

# 能源生态效率评价及其与经济增长脱钩分析

## ——以黄河流域 9 省区为例

关伟<sup>a,b</sup> 王超男<sup>a</sup> 许淑婷<sup>b1</sup>

(辽宁师范大学 a. 海洋可持续发展研究院;

b. 地理科学学院, 辽宁 大连 116029)

**【摘要】:** 采用 Super—SBM 模型、GML 模型测度 1997—2019 年黄河流域 9 省区的能源生态效率, 通过构建脱钩模型, 探讨经济增长与能源消耗及能源生态效率的脱钩关系。结果发现: (1) 黄河流域 9 省区能源生态效率呈增长—下降—增长的趋势, 累积增长了 15.3%, 其中, 追赶效率贡献率为 41.5%, 而技术进步不足。(2) 黄河流域 9 省区在经济增长与能源消耗呈强脱钩—弱脱钩—强脱钩发展态势, 而经济增长与能源生态效率呈强脱钩—弱脱钩—强脱钩—弱脱钩发展态势。

**【关键词】:** 黄河流域 能源生态效率 追赶效率 技术进步 脱钩分析

**【中图分类号】:** F206;F224 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1005-8141(2022)01-0023-08

能源作为工业的血液, 是经济发展的重要支撑。黄河流域作为我国重要的能源储备和生产基地, 其能源的建设与发展是我国经济发展的重要动力。在资源禀赋方面, 黄河流域煤炭储量丰富, 占全国煤炭总量的 50% 以上; 在能源生产力方面, 黄河流域及附近地区亿吨级大型煤炭基地数量占全国总数量的 50%, 千万千瓦级大型煤电基地数量占全国总数量的 66.7%。综合来看, 黄河流域能源具有显著优势, 但与此同时, 能源生产具有资源消耗过重、工业污染大、能源效率低、供需不平衡的问题。因此, 解决黄河流域现实问题, 提高能源效率, 对促进黄河流域经济增长和高质量发展具有重要意义。

能源效率的研究主要包括效率测度、研究尺度、影响因素及与经济发展进行的评价。在效率测度上, 以能源效率指标体系的构建为基础。传统能源效率的指标体系构建中多为期望产出 GDP, 如师博、魏楚、屈小娥等<sup>[1,2,3]</sup>的研究, 但仅用期望产出而忽略非期望产出的能源效率指标体系具有一定的局限性。非期望产出是衡量能源生态发展的关键因素。当前的全要素能源效率测度符合经济社会发展要求, 更加注重能源生产带来的生态环境效益。如, 钱争鸣与刘晓晨<sup>[4]</sup>将工业废水、工业废气、工业固体废弃物总量作为非期望产出纳入指标体系; 许士春与龙如银<sup>[5]</sup>将碳排放总量作为非期望产出纳入指标体系, 对于非期望产出的融入更加符合生态理念与能源生产的客观现实。在研究尺度上, 宏观区域层面具体表现为“一带一路”沿线国家<sup>[6]</sup>、金砖国家<sup>[7]</sup>、亚太地区<sup>[8]</sup>、20 国集团<sup>[9]</sup>、中国省际<sup>[10,11]</sup>等宏观区域; 具体行业层面, 如工业行业<sup>[12]</sup>、电力行业<sup>[13]</sup>、制造业<sup>[14]</sup>等研究; 能源特性层面, 曹虹剑、王必哲、李科<sup>[15]</sup>从要素市场与产品市场的双重视角研究了能源行业资源扭曲的情况, 对经济学和能源资源的配置特性进行研究; 在影响因素上, 研究多集中于经济领域, 如产业结构<sup>[16]</sup>、要素市场<sup>[17]</sup>、能源价格<sup>[18,19]</sup>、技术进步<sup>[20,21]</sup>、对外直接投资<sup>[22]</sup>

**作者简介:** 关伟 (1959—), 男, 辽宁省岫岩人, 教授, 博士生导师, 主要从事区域经济与产业规划研究工作。王超男 (1994—), 女, 河南省驻马店人, 硕士研究生, 主要研究方向为区域经济与产业规划。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (编号: 41771132)

