效率的均值低于0.5,原因在于这些城市经济发展较弱,加之对环境保护的意识不够,不注重资源的可持续利用,能源生态效率水平较低。

(二) 淮河生态经济带能源生态效率的收敛性分析

1. 能源生态效率的 σ 收敛。淮河生态经济带整体及不同区域能源生态效率的 σ 收敛结果如图1所示。

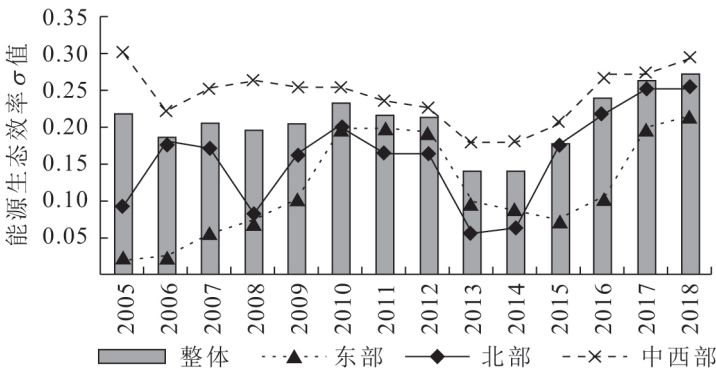


图1 淮河生态经济带整体及分区域能源生态效率的 σ 收敛结果

从整体区域来看，2005—2018年淮河生态经济带能源生态效率的标准差呈现波动上升态势，未表现出 σ 收敛特征。分区域来看，东部地区的能源生态效率标准差变化趋势总体上表现为“N”型特征，但并未体现 σ 收敛；北部地区能源生态效率的标准差波动较大，也未呈现 σ 收敛特征；而中西部地区能源生态效率标准差总体上呈现下降的变化趋势，表现出 σ 收敛，表明中西部地区各市之间能源生态效率的差异在缩小。基于淮河生态经济带整体区域与东部、北部及中西部的比较，可以发现中西部地区能源生态效率的标准差大致高于整体区域的标准差，且高于北部和东部地区，从整体层面看，淮河生态经济带整体区域能源生态效率的差异相对较高，分地区来看，中西部地区各市之间的能源生态效率差异最大，北部地区差异在前期和后期均高于东部地区，中期则低于东部地区。

2. 能源生态效率的绝对 β 收敛。进一步进行绝对 β 收敛分析，检验结果如表2所示。从淮河生态经济带整体层面看，系数估计值为 -0.1231 ，且通过了1%的显著性检验，说明能源生态效率水平与其增长率成反比关系，整体呈现绝对 β 收敛，能源生态效率趋于稳定水平。分区域来看，三个区域能源生态效率的回归系数均为负，且均通过了显著性检验，表明淮河生态经济带能源生态效率较低的城市在向能源生态效率较高城市追赶，区域能源生态效率收敛于相同的增长水平并趋于稳定，存在显著的绝对 β 收敛特征，这也表明了淮河生态经济带的能源生态效率区域协调发展，共同提升能源生态效率具有一定的可行性。

表2 淮河生态经济带东部、北部和中西部能源生态效率的绝对 β 收敛结果

	整体	东部	北部	中西部
α	-0.0323 (-1.46)	-0.1376* (-1.66)	-0.0522 (-0.90)	-0.0084 (-0.43)
β	-0.1231*** (-4.38)	-0.3499*** (-2.80)	-0.1382* (-1.95)	-0.0837*** (-3.17)
R^2	0.0544	0.1601	0.0542	0.0398

注：***、**、*分别表示变量在1%、5%、10%的显著性水平下显著，括号内为t统计量，下表均同。

(三) 面板单位根检验

为了避免序列中存在的异方差问题，本文首先对所有变量数据采用自然对数处理，同时为了避

免伪回归，在进行 PVAR 模型估计和中介效应检验之前，采用 LLC、IPS 和 Fisher-ADF 三种单位根检验方法检验能源生态效率（ $\ln E$ ）、区域产业升级（ $\ln TS$ ）、政府创新支持（ $\ln TI$ ）、环境规制（ $\ln ER$ ）和外商投资（ $\ln FDI$ ）的平稳性，检验结果如表 3 所示。结果显示，所有变量均通过 5% 的显著性水平检验，变量序列平稳。

