

引用格式:关伟,许淑婷,郭岫垚.黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J].资源科学,2020,42(1):150-158.[Guan W, Xu S T, Guo X Y. Spatiotemporal change and driving factors of comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 150-158.] DOI: 10.18402/resci.2020.01.15

黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素

关伟^{1,2},许淑婷¹,郭岫垚¹

(1. 辽宁师范大学地理科学学院,大连 116029;

2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心,大连 116029)

摘要:黄河流域是中国重要的能源基地,黄河流域能源综合效率问题直接影响黄河流域生态保护和高质量发展。本文基于超效率SBM模型测度1997—2017年黄河流域9省区的能源综合效率值,选取核密度估计方法等分析能源综合效率的时空演变特征,借助地理探测器分析能源综合效率的驱动因素。结果表明:①从时序变化来看,1997—2017年,黄河流域能源综合效率总体呈“高一低—高”的U型变化特征,其中1997—2003年总体呈降低趋势,2004—2010年迅速增长后于2009年下降,2011—2017年持续下降后于2015年上升。②从空间差异来看,黄河流域西部省份能源综合效率相对较低,中部省份能源综合效率受多重因素影响而上下波动,东部的山东省能源综合效率优势显著。总体来看,黄河流域地区能源综合效率由非均衡逐渐向均衡转变。③能源综合效率驱动因子解释力从大到小依次为财政分权、城镇化水平、人力资本水平、对外开放程度,黄河流域省份地方财政支出的扩大、城镇化进程的加快、人才结构的升级、对外开放程度的提高,共同驱动能源综合效率提高。应充分发挥黄河流域地区比较优势,在各项政策指导下加强流域内协作,推动黄河流域生态保护和高质量发展。

关键词:能源综合效率;环境要素;社会要素;超效率SBM模型;地理探测器;黄河流域

DOI:10.18402/resci.2020.01.15

1 引言

黄河流域的保护与发展始终受到党和政府的高度重视,黄河流域生态保护和高质量发展这一重大国家战略的确立与实施将有效促进区域可持续发展,黄河流域的相关研究问题也成为学术界关注的重点^[1]。黄河流域的能源资源在中国七大江河流域中最多,具有种类齐全、储量大、质量好、开采条件优越、分布相对集中等特点,流域内形成了上游水电、中游煤炭、下游石油的分布格局^[2]。黄河流域地跨9个省级行政区,贯通东中西三大地带,资源分布与生产力布局存在错位现象,中上游地区能源开发与生态环境保护矛盾突出。能源综合效率综合考虑能源利用的经济效益、环境效益、社会效益,以较少的能源消耗和较低的环境压力创造较高的经

济价值和社会福利为目标,是衡量黄河流域生态保护和高质量发展的重要指标。

对能源综合效率的研究主要围绕其评价指标、测度模型、影响因素、时序变化规律与空间差异特征等,以省域层面和行业层面的研究为主,现有能源综合效率研究多为基于非期望产出的全要素能源效率评价^[3]。随着研究的深入,学者们意识到只将环境要素纳入全要素能源效率仍难以科学测算能源综合效率,还应将社会福利纳入到指标体系,当前能源综合效率研究趋向于同时考虑环境要素与社会要素^[4-6]。能源效率作为一种效率概念并没有确切的定义,能源综合效率也没有公认的定义,不同学者对能源效率评价指标体系的构建与内涵的界定均不同^[4,7,8]。本文中的能源综合效率是基于

收稿日期:2019-12-24 修订日期:2020-01-04

基金项目:国家自然科学基金项目(41771132;41701616);辽宁省社会科学规划基金项目(L18CJL002)。

作者简介:关伟,男,辽宁岫岩人,教授,博士生导师,研究方向为区域经济与产业规划。E-mail: lsgw2000@sina.com

通讯作者:许淑婷,女,山西阳泉人,讲师,硕士生导师,研究方向为能源经济与区域可持续发展。E-mail: xushuting2010@sina.cn

2020年1月

环境要素兼社会要素的能源效率,既区别于不考虑环境要素与社会要素的能源经济效率,又区别于不考虑社会要素只考虑环境要素的能源环境效率。

能源效率的区域研究主要集中在国家^[5]、省际尺度^[9],较少关注流域尺度,虽已有对长江经济带能源生态效率的评价与分析^[10],但黄河流域作为重要的能源基地,尚未有针对性的研究成果。本文基于超效率SBM模型测度1997—2017年黄河流域9省区的能源综合效率值并分析其时空演变特征,选取核密度估计等方法探析黄河流域各省份能源综合效率的时空演变规律,借助地理探测器分析省份能源综合效率驱动因素的作用程度。地理探测器在地理学科中逐渐受到广泛应用,但在能源资源利用问题中应用相对较少。本文研究完善和丰富了能源效率理论与测度方法,弥补了针对黄河流域能源问题研究的不足,拓展了地理探测器的应用领域,为推动黄河流域生态保护和高质量发展提供理论支撑与改进思路。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 超效率SBM模型