等。此外，部分学者还将研究视角聚焦于社会因素、环境心理因素等，如国家能源补贴政策<sup>[8]</sup>、环境与人的行为等，但这些方面的研究较为薄弱。在能源与经济之间关系的研究方面，多是以能源效率测度为切入点，通过优化指标体系与改进计量模型探索“能源—经济”双线并行发展模式，表现有能源效率与经济增长之间互为促进和相互抑制的不同作用。叶祥松、刘敬、王江波<sup>[24]</sup>研究表明，经济增长质量受能源效率影响颇大，经济增长率的提高抑制了能源效率提升；杨彦红<sup>[25]</sup>认为三次产业结构分别对能源效率产生不同影响；陈夕红、李长青、张国荣等<sup>[26]</sup>对经济增长与能源效率关系机理进行了研究，表明技术进步与产业结构升级促进了能源效率的提高；吴丹与曹思奇<sup>[27]</sup>运用脱钩评价方法发现经济发展与能源消耗呈弱脱钩状态，预测了经济发展与能源消耗保持绝对脱钩态势的可能性。

鉴于此，本文从能源效率影响因素的综合性、能源与经济发展要求的可持续性、能源研究对象的代表性、能源本质的独特性出发，着重考虑其现实价值和理论意义。在对黄河流域的研究文献中，具体有对黄河流域个别省区的人口、经济、资源、环境之间的时空耦合<sup>[28]</sup>，或能源强度下降的驱动因素<sup>[29]</sup>的研究，能源综合效率<sup>[30]</sup>或西部六省的能源消费与经济<sup>[31]</sup>的研究。本文从多种环境污染、工业排放的角度对黄河流域的能源生态效率进行了全面系统的评价，以期为我国及黄河流域的能源利用与经济可持续发展提供借鉴。

## 1 黄河流域经济增长与能源强度

### 1.1 经济增长情况

我国各省区经济发展水平以人均 GDP 进行初步衡量，本文以此为基础绘制了 1997—2019 年黄河流域 9 省区经济增长趋势图（图 1）。在我国深化改革、技术进步、产业结构调整等背景之下，黄河流域各省区经济在过去的 23 年取得了不同程度的增长，总体呈稳步上升的趋势。其中，内蒙古自治区的增幅最大，甘肃省的增幅最小。2008 年内蒙古自治区的人均 GDP 超过山东省并稳居黄河流域 9 省区的第一位，但在 2016 年出现下降趋势，并逐渐被山东省超过，退居二位；山西省在 2013—2015 年出现缓慢下滑，之后快速回弹。2017—2019 年，除内蒙古出现经济波动趋势外，其他省区经济呈快速增长趋势。总体上来看，黄河流域各省区经济水平不断增长，且增长速度不断加快。