表 3 面板单位根检验结果

变量	LLC 检验	IPS 检验	Fisher-ADF 检验
$\ln E$	-2.5316***	-1.9536**	139.8460***
$\ln TS$	-6.4413***	-1.6818**	174.8713***
$\ln TI$	-10.9255***	-3.5022***	132.4620***
$\ln ER$	-9.0716***	-4.5904***	226.0471***
$\ln FDI$	-5.3451***	-3.8404***	143.2264***

（四）面板向量自回归分析

1. PVAR 模型的滞后阶数选择。进行 PVAR 模型估计前，确定合适的滞后阶数是必要的，通过构建 AIC、BIC 和 HQIC 信息准则对模型的滞后阶数进行选择，结果如表 4 所示。根据信息量取最小的准则，滞后 3 期为最优，以此建立 PVAR 模型。

表 4 PVAR 模型的滞后阶数选取

Lag	AIC	BIC	HQIC
1	-1.781	-0.724	-1.360
2	-2.570	-1.335	-2.076
3	-2.835	-1.395*	-2.258*
4	-2.900*	-1.219	-2.223
5	-2.688	-0.724	-1.895

2. 脉冲响应函数分析。脉冲响应反映的是在其他变量的当期和以前各期值均保持不变的情况下，PVAR 系统中某个方程的扰动项当期发生一个标准差变化对未来各期内生变量的冲击响应情况。为了反映区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率之间的长期动态冲击效应，在进行脉冲响应函数预测分析前，首先进行 1 000 次蒙特卡洛模拟，时间设置为 6 期，得到淮河生态经济带脉冲响应图（图 2—图 4）。其中，横轴表示滞后期数，纵轴表示信息冲击响应度，中间带标记曲线为脉冲响应趋势，上下两条虚线为蒙特卡洛模拟得到的 95% 的置信区间的上下限。

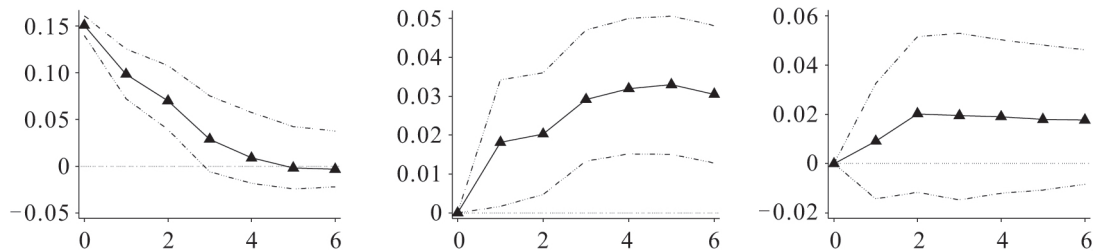


图 2 能源生态效率对自身、区域产业升级与政府创新支持的脉冲响应

图 2 为淮河生态经济带能源生态效率对其自身以及区域产业升级和政府创新支持之间的脉冲响应图。由图可知，淮河生态经济带能源生态效率在面对自身一个标准差的冲击后，各期的响应值均大于 0，并且随着时间的推移逐渐趋近于 0，表明能源生态效率本身存在惯性特征，但其自身惯性推动随着时间的推移在逐渐减弱。能源生态效率在面对区域产业升级一个标准差的冲击后，各期的响应值均大于 0，并且呈现出先上升后下降的趋势，说明区域产业升级可以推动能源生态效率的提升，随着产业结构的优化升级，各种能源资源得到合理配置，各产业间均衡协调发展，工业能源消耗降低，环境污染减少，能源生态效率得以提升，陈菁泉等^[35]的研究也证实了产业结构的升级和优化有利于能源生态效率的提升。面对政府创新支持一个标准差的冲击时，能源生态效率的响应值

在各期也均大于 0, 说明政府创新支持力度的加大有助于提升能源生态效率, 这一点与李在军等^[36]的结论一致。随着科技投入的增加, 高技术产业得到发展, 各项节能和环保技术日趋成熟, 能源利用效率提升, 而能源损耗降低, 对污染物的处理能力也随之提高, 环境污染得到改善, 生态建设得到有力保障, 从而能源生态效率得以提升。