在对能源利用相对效率评价时,通常采用非参数的数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)模型。在DEA模型中,基于松弛的非径向模型(Slack Based Measure, SBM)可以考虑能源投入产出的松弛问题,SBM模型用于多投入多产出效率的评价问题。在环境规制下,Tone^[11]提出了基于非期望产出的SBM模型,考虑了期望产出不足或非期望产出冗余问题。在SBM-DEA模型的测度结果中,通常会出现多个决策单元(Decision Making Unit, DMU)效率值等于1的情况。SBM模型与传统DEA模型都难以区分有效决策单元之间的差异。

Andersen等^[12]提出的对有效DMU进一步区分有效程度的方法被称为超效率模型(Super Efficiency Model, SEM)。在超效率模型中,某个DMU的效率前沿面是由除了被评价DMU以外的其他DMU构成的,当被评价DMU在前沿面外时,该效率值大于1,可以对DMU的效率值进行有效区分。Tone在SBM模型的基础上,进一步定义了超效率SBM模型^[13],它是超效率DEA模型和SBM模型相结合的一种模型,其综合了2种模型的优势,超效率SBM

模型能够区分处于前沿面的有效率DMU。能源综合效率是基于生产函数的全要素生产率指标,本文参照现有文献^[14],建立超效率能源综合效率模型:

$$\begin{aligned} \rho = \min & \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_n^x / x_{kn}^t}{1 + \frac{1}{M+I} \left(\sum_{m=1}^M s_m^y / y_{km}^t + \sum_{i=1}^I s_i^b / b_{ki}^t \right)} \\ \text{s.t.} & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1, k \neq k'}^K z_k^t x_{kn}^t + s_n^x = x_{kn}^t, n=1, \dots, N \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1, k \neq k'}^K z_k^t y_{km}^t - s_m^y = y_{km}^t, m=1, \dots, M \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1, k \neq k'}^K z_k^t b_{ki}^t + s_i^b = b_{ki}^t, i=1, \dots, I \\ & z_k^t \geq 0, s_n^x \geq 0, s_m^y \geq 0, s_i^b \geq 0, k=1, \dots, K \end{aligned} \quad (1)$$

式中: ρ 代表能源综合效率值; s 代表松弛变量; x 、 y 、 b 分别代表能源投入、期望产出和非期望产出; N 、 M 、 I 分别代表能源投入、期望产出与非期望产出的个数; t 、 k 分别代表第 t 年份和第 k 个地区; z 代表强度变量。

(s_n^x, s_m^y, s_i^b) 代表第 n 个投入、第 m 个期望产出与第 i 个非期望产出的松弛向量, $(x_{kn}^t, y_{km}^t, b_{ki}^t)$ 代表被评价的第 k' 地区在 t' 年份的投入产出向量。本文中4个投入指标分别为能源消费、资本存量、就业人口、技术贸易,2个期望产出分别为经济效益和社会效益,1个非期望产出为基于熵值法下的环境污染与环境影响综合指标,应用MAXDEA7.0软件中超效率SBM模型测算1997—2017年黄河流域9省区能源综合效率值。

2.1.2 核密度估计

核密度估计是一种用于估计概率密度函数的非参数检验方法,其优点是只依据数据本身来分析事件的分布形态特征,对函数的形式没有要求^[15]。运用核密度估计法对能源综合效率进行拟合得到其概率分布曲线,分析能源综合效率的演变轨迹,计算公式如下:

$$f(p) = \frac{1}{rh} \sum_{i=1}^r c\left(\frac{p-p_i}{h}\right) \quad (2)$$

式中: $f(p)$ 为核密度估计值; p 为变量; p_i 为标记点; r 为样本数量; c 为核函数; h 为带宽, h 值的选择会影响分布密度估计的平滑程度。本文核密度采用Eviews软件默认的宽度与函数,建立1997年、2007

年、2017年黄河流域9省区能源综合效率的核密度分布图,分别从峰度、位置、形状对核密度曲线表现出的特征进行分析,综合揭示与反映黄河流域能源综合效率的变化情况。

2.1.3 地理探测器

地理探测器能够探测地理要素空间分异性,揭示其背后驱动力^[16],最初用于探寻疾病风险的影响机理^[17]。该方法在应用时因没有过多的假设条件,现被广泛应用于社会经济和自然要素的影响机理研究^[18-20]。本文借助地理探测器方法,识别影响黄河流域能源综合效率的主要驱动因素,探究各因素间的交互作用影响力。其公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{R\sigma^2} \sum_{l=1}^L R_l \sigma_l^2 \quad (3)$$

式中: q 为探测因子 X 的探测力值; L 为因子 X 的子区域; R 和 R_l 分别为全区和因素 X 类型 l 内的样本数; σ_l^2 和 σ^2 分别是层 l 和全区的 Y 值的方差。 q 的值域为 $[0, 1]$, q 值越大,说明因素 X 对于能源综合效率的影响程度越高。