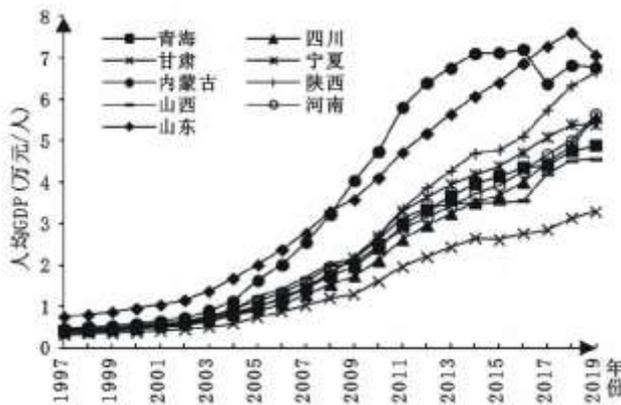


图 1 1997—2019 年黄河流域各省区经济增长趋势

### 1.2 能源强度情况

以能源强度作为对经济单元能源效率的初步评价，本文用能源消费量与 GDP 比值代替能源强度，并以此刻画各省区能源强度的时间变化趋势（图 2）。

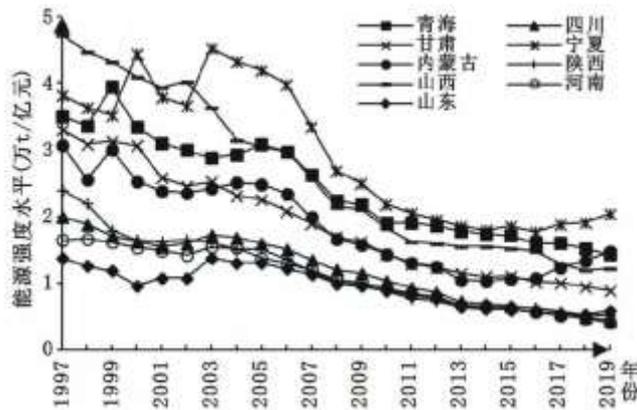


图2 1997—2019年黄河流域各省区能源强度趋势

黄河流域9省区能源强度总体呈下降趋势，单位GDP能耗逐渐减少，能源效率逐步提升。其中，山西、宁夏、青海、甘肃、内蒙古的能源强度水平起点较高，下降幅度较为剧烈。究其原因，5个省区为煤炭大省，煤炭资源丰富，投入多、污染重，但通过后期技术升级、产业结构优化，能源强度呈下降趋势；陕西、四川、河南、山东位于中东部地区，技术水平高、经济基础较好，能源强度起点较低，通过后期技术进步、注重生态保护，能源强度不断下降。综合来看，2008年之前9省区之间能源强度差距较大，2008年之后差异逐渐缩小且能源强度逐渐降低。

### 1.3 经济增长与能源强度趋势

将图1与图2进行对比分析后可知，黄河流域9省区的经济增长与能源强度时间序列变化呈相反的趋势，黄河流域各省区在经济发展水平不断增长的同时，其能源强度水平却在不断降低。能源强度水平虽然能够初步反映能源利用水平，但是仅从单位GDP能耗的角度对能源效率进行初步评价，未考虑生态环境等因素，且存在高能耗投入促进经济增长的可能性，具有一定的局限性。而纳入生态要素非期望产出的能源生态效率，更符合可持续发展和经济高质量发展的要求。本文在以往研究的基础上，统筹考虑经济效益与环境效益，探究黄河流域9省区能源效率的时空演变规律。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究方法

本文采用Super-SBM模型对能源生态效率进行测度<sup>[32]</sup>，弥补了传统SBM模型的不足，且对有效DMU进行了排序和区分，能够有效解决松弛变量的问题<sup>[33]</sup>。计算公式为：

$$\rho^* = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{rk}}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- = x_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rk} \lambda_j + s_i^+ - y_{rk} \quad (r=1, 2, \dots, s)$$

$$\lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n (j \neq k), s_i^- \geq 0, s_i^+ \geq 0$$

..... (1)

式中， $\rho^*$ 为能源生态效率值； $m$ 、 $s$ 分别为投入、产出指标个数； $x$ 、 $y$ 分别为各投入、产出要素； $i$ 、 $r$ 分别为投入、产出的决策单元； $s_i^-$ 、 $s_i^+$ 分别为投入、产出的松弛量； $x_{ik}$ 表示第 $k$ 个决策单元的第 $i$ 个投入要素； $y_{rk}$ 表示第 $k$ 个决策单元的第 $r$ 个产出要素； $\lambda_j$ 为权重向量； $n$ 为生产决策单元个数。当 $\rho^* \geq 1$ 时，生产决策单元相对有效；当 $0 < \rho^* < 1$ 时，生产决策单元相对无效，存在效率缺失。

为进一步分析能源生态效率，本文采用 GML 模型分析决策单元一定时期的效率动态变化趋势。利用 Fare<sup>[34]</sup>分解方法，可分解为追赶效率（EC）与技术进步（TC）对能源生态效率变化的贡献<sup>[35]</sup>。GML、EC 和 TC 分别为生产决策单元在时间样本期内的投入产出效率、追赶效率和技术进步的变化趋势，若它们的值大于 1，表示投入产出效率提高、追赶效率提升、技术进步，反之亦然。

在脱钩研究方面，实现资源环境压力与经济增长的有效脱钩是经济、资源、人口构建良好关系，实现可持续发展的重要途径。本文采用的脱钩评价指标为 Tapio 模式，能有效规避依赖基期选择的局限性，从而提高脱钩分析的准确性与客观性<sup>[36]</sup>。Tapio 模式将脱钩分为相对脱钩与绝对脱钩，又称为弱脱钩与强脱钩。其中，弱脱钩是指经济和环境变量均为正向变化，且经济增长速度大于环境变量的正向变化速度；强脱钩是指经济增长的同时环境变量保持不变或者质量下降的现象。考虑现实经济发展中出现个别经济体经济衰退的现象，借鉴车亮亮、韩雪、赵良仕等<sup>[37]</sup>煤炭资源效率评价体系与彭佳雯、黄贤金、钟太洋等<sup>[38]</sup>的脱钩类别划分标准，构建经济增长与能源消耗、能源生态效率的脱钩分析模型（图 3），探讨黄河流域省区经济增长与能源利用水平之间的时空序列演变关系。