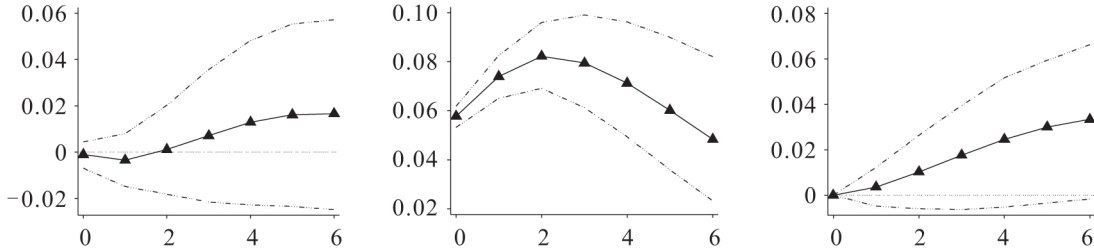


图 3 区域产业升级对能源生态效率、自身与政府创新支持的脉冲响应

图 3 分别表示区域产业升级对能源生态效率、自身以及政府创新支持之间的脉冲响应图。由图可知, 区域产业升级面对自身一个标准差冲击响应值在各期也均大于 0, 且表现出倒“U”型的曲线特征, 在第 2 期达到最大值后呈现下降趋势, 这说明区域产业升级自身存在惯性特征, 其自身的惯性推动具有时滞特征, 并且过度优化调整的产业结构会在远期对自身产生下行压力。面对能源生态效率一个标准差冲击, 区域产业升级的响应值在短期内形成负向响应, 之后各期表现出正向响应, 部分原因在于短期内能源生态效率与区域产业升级之间会形成负反馈调节机制, 前期能源生态效率的下降会导致产业结构优化升级的步伐加快, 从而促使产业结构往高级化水平提升, 后期能源生态效率不断提升的显著成效加上区域产业升级自身存在的惯性特征, 也会进一步带动产业结构的优化调整, 汪艳涛等^[17]在研究中发现产业结构升级与生态效率之间存在相互正向溢出效应, 与本文结论基本一致。产业升级面对政府创新支持一个标准差冲击的响应值在各期均大于 0, 随着政府创新支持力度的增加, 科技创新活动得到支持, 自主研发能力显著提升, 新技术和新设备的引进为产业结构的优化升级提供便利, 加快产业调整的效率, 产业结构水平不断攀升, 这与顾晓燕等^[37]得出的结论一致。

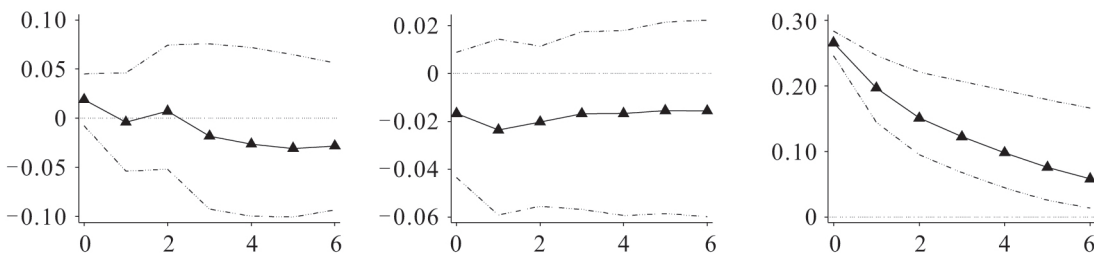


图 4 政府创新支持对能源生态效率、区域产业升级与自身的脉冲响应

图 4 分别表示淮河生态经济带政府创新支持对能源生态效率、区域产业升级以及自身之间的脉冲响应图。由图可知, 政府创新支持面对自身一个标准差冲击的响应值在当期达到最大, 随后逐渐下降, 表明政府创新支持自身存在的惯性动力会随着时间的推移逐渐减弱。面对能源生态效率一个标准差下的冲击, 政府创新支持在当期和第 2 期的响应值均大于 0, 但在远期形成负向响应, 表明在当期和未来某期能源生态效率与政府创新支持存在正反馈调节效应, 当政府创新支持正向影响能源生态效率时, 不断提升的能源生态效率会反馈给创新支持, 刺激政府创新支持力度进一步加大, 但是在远期, 由于科技创新受到能源生态效率不断攀升的压力会造成停滞现象, 因此, 相应地创新