2.2 指标选取与数据来源

将区域可持续发展系统理论与能源综合效率评价指标相结合,构建能源综合效率理论框架(图1),在此基础上构建能源综合效率评价指标体系,具体指标说明见表1。其中,资本存量借鉴张军等^[21]的算法,通过对张军等^[21]与单豪杰^[22]关于存量方法的研究发现,就结果来看张军等的算法更加符合实际,就过程而言单豪杰的算法更有说服力。本文研究区域包括黄河流经的山东省、河南省、山西省、陕

西省、内蒙古自治区、宁夏回族自治区、甘肃省、四川省和青海省9个省级行政单元,指标数据来源于《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》^[23,24]。

本文将社会要素纳入效率测度指标体系中,选取人均公共财政支出作为表征指标。财政8项支出包含:公共安全支出、一般公共服务支出、科学技术支出、城乡社区支出、教育支出、医疗卫生与计划生育支出、社会保障和就业支出、节能环保支出。财政8项支出是支撑GDP增长速度、促进经济社会发展的重要指标,可以有效反映社会福利水平。财政8项支出的增长速度、投入额度对提高能源综合效率、促进区域可持续发展具有重要意义。

能源综合效率受多种因素的影响,在参考现有研究基础上^[25,26],采用词频统计法对2010—2017年知网相关文献进行检索,发现财政分权、环境规制、能源禀赋、资本劳动比、人力资本水平、市场化程度、经济开放性、城镇化、经济发展水平、人口数量、产业结构、能源投资、能源消费结构、技术对能源综合效率有重要影响。在数据可得性、可量化、可比性原则下,为避免由于因变量能源综合效率与解释变量双向交互影响导致的内生性问题,研究选择财政分权、环境规制、能源禀赋、人力资本水平、经济开放性、能源消费结构、城镇化水平进行能源综合效率驱动因素分析。

通过运行地理探测器软件,财政分权、人力资本水平、经济开放性、城镇化水平均通过了显著性检验,本文主要对这4个因素进行分析:①财政分权(X_1)。各个地区的财政分权通过影响地方政府的支

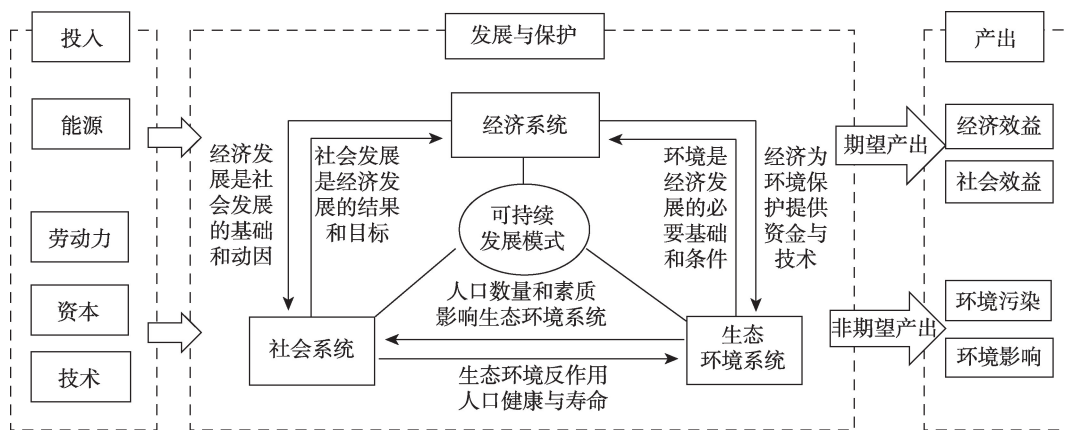


图1 能源综合效率理论框架

Figure 1 A conceptual framework of comprehensive energy efficiency

2020年1月

表1 能源综合效率评价指标体系

Table 1 Evaluation system of comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin

类型	一级	二级	三级
投入	资源要素	能源消费	地区能源消费总量
	资本要素	资本存量	张军算法下的资本存量
	劳动力要素	就业人口	年末就业人口数
	技术要素	技术贸易	技术市场成交额
产出	期望产出	经济效益	以1997年为基期的不变价人均GDP值
		社会效益	人均公共财政支出
	非期望产出	环境污染	工业二氧化硫排放量、PM _{2.5} 、工业废水排放总量、工业烟(粉)尘排放量、工业固体废物产生量
		环境影响	二氧化碳排放量