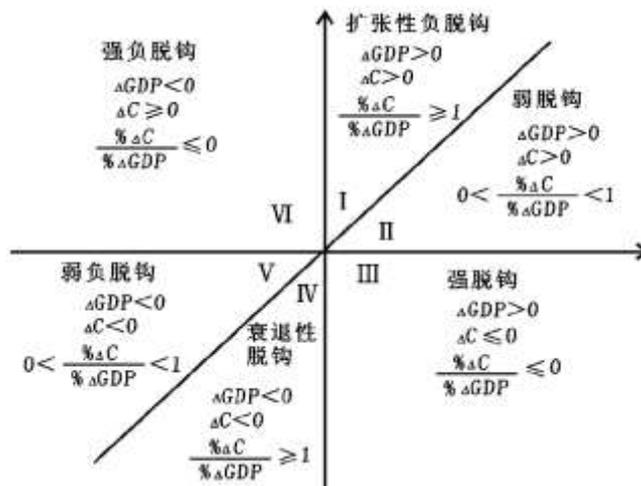


图 3 经济高质量增长与能源消耗、能源生态效率的脱钩分析模型

根据上述脱钩模型，需以能源消耗量、能源生态效率的年变化率计算能源消耗量、能源生态效率的 GDP 弹性，通过能源消耗量变化率、GDP 增长率、能源消耗的 GDP 弹性三者的变化状态得出能源消耗与经济增长的脱钩关系。同理，通过能源生态效率变化率、GDP 增长率、能源生态效率的 GDP 弹性三者的变化状态得出能源生态效率与经济增长的脱钩关系。具体计算公式为：

$$\text{能源消耗的 GDP 弹性 (E}_{\text{EC}}) = \frac{\text{能源消耗量变化的百分比(EC)}}{\text{GDP 变化的百分比(GDP)}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{能源生态效率的 GDP 弹性 (E}_{\text{TE}}) = \frac{\text{能源生态效率变化的百分比(EE)}}{\text{GDP 变化的百分比}} \dots\dots\dots (3)$$

## 2.2 数据来源

本文使用的数据来源于《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。其中，资本投入采用张军、吴桂英、张吉鹏<sup>[39]</sup>算法下的资本存量，技术投入采用 3 种专利授权数。3 种专利授权数涉及方面广泛，是衡量经济高质量发展水平高低的重要指标之一，因此 3 种专利授权数作为一个地区技术投入的衡量具有代表性。此外，能源工业生产过程中，产生的二氧化碳、“三废”、二氧化硫等给环境带来了重大负面影响，因此将环境污染和环境影响的指标作为非期望产出并进行熵权。

## 3 结果及分析

### 3.1 能源生态效率分析

本文通过 MaxDEA 软件测算出 1997—2019 年黄河流域 9 省区的能源生态效率年均变化趋势（图 4）。从图 4 可见，1997—2019 年黄河流域各省区能源生态效率呈波动上升趋势，即增长—下降—增长的演变趋势，各省区之间效率值差异较小。简言之，能源与经济发展处于不断向上的良好态势，且各省区发展具有一定的同步性和协调性，资源和经济流通的通达度较高。1997—2008 年，黄河流域 9 省区能源生态效率呈上升趋势并伴有小幅度的波动。具体来看，1997—1999 年出现部分省区能源生态效率值下降的现象，如山东、河南、青海、山西，4 省早期因经济发展起步加快出现能源消耗过重、能源结构不合理、能源利用的生态问题重视不足的问题，导致能源生态效率降低。1999—2008 年能源生态效率总体呈缓慢上升趋势，但青海通过技术进步、产业结构调整，2007 年后能源生态效率由减转增。综上所述，该阶段黄河流域 9 省区经济基础参差不齐，技术效率、能源利用、产业结构、具体影响要素等有所不同，引起各省区能源生态效率时间趋势变化不同和小幅度的波动。2008—2011 年，黄河流域 9 省区能源生态效率呈先下降后上升的趋势。2008 年受金融危机影响，黄河流域的经济发展受到制约，能源生态效率下降。2009—2011 年，国家实行产业振兴计划，经济逐渐复苏，能源生态效率迅速提高。2011—2019 年，黄河流域各省区能源生态效率值呈先平稳下降后较大幅度上升的趋势。2012 年，金融危机再次爆发，我国经济增长速度暂缓，导致能源生态效率降低。2015—2019 年，国家出台《能源发展“十三”五规划》《可再生能源发展“十三五”规划》《关于加快推进生态文明建设的意见》等，促进能源利用水平提升，加强可再生能源的建设发展和生态保护，黄河流域能源生态效率得到提升。