支持力度会降低。政府创新支持面对区域产业升级一个标准差冲击时，其响应值在未来各期表现为负，这表明产业结构水平的不断提升会抑制政府创新支持力度的加大，随着产业结构不断地优化调整，当高新技术产业密集，创新发展程度较高，政府会适当减小对创新支持的力度，这一点与胡艳等得到的结论基本一致^[38]。

3. 方差分解分析。方差分解可以反映单位冲击变量对预测的内生变量的误差变异系数贡献程度，表5展示了1 000次蒙特卡洛模拟生成的95%置信水平下第5、10和20期的淮河生态经济带区域产业升级、政府创新支持和能源生态效率之间的方差分解结果。

在能源生态效率的方差分解中，淮河生态经济带在未来5—20期，自身对能源生态效率的贡献最大，到第20期，自身贡献了78.9%的解释能力，这表明能源生态效率主要依靠自身惯性，区域产业升级和政府创新支持对能源生态效率的贡献虽然相对较小，却在逐期提升。在第5期，区域产业升级和政府创新支持对能源生态效率的贡献率分别为6.2%和2.9%，到第20期，分别上升至12.9%和8.2%，表明区域产业升级和政府创新支持的作用存在长期性。长期来看，产业结构升级和加大政府创新支持均有助于提升地区能源生态效率。

在区域产业升级的方差分解中，淮河生态经济带在未来各期来自自身的贡献均大于来自能源生态效率和政府创新支持的贡献，政府创新支持对区域产业升级解释能力的贡献在逐渐上升，从第5期的3.7%上升至第20期的20.4%，说明政府创新支持可以有效促进产业结构的优化升级，而能源生态效率对产业升级贡献的解释能力相对较弱，到第10期之后对产业升级的贡献率仅维持在2.7%左右。

在政府创新支持的方差分解中，淮河生态经济带自身的贡献高于能源生态效率和区域产业升级，并且在未来各期贡献的解释能力始终维持在95%以上，在第20期，能源生态效率对政府创新支持解释能力的贡献为2.7%，区域产业升级的贡献也在逐期上升，到第20期上升至2.3%，能源生态效率和区域产业升级对政府创新支持的解释能力都相对较弱。

表5 方差分解

变量	期数	lnE	lnTS	lnTI
lnE	5	0.908	0.062	0.029
	10	0.812	0.128	0.060
	20	0.789	0.129	0.082
lnTS	5	0.008	0.955	0.037
	10	0.027	0.822	0.151
	20	0.027	0.768	0.204
lnTI	5	0.009	0.011	0.980
	10	0.025	0.017	0.958
	20	0.027	0.023	0.950

（五）中介效应检验

方差分解结果表明政府创新支持对区域产业升级和能源生态效率均具有一定的促进作用，而区域产业升级对政府创新支持的影响相对较小，几乎可以忽略，因此，本文仅考察政府创新支持通过传导区域产业升级对能源生态效率施加的影响，选取区域产业升级作为中介变量进行中介效应检验，结果如表6所示。

表6中回归模型（1）、（2）和（3）的估计结果均是基于随机效应模型得出，由检验结果可知，解释变量政府创新支持的系数均显著，政府创新支持对能源生态效率和区域产业升级在5%的显著性水平下均存在正相关关系，表明政府创新支持有利于提升能源生态效率和区域产业结构升级，这与前文面板向量自回归的估计结果表现一致。由回归模型（3）可知，政府创新支持和区域产业升级对能源生态效率均具有显著影响，且 $\delta_1 = 0.065\ 4 < \alpha_1 = 0.075\ 4$ ，政府创新支持在促进能源生态效率的过程中区域产业升级充当了部分中介作用，中介效应占总效应的比重为 $\frac{\beta_1 \delta_2}{\delta_1 + \beta_1 \delta_2} = 0.133\ 6$ ，即政府创新支持对能源生态效率的促进作用有13.36%是通过传导影响区域产业升级实现的。