出结构、预算约束、公共服务投入等来间接影响能源综合效率水平。本文利用地方财政支出占中央财政支出比重来表示财政分权。②城镇化水平(X_2)。城镇化进程使大量农村劳动力流入到城市,改变了各地资源配置效率,从而影响能源综合效率值的高低。本文选择年末城镇人口占总人口比重表示城镇化水平。③人力资本水平(X_3)。人力资本的累积是提高能源综合效率和促进产业结构升级的重要途径,而教育投资是人力资本积累的主要途径。本文借鉴王普查等^[27]的研究,用平均受教育年限法表示,即平均受教育年限= $6a+9b+12c+16d$,其中, a 、 b 、 c 、 d 为受教育程度,分别由小学、初中、高中、大专及以上学历的人口构成表示。④对外开放程度(X_4)。随着全球化的深入,各地对外开放程度不断提高,通过利用外资可以引进较为先进的环境保护技术,有助于提升能源综合效率。研究选用各地区货物进出口总额表示对外开放程度。

3 黄河流域能源综合效率的时空演变

3.1 黄河流域能源综合效率时序变化特征

3.1.1 黄河流域能源综合效率核密度分析

根据1997—2017年黄河流域地区能源综合效率测度结果,选取1997年、2007年、2017年的能源综合效率值,运用Eviews8软件描绘出与之相对应的核密度分布状态(图2),以反映黄河流域地区能源综合效率的总体演变情况,具有以下特征:

从位置上看,1997—2017年黄河流域地区能源综合效率核密度曲线整体向右偏移,核密度曲线所对应的能源综合效率提升幅度较大,能源综合效率

曲线所对应的低值区数量下降、高值区数量上升,说明黄河流域能源综合效率值总体呈增长态势。

从形状上看,1997—2017年黄河流域地区能源综合效率整体上呈现偏态分布,并非严格的单峰或双峰,存在拖尾现象,说明部分地区在提升能源综合效率中,仍然存在不合理发展状况。1997年核密度呈现不规则负偏态分布,能源综合效率较高省份所占比重相对多,各省份能源综合效率的分布差距较大,呈现两级分化态势;2007年核密度曲线呈现不规则正偏态分布,各省份能源综合效率基本处于0.65左右,能源综合效率低值地区所占比重增加;2017年核密度呈现不规则正偏态分布,两级分化改善明显。

从峰度上看,1997—2017年黄河流域地区能源综合效率核密度曲线由宽峰发展成窄峰,峰度升高明显,说明各地区能源综合效率逐步提升为高效率水平。1997—2007年能源综合效率曲线面积较大,为宽峰分布,说明该时期多数区域的能源综合效率发展趋势相同。2007—2017年黄河流域地区能源综合效率曲线由宽峰发展为窄峰,峰度升高,波峰对应的能源综合效率高值省份比重增大。

1997—2017年黄河流域能源综合效率总体上呈“高一低一高”发展态势。究其原因主要如下:在20世纪90年代后期,黄河流域虽然经历了改革开放近20年的经济发展,但由于能源开采率和使用率不高,致使能源综合效率由于能源的低投入而相对较高;2007年黄河流域地区的能源综合效率与1997年和2017年相比均较低且差距较大,该时期工业发展推动能源需求量剧增,能源消耗量大,经济发展过程中出现了一系列环境问题,导致能源综合效率降

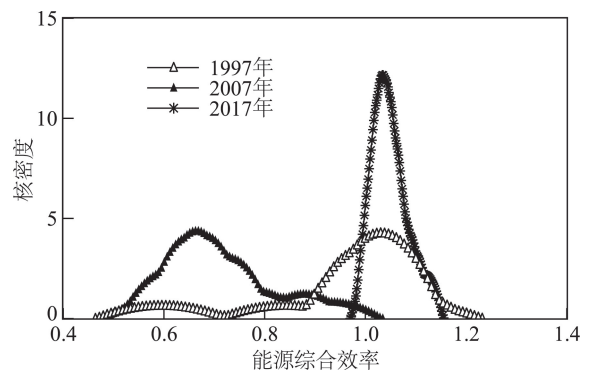


图2 黄河流域能源综合效率的核密度分布

Figure 2 Kernel density distribution of comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin

低;在环境规制的基础上经过多年的生态文明建设,2017年黄河流域能源综合效率提高显著,初步实现了生态平衡、环境保护、能源节约的发展愿景。

3.1.2 黄河流域能源综合效率阶段变化特征

为进一步分析黄河流域地区能源综合效率值的连续变化状况,计算1997—2017年21年的黄河流域9省区能源综合效率均值,由图3可以看出,1997—2017年黄河流域能源综合效率呈现出1997—2003、2004—2010、2011—2017三阶段变化特征。

1997—2003年,黄河流域能源综合效率除2001年外,整体呈降低趋势。其中,1998年与2003年下降幅度最大。反映出该阶段能源经济发展粗放、能源结构不合理,与能源利用相伴的生态环境问题加剧。

2004—2010年,黄河流域能源综合效率呈先增后降趋势。2004—2008年,由于该时期经济发展迅速、国内生产总值高速增长提升了能源综合效率。2008年下半年后,在可持续发展观与建设“资源节约型、环境友好型”社会建设背景下,煤炭消费受到约束,加之能源企业改革、煤炭价格的下降、煤炭资源税改革使煤炭生产成本增加等多方面因素使能源综合效率下降。