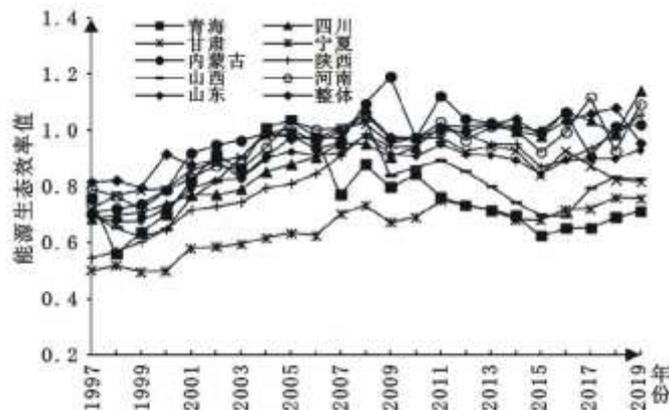


图 4 1997—2019 年黄河流域各省区及整体的能源生态效率年均值趋势

### 3. 2GML 测度结果分析

为了探究黄河流域各省区能源生态效率提高的内在因素,本文依托 GML 模型测度了 1997—2019 年黄河流域 9 省区的能源生态效率及其分解项的演变趋势,并分别以 GML 指数的累积变化值与几何平均值反映能源效率的累积变化和年均变化情况。(1)从 GML 指数测度结果来看,整体上黄河流域能源生态效率在 1997—2019 年累积增长了 15.3%,年均增长 0.5%,能源与经济发展处于良好的发展关系,同图 4 呈现的整体能源生态效率上升趋势大致趋同。具体来看,在累积变化和几何平均变化上,陕西能源生态效率增幅最多,其次是四川,青海、甘肃、宁夏存在累积增长不足。各省区能源生态效率累积变化的差异受经济基础、产业结构、技术水平和生态保护等多种因素的制约,如经济基础雄厚、能耗过少、生态较优越等条件会促进能源生态效率的提升。因此,在不同发展基础之下,各省区能源生态效率增幅不同。(2)从追赶效率(EC)看,黄河流域各省区的追赶效率整体上呈现较强增长,说明黄河流域的能源经济发展对能源的过度投入和规模效应仍有较大依赖性,存在资源浪费和虚耗问题,技术创新性不足,在改善管理水平、灵活配置资源、转变产业结构等方面做出相应努力之外,应注重技术水平的提高。但对于追赶效率不足的省区,适当发挥追赶效率即资源的投入和规模效应对经济增长的积极作用不可或缺。具体来看,在累积变化和几何平均变化上,追赶效率增长的地区为青海、宁夏、内蒙古、陕西、山西,说明这 5 个省区通过投入能耗、扩大占有规模、配置资源、改善管理水平等对能源生态效率的提升具有重要贡献。根据“资源诅咒”理论,该 5 省区能源资源相对丰富、煤炭资源开采历史悠久且规模庞大,依靠扩大资源投入获得经济提升,形成路径依赖,造成资源过剩和浪费较重、技术进步缓慢。追赶效率不足的为四川、甘肃、河南,这 3 个省份应注重资源的流动性和空间溢出效应,加强分工与协作,提高追赶效率,促进能源效率的提高。(3)从技术进步(TC)看,黄河流域各省区的能源生态效率整体上技术进步不足,说明黄河流域的能源经济发展较为不协调,技术进步仍有较大上升空间。清洁能源、节能技术等技术进步虽然促进了能源生态效率的提高,但是仍处于较不成熟阶段且份额较小,需进行长期建设发展。具体来看,在累积变化和几何平均变化上,部分省区实现整体的技术进步,如四川、陕西、河南、山东技术进步都取得了不同程度的提高,4 省地理位置较优越、人才引进和技术水平较高。其中,技术进步最大的为河南。河南通过大力建设风电、光伏发电,关停落后煤电机组,热电联产,能源大数据运用等,技术进步得到大幅度提升,对能源生态效率提升的作用显著。山东位于东部地区,石油储量丰富、技术先进,技术进步显著,而部分省区技术进步不足。由此可见,黄河流域能源经济发展技术支撑力较弱,需加大能源技术科研投入,多方位引进相关人才,提高技术自主创新能力,充分发挥技术进步对能源生态效率提高的潜力,进而提高能源利用水平。