表 6 区域产业升级的中介效应检验

变量	模型 (1)	模型 (2)	模型 (3)
	lnE	lnTS	lnE
lnTI	0.0754*** (4.67)	0.0283** (1.97)	0.0654*** (4.26)
lnTS	—	—	0.3563*** (6.59)
Controls	YES	YES	YES
_cons	-0.3858*** (-3.38)	-0.5494*** (-5.36)	-0.1904* (-1.67)
R ²	0.1204	0.0591	0.2133
豪斯曼检验的 P 值	0.5761	0.8004	0.7410
模型选择	RE	RE	RE

注：括号内为 z 统计量。

五、稳健性检验

为提高研究结果的可靠性，本文在利用非期望产出的超效率 SBM 模型测算能源生态效率时采取替换资本投入的方式进行稳健性检验，在衡量资本投入时，选取资本存量作为资本投入的代理变量，选择固定资本存量并利用永续盘存法对其进行估算，计算公式为：

$$K_t = (1 - \delta_t)K_{t-1} + I_t \tag{5}$$

其中， K_t 为 t 期资本存量， δ_t 为 t 期折旧率，年折旧率参考张军等^[39]的做法取 9.6%， I_t 为 t 期实际固定资产投资额，以 2005 年为基期利用固定资产投资指数进行平减获得，基期资本存量取基期固定资产投资除以 10%。

在替换资本投入之后重新测算能源生态效率并进行面板向量自回归分析，根据脉冲响应的结果显示，检验结果与实证主体部分的结论基本一致，说明本文的估计结果具有较强的稳健性。

六、结论与启示

本文采用非期望产出的超效率 SBM 模型对我国淮河生态经济带 28 个城市 2005—2018 年的能源生态效率进行了测度，并比较研究了不同区域能源生态效率的收敛性，之后基于面板向量自回归模型（PVAR）和中介效应检验对区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率之间的动态变化关系及影响机制进行了研究。研究结论如下：

1. 淮河生态经济带整体能源生态效率波动较大，呈现先上升后下降再上升的变化特征。改革开放以来，经济的快速发展，导致能源消耗增加，环境污染加重，能源生态效率逐年下降，随着生态文明建设的提出，“十三五”规划对环保措施的重视，环境逐步得到改善，对能源生态效率产生了一定的促进作用。在区域演变层面，中西部地区的能源生态效率略高于东部和北部地区，这是由于中西部地区能源资源较其他地区丰富，并且资源消耗相对较小。
2. 淮河生态经济带中西部地区的能源生态效率在 2005—2018 年间具有 σ 收敛特征，而整体及东部与北部地区均不存在 σ 收敛。虽然中西部地区的能源生态效率表现为 σ 收敛，但是各市之间能源生态效率差异较大，且高于整体区域间的差异，北部地区和东部地区相比，在研究的前期和后期，前者能源生态效率的差异均高于后者。同时，淮河生态经济带整体及各区域能源生态效率呈现绝对 β 收敛特征，最终趋于稳定水平，这表明区域合作协调发展有利于共同提升能源生态效率。

3. 从脉冲响应函数的分析结果来看, 区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率三者均存在惯性特征, 区域产业升级和政府创新支持均能推动能源生态效率的提升, 能源生态效率的变化可以促进产业结构的优化升级, 政府创新支持力度的加大正向影响产业结构升级, 同时, 政府创新支持在当期和未来某一期会与能源生态效率形成正反馈调节机制, 而在远期不断上升的能源生态效率则会负向作用于政府创新支持, 产业结构水平的不断提升会抑制政府创新支持的强度。方差分解结果表明, 区域产业升级和政府创新支持对能源生态效率存在动态强化影响, 政府创新支持有助于持续促进产业结构的优化升级, 能源生态效率对政府创新支持也存在一定的拉动作用。

4. 从政府创新支持促进能源生态效率提升的中间机制来看, 利用中介效应检验分析发现政府创新支持不但可以直接促进能源生态效率的提升, 而且可以通过促进区域产业升级进而最终促进能源生态效率提升。

基于以上结论, 为提升淮河生态经济带能源生态效率, 本文得到以下启示:

1. 引进先进技术与经验, 缩小区域内能源生态效率差异。由于淮河生态经济带各地区能源生态效率存在差异, 中西部地区能源生态效率优于东部和北部地区, 因此, 区域内能源生态效率较低的地区应该借鉴学习能源生态效率较高地区绿色发展的做法, 同时引入先进的生产技术, 充分发挥自身优势, 以达到缩小区域间差异的目的。