2011—2017年,黄河流域能源综合效率呈先降后增趋势。2012年受国际金融危机的影响,经济增速放缓,又处于产业结构转型期,能源综合效率降低。2015年后,随着经济的新常态发展,全国生态保护力度加强,特别加大了黄河流域的生态环境治理,加之各省份进一步优化能源结构,降低了对煤炭的依赖,能源综合效率稳步提高,黄河流域能源综合效率逐步向高效率转变。

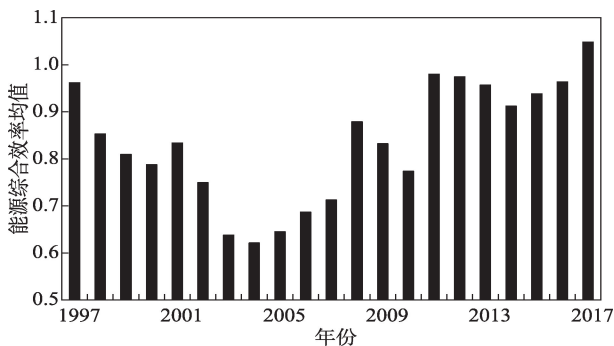


图3 黄河流域能源综合效率均值图

Figure 3 Average comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin

3.2 黄河流域能源综合效率空间差异特征

黄河是中国第二长河,自西向东流经中国西部、中部与东部,三大区域在自然条件、经济基础、能源利用等方面存在差异。黄河西部地势落差大,有利于利用丰富的水力资源进行发电,水电开发将对地方经济社会发展和脱贫攻坚发挥促进作用,合理调解水电开发与生态保护之间的矛盾是提高水电综合利用效率的关键。中部的内蒙古、山西、陕西、河南,处于中国黄土高原、内蒙古高原、黄河中下游平原区域,由于地质历史原因而蕴藏着丰富的煤炭资源,能源利用以煤炭为主,在区域开发中属于能源输出地,发展中造成了较为严重的生态破坏,在当前能源转型的趋势下,中部地区不断优化煤炭生产结构,逐步实现煤炭清洁高效利用。东部的山东是黄河的入海省份,是中国重要的能源生产基地和能源消费地,原油产量与能源消费量均居全国首位,山东省一方面构建节能型产业体系提高能源利用效率,另一方面加大科技投入发展新能源产业,能源利用结构不断优化,能源综合效率逐步提高。

从图4可以看出,1997—2003年,黄河流域能源综合效率省际差异显著,多数省份能源综合效率年变动幅度较大,陕西省能效最低;2004—2010年,黄河流域各省份能源综合效率年差异呈缩小趋势,青海省和甘肃省能源综合效率较上一时期有了很大的降幅;2011—2017年,黄河流域各省份能源综合效率年差异与区域间差异均缩小。

从表2黄河流域能源综合效率值可以看出,1997年黄河流域上中下游地区的能源综合效率从大到小依次是:下游、上游、中游。下游山东省因其良好的自然经济基础、先进的技术、雄厚的资本等优势,能源综合效率高于黄河流域中上游地区。国家政策倾斜东部和西部地区,黄河流域中游地区地处中部,区域发展缺少资金技术和政策支持等优势,加之能源资源的不合理开发和利用,生态环境污染问题突出,能源综合效率较低。

2007年黄河流域上中下游地区的能源综合效率水平格局发生改变,上中下游地区的能源综合效率从大到小依次是:下游、中游、上游。下游山东省的能源综合效率小幅度下降,但仍显著高于中上游地区。上游地区整体发展落后,工业基础薄弱,缺乏带动能力强的中心城市和城市群,能源综合效率

2020年1月

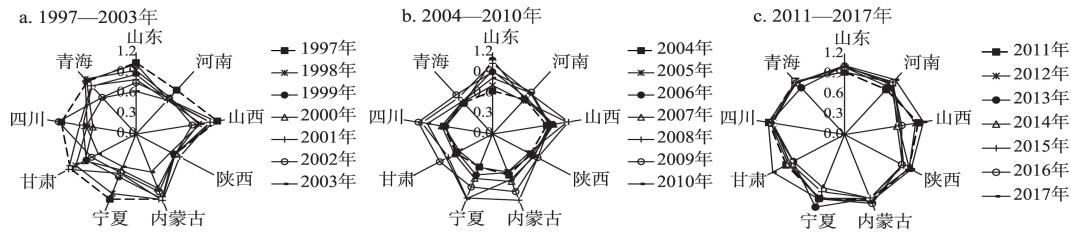


图4 黄河流域能源综合效率雷达图

Figure 4 Radar chart of comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin

表2 黄河流域能源综合效率空间分布

Table 2 Spatial distribution of comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin

省份	1997年	2007年	2017年
山东	1.050	0.931	1.022
河南	0.842	0.695	1.063
山西	1.101	0.827	1.078
陕西	0.596	0.633	1.034
内蒙古	1.018	0.742	1.050
宁夏	1.019	0.694	1.019
甘肃	1.012	0.584	1.117
四川	1.011	0.688	1.043
青海	1.008	0.621	1.009