综合来看,黄河流域 9 省区在 1997—2019 年能源生态效率呈增长趋势,促进各省区能源生态效率提升的内在主要因素有所差异且增长幅度差别较大。其中,仅陕西能源生态效率的提高为追赶效率和技术进步共同促进的结果,其他省区能源生态效率的提升仅依靠追赶效率或仅依靠技术进步推动。由此可见,追赶效率和技术进步对黄河流域各省区能源生态效率的提高发挥了不同的作用,因此需协调资源规模和技术进步的关系,促进资源的灵活配置和政策体制的完善,大力提高技术创新水平,促使追赶效率和技术进步科学合理地共同促进黄河流域能源生态效率的提高。

### 3.3 脱钩分析

为了更好地研究黄河流域各省区能源消耗、能源生态效率与经济增长的关系,本文根据图 4 中的能源生态效率值,将 1997—2019 年以 3 年作为一个单位样本均值,依据 Tapio 脱钩弹性模型,通过对能源消耗的 GDP 弹性、能源生态效率的 GDP 弹性的计算,并根据图 3 脱钩分析模型判定标准,获得黄河流域省区经济增长与能源消耗、能源生态效率的脱钩状态。

从脱钩结果看,1997—2019 年黄河流域各省区经济增长与能源消耗处于弱脱钩状态,占比 50/72,说明 1997—2019 年黄河流域整体发展的耗能较大,经济增长以能耗投入为代价,偏向于粗放型的发展方式,但能耗增加的速度低于经济增长的速度;部分省区经济增长与能耗处于扩张性负脱钩状态,即能耗投入的增长速度大于经济增长的速度,说明 1997—2019 年黄河流域部分省区的发展情况不容乐观,面临效率低下、资源浪费、能源虚耗、经济增长疲软等问题。除上述经济增长与能源消耗的不

理想关系占据多数之外，存在少量经济增长与能源消耗处于理想的脱钩关系即经济增长，能耗降低的强脱钩状态，占比 9/72，说明黄河流域在降低能耗、节约资源、提高能源利用方便仍需做出巨大的努力。综上，1997—2019 年间黄河流域能源消耗与经济发展的关系大多处于能源消耗过重与经济发展不协调的状态，且此不良关系具有一定时间持续性和稳固性，需力求突破，向强脱钩的理想关系转变。

从脱钩状态时序看，1997—1999 年黄河流域各省区经济增长与能源消耗主要处于强脱钩状态，即能耗降低、经济增长。原因是：经济发展初期，经济基础较弱，能源需求少、污染低，经济增长未进入高耗能投入模式。2000—2011 年，经济增长与能源消耗主要处于弱脱钩状态，即能耗增加而经济增长。原因是：进入 21 世纪，受经济发展需求的影响，能源消费速度加快、能耗不断增加，但能耗增加的速度低于经济增长的速度。2012—2019 年，经济增长与能源消耗虽然弱脱钩仍占据主要地位，但是出现部分强脱钩态势，即能耗降低而经济增长。强脱钩状态开始复苏的原因在于：随着经济发展进入新常态，全国生态保护力度加强，尤其加大了对黄河流域的生态保护治理，加之技术水平上升、清洁能源发展，能耗逐步降低，从而促进了经济高质量增长。综合来看，1997—2019 年黄河流域各省区经济增长与能源消耗主要呈现强脱钩—弱脱钩—强脱钩的发展态势，强脱钩的良好发展态势仍处于较薄弱地位。