2. 结合自身发展特色, 加快淮河生态经济带能源生态效率区域一体化建设, 实现协调发展。在对淮河生态经济带能源生态效率的收敛性分析时, 发现不同区域能源生态效率均呈现绝对 β 收敛特征, 因此, 加强各区域间人才、技术和资金流动, 促进区域一体化建设, 加强经济合作与资源共享, 大力支持区域协调发展, 能够达到共同提升能源生态效率的目的。

3. 合理推进产业结构优化升级, 加大政府创新支持力度以拉动技术创新。优化第二和第三产业的内部结构, 加快产业结构向“服务业”格局转型, 减轻能源需求的压力, 大力发展高新技术产业和节能环保产业, 降低能源消耗与损耗, 并减少环境污染, 以此提高能源生态效率。此外, 由于政府创新支持能够通过促进区域产业升级从而推动能源生态效率的提升, 因此, 政府应当扩大创新支持力度, 优化科学技术投入结构, 推动技术创新和技术进步; 同时, 加速科学技术的落地转化, 提高创新投入的产出效应, 促进能源生态效率的进一步提升。

参考文献

- [1] Schaltegger, S., A. Sturm. Ökologische rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Managementinstrumenten[J]. *Die Unternehmung*, 1990, 4.
- [2] 孙涵, 申俊, 彭丽思, 等. 中国省域居民生活能源消费的空间效应研究[J]. *科研管理*, 2016(12).
- [3] Wang, Y., M. Sun, R. Wang, et al. Promoting regional sustainability by eco-province construction in China: A critical assessment[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 51.
- [4] Liu, J. G., B. Lü, N. Zhang, et al. Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency[J]. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica*, 2014(1).
- [5] Wu, J., Z. Wu, R. Holländer. The application of Positive Matrix Factorization (PMF) to eco-efficiency analysis[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 98.
- [6] 赵薇, 孙一桢, 张文字, 等. 基于生命周期方法的生活垃圾资源化利用系统生态效率分析[J]. *生态学报*, 2016(22).
- [7] 常新锋, 管鑫. 新型城镇化进程中长三角城市群生态效率的时空演变及影响因素[J]. *经济地理*, 2020(3).
- [8] 王腾, 严良, 易明. 中国能源生态效率评价研究[J]. *宏观经济研究*, 2017(7).
- [9] Peng, B., Y. Wang, G. Wei. Energy eco-efficiency: Is there any spatial correlation between different regions?