下降幅度最大,在整个黄河流域中能源综合效率最低。

2017年黄河流域上中下游地区的能源综合效率整体上升。青海、甘肃、宁夏拟打破行政区划局限,共建黄河上游经济区,黄河上游能源综合效率提升巨大。中原城市群、关中平原城市群、山东半岛城市群等国家发展规划,都致力于提升黄河流域中下游地区经济社会全面发展。一系列政策使黄河流域上中下游地区的能源综合效率大幅度提升。

黄河流域能源综合效率值变化,体现出黄河流域发展方式的转变。为追求经济快速发展而破坏生态环境为代价的低质量发展,正在向生态保护、高质量发展的方向演变。黄河流域区域内部能源综合效率也正在由非均衡向均衡转变,山东省较其他省份有较大的效率优势,整个流域朝能源利用合理化方向演变。

4 黄河流域能源综合效率的驱动因素

运用自然断裂法对各影响因素进行离散化处理,利用地理探测器得到的探测结果如表3所示。各影响因子解释力从大到小分别为财政分权

(0.202)、城镇化水平(0.178)、人力资本水平(0.120)、对外开放程度(0.043)。

(1)财政分权对能源综合效率的正向驱动作用最强,说明黄河流域各个省市的财政自主水平越高,地方政府在发展地方经济时越倾向控制环境污染、降低能耗,越有利于提升各地区的能源综合效率。黄河流域是中国重要的经济地带,也是推动全国区域协调发展的关键区域,2013年国务院批复的《黄河流域综合规划(2012—2030年)》中指出,坚持黄河流域经济协同发展、加快经济结构的优化升级、建设现代化经济体系等基本国策,为黄河流域经济发展提供了有力支撑。研究期内黄河流域各省份的地方财政支出比重不断上升。其中,宁夏回族自治区地方财政支出比重增长较快,在2008—2017年增长率高达89%,意味着地方政府拥有更高的自主调控财税能力,从而利于改善生态环境,有效减少能源消耗,提升能源综合效率。

(2)城镇化水平与各地能源综合效率呈现正相关。各地区在城镇化进程中,大量劳动力流入城市中,不仅为经济发展提供了丰富的人力资源,而且为产业集聚奠定了坚实的基础,而产业集聚往往会促进技术进步,从而有利于提升能源综合效率。随着西部大开发、中部崛起等战略的实施,中原城市群、关中平原城市群等规划的推进,黄河流域各省

表3 各影响因素因子探测及交互作用探测结果

Table 3 Factor detection and interaction detection results of various influencing factors

	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	0.202			
X_2	0.393	0.178		
X_3	0.289	0.238	0.120	
X_4	0.266	0.288	0.285	0.043

注:对角线为各因子驱动力 q 值;加粗数字表示非线性增强。

市城镇化水平不断提高。在2010年后,山东、山西、河南、内蒙古等省市自治区城镇化水平进入中后期阶段,在城镇化进程中形成的人口、产业等集聚效应提升了能源综合效率水平。

(3)人力资本水平对能源综合效率具有正向影响。环保技术、管理和技能等促进能源综合效率提高的因素都需要借助人力资本作为载体才能实现,因此,人力资本水平是能源综合效率提高的重要推动因素。黄河流域各省市以人才交流、科研合作为举措,推动了黄河流域与国内其他地区的在科教、技术、管理等方面的有效交流。例如,为深入实施人才强省战略,更好地发挥人才在引领创新驱动和产业转型中的重要作用,山东省实施了泰山学者、泰山产业领军人才工程、山东省“千人计划”专家工作站等人才政策。

(4)对外开放程度对能源综合效率的影响为正。对外开放程度的提高对各地区社会生产和资本流动起到促进作用。通过知识转移引进先进的生产经验和技能,影响各地生产要素资源的优化配置,提高了地区能源综合效率。在1997—2017年,黄河流域各省市对外开放程度不断提升,其中,陕西省东联全国五大“经济圈”,西接丝绸之路经济带,正在成为中国新一轮对外开放的新起点,对外贸易和引进外资作为实现技术进步的重要条件,对能源综合效率的提升具有重要意义。

由交互作用探测数值可知,能源综合效率水平是多种因素共同作用的结果,各驱动因子之间存在增强的协同作用,任意两因素交互之后对能源综合效率的驱动力均会明显提升,强于单个因素的驱动力,驱动作用明显共同促进能源综合效率的提升。

5 结论

本文基于超效率SBM模型测度1997—2017年黄河流域9省区的能源综合效率值,分析能源综合效率的时序变化特征和空间差异特征,借助理性探测器分析黄河流域能源综合效率的驱动因素,得到以下结论:

(1)1997—2017年,黄河流域能源综合效率呈波动上升趋势,十八大以来国家能源改革成效显著;经济落后、能源开发粗放、煤炭比重高、生态环境破坏是导致地区能源综合效率降低的主要原因,

煤企合并、煤价变动、能源税改、金融危机等因素会对能源综合效率产生一定冲击;国家政策在能源综合效率提升中作用显著,政府在推动能源生产和消费革命中贡献巨大;黄河流域地区能源综合效率仍不稳定,积极应对经济转型、产业转型、能源转型中的各类问题,在生态优先原则下保障区域经济平稳高质量发展。

(2)黄河流域能源综合效率内部差异逐渐缩小,由非均衡逐渐转向均衡。流域内部协同创新发展中,西部地区优先开发黄河上游水电基地,加大对贫困地区的开发力度;中部地区继续优化能源生产结构,发展煤炭洗选加工和超低碳排放燃煤发电;东部山东省效率优势显著,要充分利用技术资金等优势,大力推进新能源与清洁能源项目建设;各地区还要充分发挥省间电力互济和市场化机制作用,促进黄河流域能源布局与流动格局的合理调整。

(3)黄河流域能源综合效率各驱动因素对能源综合效率的影响力存在显著差异。在研究期内,按驱动因素的因子解释力强弱排序依次为财政分权、城镇化水平、人力资本水平、对外开放程度;财政分权成为能源综合效率提升的主要驱动力,黄河流域各省份地方财政支出比重不断增加极大地提高了能源综合效率;黄河上游经济区、中原城市群等国家发展规划及“一带一路”倡议下,黄河流域内的工业集聚、劳动人口与素质、对外贸易等比较优势逐渐突显,各影响因素交互作用共同提升能源综合效率。

参考文献(Reference):

- [1] 金凤君. 黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略[J]. 改革, 2019, (11): 33-39. [Jin F J. Coordinated promotion strategy of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2019, (11): 33-39.]
- [2] 张文合. 黄河流域开发条件的总体评价[J]. 干旱区资源与环境, 1991, 5(3): 1-14. [Zhang W H. Overall evaluation on the exploitation conditions of the Yellow River Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1991, 5(3): 1-14.]
- [3] 关伟, 许淑婷. 中国能源生态效率的空间格局与空间效应[J]. 地理学报, 2015, 70(6): 980-992. [Guan W, Xu S T. Study on spatial pattern and spatial effect of energy eco-efficiency in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(6): 980-992.]

2020年1月

- [4] 周敏,王腾,严良,等. 财政分权、经济竞争对中国能源生态效率影响异质性研究[J]. 资源科学, 2019, 41(3): 532-545. [Zhou M, Wang T, Yan L, et al. Heterogeneity in the influence of fiscal decentralization and economic competition on China's energy ecological efficiency[J]. Resources Science, 2019, 41(3): 532-545.]
- [5] 王晓岭,武春友. “绿色化”视角下能源生态效率的国际比较: 基于“二十国集团”面板数据的实证检验[J]. 技术经济, 2015, 34(7): 70-77. [Wang X L, Wu C Y. International comparison on energy eco-efficiency under perspective of greenization: Empirical study based on panel data of G20[J]. Technology Economics, 2015, 34(7): 70-77.]
- [6] 孟凡生,邹韵. 基于PP-SFA的能源生态效率动态评价: 以我国30个省市自治区为例[J]. 系统工程, 2018, 36(5): 47-56. [Meng F S, Zou Y. Dynamic evaluation of energy eco-efficiency based on PP-SFA: Take the 30 autonomous regions of China as an example [J]. Systems Engineering, 2018, 36(5): 47-56.]
- [7] 许淑婷. 中国能源生态效率的时空演变与影响因素研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2016. [Xu S T. Spatio-temporal Evolution and Influencing Factors of Energy Eco-efficiency in China[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2016.]
- [8] 王腾. 中国能源生态效率评价及其影响因素研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2017. [Wang T. Research on the Evaluation of China's Energy Eco-efficiency and Its Influencing Factors[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2017.]
- [9] 刘引鸽,王少雄,靳美娟,等. 基于SBM-TOBIT模型的陕西省能源生态效率测评[J]. 中国农学通报, 2018, 34(22): 82-88. [Liu Y G, Wang S X, Jin M J, et al. Energy and ecological efficiency evaluation in Shaanxi: Based on SBM-TOBIT model[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(22): 82-88.]
- [10] 赵鑫,孙欣,陶然. 去产能视角下的长江经济带能源生态效率评价及收敛性分析[J]. 太原理工大学学报(社会科学版), 2016, 34(5): 46-50. [Zhao X, Sun X, Tao R. Energy eco-efficiency evaluation and convergence analysis of the Yangtza River economic belt from the perspective of capacity reduction[J]. Journal of Taiyuan University of Technology (Social Science Edition), 2016, 34(5): 46-50.]
- [11] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [12] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993, 39(10): 1261-1264.
- [13] Tone K. A slacks: Based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 32-41.
- [14] 赵良仕,孙才志,郑德凤. 中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 121-133. [Zhao L S, Sun C Z, Zheng D F. Water resource utilization efficiency and its spatial spillover effects measure in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 121-133.]
- [15] 关伟,吴亭亭,许淑婷. 中国沿海地区能源效率时空演变研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2018, 33(2): 49-56. [Guan W, Wu T T, Xu S T. Study on the spatial and temporal evolution of energy efficiency[J]. Journal of Harbin University of Commerce (Social Science Edition), 2018, 33(2): 49-56.]
- [16] 王劲峰,徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-127. [Wang J F, Xu C D. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-127.]
- [17] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107-127.
- [18] 刘彦随,杨忍. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理[J]. 地理学报, 2012, 67(8): 1011-1020. [Liu Y S, Yang R. The spatial characteristics and formation mechanism of county urbanization in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(8): 1011-1020.]
- [19] 周亮,周成虎,杨帆,等. 2000-2011年中国PM_{2.5}时空演化特征及驱动因素解析[J]. 地理学报, 2017, 72(11): 2079-2092. [Zhou L, Zhou C H, Yang F, et al. Spatio-temporal evolution and the influencing factors of PM_{2.5} in China between 2000 and 2011[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(11): 2079-2092.]
- [20] 王利,刘万波,赵东霞,等. 东北地区县域老年人口高龄化空间分异特征及驱动因素研究[J]. 地理科学, 2019, 39(2): 267-276. [Wang L, Liu W B, Zhao D X, et al. Spatial differentiation characteristics of advanced age population in northeastern China and its driving factors[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(2): 267-276.]
- [21] 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): 35-44. [Zhang J, Wu G Y, Zhang J P. The estimation of China's provincial capital stock: 1952-2000 [J]. Economic Research Journal, 2004, (10): 35-44.]
- [22] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952-2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, (10): 7-31. [Shan H J. Reestimating the capital stock of China: 1952-2006[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2013, 23(7): 104-109.]
- [23] 中华人民共和国国家统计局. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998-2018. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Energy Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 1998-2018.]
- [24] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998-2018. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 1998-2018.]
- [25] 周亮,车磊,周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(10): 2027-2044. [Zhou L, Che L, Zhou C H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [26] 李平星. 泛长三角地区碳生态效率的空间格局及影响因素[J].