从脱钩结果来看，1997—2019 年黄河流域各省区经济增长与能源生态效率主要处于弱脱钩的良好状态，占比 45/72，能源生态效率随着经济增长而增长，且经济增长的速度大于能源生态效率增长的速度。经济增长与能源生态效率部分处于强脱钩状态，占比为 23/72，呈经济增长但能源生态效率下降趋势，侧面反映经济发展依靠资源的加大投入，存在资源虚耗、环境污染等问题，致使能源生态效率不断降低。经济增长与能源生态效率出现个别扩张性负脱钩的良好状态，占比 3/72，经济和能源生态效率增长且能源生态效率增长的速度大于经济增长的速度。综合来看，黄河流域省区经济增长与能源生态效率主要处于良好发展关系，但能源生态效率下降的省区数量较多仍不容忽视，需注意“木桶效应”危害，促进黄河流域的区域整体协调发展和互相帮扶，调整产业结构、提高技术水平，致力转变部分省区的经济增长与能源生态效率的强脱钩不利状态，充分发挥各省区发展的协调性和带动性。

从脱钩状态时序看，1997—1999 年经济增长与能源生态效率的关系处于强脱钩状态的数量占据 1/2，是不理想的发展关系，即经济增长而能源生态效率下降。说明此阶段的经济增长是以不断增加能源投入为动力的粗放型经济增长方式。之后，不理想的发展关系有所改善，2000—2008 年经济增长与能源生态效率处于弱脱钩阶段，即能源生态效率提高且经济增长，能源生态效率对经济发展起重要推动作用。此良好转变归功于一系列政府和产业措施，限制煤炭消费、发展水电、调整产业结构、改革能源企业等措施使能源生态效率提高，促进了经济增长。但能源改革和生态保护的深化推进一定程度上约束了能源建设的发展，进而造成暂时性的能源生态效率降低现象，因此 2009—2014 年经济增长与能源生态效率处于强脱钩，经济增长而能源生态效率降低，能源生态效率制约了经济发展。随着时间的推移，生态保护和能源的可持续性发展等一系列举措的实施使能源与经济的良好发展关系开始显著体现。2015—2019 年经济增长与能源生态效率处于弱脱钩的良好关系，该阶段能源生态效率随着经济增长而增长，但经济增长速度大于能源生态效率增长速度，包括能源价格改革、燃煤发电企业整改，大气污染防治法实施等一系列措施促进能源生态效率提高并与经济增长形成良性互动。综合来看，1997—2019 年黄河流域各省区经济增长与能源生态效率呈强脱钩—弱脱钩—强脱钩—弱脱钩的发展态势，其中弱脱钩的良好发展态势占据主导地位。

将经济增长与能源消耗、能源生态效率的脱钩结果综合来看，1997—1999 年黄河流域省区经济增长与能源消耗、能源生态效率处于强脱钩状态，经济增长而能耗降低，但能源生态效率有所降低，说明此阶段能源消耗量有所减少，能耗规模有所规制，但仍以能耗作为经济增长的主要动力，环境保护意识薄弱、生态破坏、资源浪费、技术水平有限，能源生态效率不断下滑。2000—2008 年经济增长与能源消耗、能源生态效率处于弱脱钩状态，即经济增长而能耗不断增加，但能源生态效率有所提高。一方面，经济发展迅速、市场需求旺盛、产能增长，能耗多；另一方面，随着产业结构调整和技术水平提升，风能、太阳能等清洁能源的建设与发展，能源生态效率不断提高。2009—2014 年经济增长与能源消耗处于弱脱钩状态，与能源生态效率处于强脱钩状态，能耗增加且能源生态效率下降。2015—2019 年经济增长与能源消耗、能源生态效率处于弱脱钩状态，经济增长而能耗投入增加，能源生态效率有所提升，追赶效率和技术效率共同促进经济发展。

综上，黄河流域仅部分省区实现了经济增长与能源消耗强脱钩的良好状态，多数省区经济发展以较高强度的能源消耗为代价。经济增长与能源生态效率之间脱钩关系良莠不齐，弱脱钩的良好状态和强脱钩的不良状态占据重要地位。黄河流域各省区在降低能耗、促进经济发展方面仍有较大提升空间，具体策略可从黄河流域能源与经济发展和数量与空间变化时序上探索规律，积极发挥政策导向、法规约束、技术支撑、人才带领等的作用，促进黄河流域能源与经济发展关系向更理想化转变。