- [J]. *Energy Policy*, 2020, 140.
- [10] Lampe, H. W., D. Hilgers. Trajectories of efficiency measurement: A bibliometric analysis of DEA and SFA [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015(1).
- [11] Emrouznejad, A., G. Yang. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978—2016 [J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2018, 61.
- [12] Andersen, P., N. C. Petersen. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis [J]. *Management Science*, 1993(10).
- [13] Moutinho, V., M. Madaleno, P. Macedo. The effect of urban air pollutants in Germany: Eco-efficiency analysis through fractional regression models applied after DEA and SFA efficiency predictions [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 59.
- [14] 韩永辉, 黄亮雄, 王贤彬. 产业结构优化升级改进生态效率了吗? [J]. *数量经济技术经济研究*, 2016(4).
- [15] Zhu, W., L. Xu, L. Tang, et al. Eco-efficiency of the Western Taiwan Straits Economic Zone: An evaluation based on a novel eco-efficiency model and empirical analysis of influencing factors [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 234.
- [16] 郭子琪, 温湖炜. 产业结构调整背景下的中国环境不平等 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015(S1).
- [17] 汪艳涛, 张娅娅. 生态效率区域差异及其与产业结构升级交互空间溢出效应 [J]. *地理科学*, 2020(8).
- [18] Yue, W., Y. Cai, Z. Yang, et al. Structural optimization for industrial sectors to achieve the targets of energy intensity mitigation in the urban cluster of the Pearl River Delta [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 95.
- [19] Zhu, B., H. Shan. Impacts of industrial structures reconstructing on carbon emission and energy consumption: A case of Beijing [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 245.
- [20] 刘杰, 於世为. 产业结构优化对绿色发展生态效率的影响——以长江经济带为例 [J]. *环境经济研究*, 2019(3).
- [21] Zhou, C., C. Shi, S. Wang, et al. Estimation of eco-efficiency and its influencing factors in Guangdong province based on Super-SBM and panel regression models [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 86.
- [22] Wang, Q. S., C. W. Su, Y. F. Hua, et al. Can fiscal decentralisation regulate the impact of industrial structure on energy efficiency? [J]. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2020.
- [23] 王艳. 丝绸之路经济带沿线省份生态效率测定及影响因素——基于 FDI 与产业结构优化视角 [J]. *华东经济管理*, 2018(11).
- [24] 吴晓园, 丛林, 钟俊娟. 政府创新补贴、TFP 与中国经济增长 [J]. *商业研究*, 2012(8).
- [25] 秦晓丽, 于文超. 政府科技投入对 FDI 环境效应的影响——基于 257 个地级市空间相关性的实证研究 [J]. *中央财经大学学报*, 2016(10).
- [26] 周凌燕, 刘静宜. 环境规制下政府科技投入对工业企业绿色发展影响 [J]. *工业技术经济*, 2021(1).
- [27] Wang, D., K. Wan, J. Yang. Ecological efficiency of coal cities in China: Evaluation and influence factors [J]. *Natural Hazards*, 2019(1).
- [28] 谢波, 单灿阳, 张成浩. 科技创新、环境规制对区域生态效率的影响研究 [J]. *生态经济*, 2018(4).
- [29] Tone, K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001(3).
- [30] Tone, K. Variations on the theme of slacks-based measure of efficiency in DEA [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010(3).
- [31] 温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 等. 中介效应检验程序及其应用 [J]. *心理学报*, 2004(5).
- [32] 蔺鹏, 孟娜娜. 环境约束下京津冀区域经济发展质量测度与动力解构——基于绿色全要素生产率视角 [J]. *经济地理*, 2020(9).
- [33] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响 [J]. *经济研究*, 2011(5).

- [34] 万建香, 汪寿阳. 社会资本与技术创新能否打破“资源诅咒”? ——基于面板门槛效应的研究[J]. 经济研究, 2016(12).
- [35] 陈菁泉, 刘娜, 马晓君. 基于随机前沿模型的中国八大综合经济区能源生态效率测度及其驱动因素研究[J]. 中国环境科学, 2021(5).
- [36] 李在军, 胡美娟, 周年兴. 中国地级市工业生态效率空间格局及影响因素[J]. 经济地理, 2018(12).
- [37] 顾晓燕, 朱玮玮, 符斌. 空间视角下知识产权保护、技术创新与产业结构升级[J]. 经济问题, 2020(11).
- [38] 胡艳, 汪徐. 长江经济带产业结构优化对区域创新绩效的影响差异分析[J]. 科技管理研究, 2019(14).
- [39] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10).

Research on the Dynamic Relationship between Regional Industrial Upgrade, Government Innovation Support and Energy Eco-efficiency: An Empirical Study of the Huaihe River Eco-economic Belt

SONG Ma-lin, TAO Wei-liang, WENG Shi-mei

Abstract: The energy eco-efficiency of 28 prefecture-level cities in the Huaihe River Eco-economic Belt from 2005 to 2018 was measured by using the super-efficiency SBM model containing non-expected outputs. The dynamic relationship and influence mechanism among regional industrial upgrading, government innovation support and energy eco-efficiency were empirically studied by using the PVAR model. The results show that the energy eco-efficiency in the Huaihe Eco-economic Belt fluctuates greatly on the whole and does not have the characteristics of σ convergence, but the β absolute convergence trend is significant on the whole and in different regions. The coordinated development of different regions is conducive to the joint improvement of the energy eco-efficiency. Impulse response analysis indicates that the regional industrial upgrading, the government support and energy eco-efficiency innovation exists non-linear interaction; variance decomposition results show that the regional industrial upgrading and government innovation support has great influence in the promotion of energy eco-efficiency; government innovation can promote the optimization and upgrading of regional industrial structure; energy eco-efficiency pulls the government innovation support. Moreover, the mediation effect test results show that 13.36% of the government innovation support for energy eco-efficiency is the realization of industrial upgrading by conduction effect area.

Key words: energy eco-efficiency; regional industrial upgrade; government innovation support

(责任编辑 周振新)