生态学报, 2018, 38(23): 8500–8511. [Li P X. Investigation of spatial pattern and influencing factors of carbon ecological efficiency in Pan–Yangtze River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(23): 8500–8511.]

[27] 王普查, 孙冰雪. 能源禀赋、贸易开放对资源绿色利用效率的影

响[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2019, 40(2): 10–16. [Wang P C, Sun B X. An empirical research about the influence of energy endowment and trade openness on green utilization efficiency of resources[J]. *Journal of Dalian University of Technology (Social Science)*, 2019, 40(2): 10–16.]

Spatiotemporal change and driving factors of comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin

GUAN Wei^{1,2}, XU Shuting¹, GUO Xiuyao¹

(1. School of Geography, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

2. Marine Economy and Sustainable Development Research Center, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: The Yellow River Basin is an important energy base in China. The comprehensive energy efficiency of the Yellow River basin directly affects the ecological protection and high-quality development of the region. Using the super efficiency slack based measure (SBM) model to measure the comprehensive energy efficiency of nine provinces (autonomous regions) in the Yellow River Basin from 1997 to 2017, the nuclear density estimation method was selected to analyze the temporal and spatial change characteristics of comprehensive energy efficiency, and the driving factors of comprehensive energy efficiency were analyzed with the help of the geographical detector. The results show that: (1) From 1997 to 2017, the comprehensive energy efficiency of the Yellow River Basin showed a U-shaped trend of high-low-high. The comprehensive energy efficiency of the Yellow River Basin decreased from 1997 to 2003, decreased in 2009 after rapid growth from 2004 to 2010, and increased in 2015 after continuous decline from 2011 to 2017. (2) Spatially, the comprehensive energy efficiency of the western provinces of the Yellow River Basin is relatively low, and the comprehensive energy efficiency of the central provinces is greatly affected by multiple factors, while the comprehensive energy efficiency of the eastern province Shandong is significantly higher. The comprehensive energy efficiencies of the eastern, central, and western provinces and the upper, middle, and lower reaches of the Yellow River Basin have all changed from spatially unbalanced to balanced. (3) With regard to the driving factors, the explanation power of factors is in the order of financial decentralization, urbanization level, human capital level, and the degree of opening to the outside world. Expansion of local financial expenditure, acceleration of urbanization, upgrading of talent structure, and improvement of opening-up in the Yellow River Basin jointly drive the improvement of comprehensive energy efficiency. Give full play to the comparative advantages of the Yellow River Basin, and strengthen collaboration within the basin under various policies for promoting the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin.

Key words: comprehensive energy efficiency; environmental element; social element; Super-SBM model; geographical detector; Yellow River Basin