## 4 结论与建议

结论如下：(1)黄河流域各省区在 1997—2019 年期间能源生态效率整体呈上升趋势，能源与经济是不断向上的良好关系。具体来看，各省区之间能源生态效率值差异较小且水平波动趋势大体一致，反映出各省区之间溢出效应、规模效应显著。能源生态效率波动趋势受世界经济体系、国家政策、环境约束、产业结构、技术水平等因素影响。(2)黄河流域能源生态效率累计增长了 15.3%，年均增长了 0.5%，表现出能源与经济良好的发展态势。具体来看，大多数省区增长幅度有所差异，但部分省区增幅水平较为一致。影响各省区增幅水平的内在因素有所不同，部分省区追赶效率和技术进步共同促进能源生态效率提升，部分省区呈现出追赶效率或技术进步单项推动模式。追赶效率和技术进步对黄河流域能源生态效率提升具有重要促进作用。(3)黄河流域各省区的经济增长与能源消耗脱钩状态处于弱脱钩，即经济增长以高耗能为代价，存在资源浪费、能源虚耗的问题，仍处于粗放的经济增长方式。经济增长与能源生态效率处于弱脱钩状态，即能源生态效率促进经济增长，但不理想的强脱钩状态的省区数量仍占较大比例，能源生态效率下降的问题依然存在。通过时间序列分析，黄河流域 9 省区经济增长与能耗由呈现强脱钩—弱脱钩—强脱钩—弱脱钩的发展趋势，经济增长与能源生态效率呈现强脱钩—弱脱钩—强脱钩—弱脱钩的发展态势，具有不稳定性。

建议：(1)在区域层面，黄河流域各省区之间应加强要素流动和区域合作，充分发挥集聚效应、规模效应，提高能源利用率，促进各省区的技术交流与信息互通，以此发挥优势省区的带动作用，减少各省区能源生态效率水平差异，落后省区的能源生态效率下降幅度和波动频次，促使能源生态效率不断稳步提升。宏观层面，应发挥国家的政策导向作用，健全生态保护的法律法规，对高污染工业企业进行严格规范，调整产业结构，发展清洁能源，促使能源生态效率向更高水平迈进。(2)对黄河流域能源生态效率的提升，可从技术进步和追赶效率两方面做出调整。青海、宁夏、内蒙古、山西依赖追赶效率提升能源生态效率，而技术进步带来的效率提高不足问题，需要加强科研投入，推动技术提升，促进经济增长；四川、河南、山东在提升追赶效率方面，应优化资源配置、减少能耗投入、提升利用效率、调整企业规模、加强经济基础设施建设与专业人员培训、提升管理水平，发挥追赶效率在能源效率提升中的重要作用；甘肃追赶效率与技术进步存在增长不足，需在能源投入、资源配置、管理水平、科研技术投入上双管齐下，推动能源生态效率的提升；陕西是追赶效率与技术进步共同促进能源生态效率的提升，应注重发挥追赶效率与技术进步之间的平衡性、协调性和潜力，通过最优组合促进能源生态效率最大化的提升。(3)从黄河流域经济增长与能耗主要处于弱脱钩即能耗不断增长促进经济发展的关系角度出发，积极转变当前的粗放型经济增长方式，加大能源相关科研经费投入，提升技术水平，发展水电、风电、光伏发电等清洁能源，热电联产，关闭小型发电厂等，以此减少对煤炭能耗的过度消耗和依赖，实现经济增长与能源消耗的强脱钩良好关系。从黄河流域能源生态效率仍有较大部分处于强脱钩，即能源生态效率出现下降的角度分析，各省区应着重技术创新、建设智能化能源体系，促进风电、水电、光伏发电等清洁能源发展，加大技术创新投入力度，实现经济增长与能源生态效率的弱脱钩或扩张性负脱钩，充分发挥能源生态效率对经济增长的促进作用。从经济增长与能源消耗、能源生态效率的脱钩状态变化时序不稳定的性质出发，应积极把控每个阶段能源与经济增长发展变化的规律性，掌握政策导向、经济发展规律、市场需求等对能源与经济发展状态变化的影响，促进各省区减少能耗投入，坚持生态制约与可持续发展理念，提高技术水平，以促进能源生态效率提升，使黄河流域在时空发展上向更积极的状态转变。

### 参考文献：

- [1] 师博, 沈坤荣. 市场分割下的中国全要素能源效率：基于超效率 DEA 方法的经验分析[J]. 世界经济, 2008, (9) : 49-59.
- [2] 魏楚, 沈满洪. 能源效率及其影响因素：基于 DEA 的实证分析[J]. 管理世界, 2007, (8) : 66-76.

- 
- [3] 屈小娥. 中国省际全要素能源效率变动分解——基于 Malmquist 指数的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2009, 26(8) : 29-43.
- [4] 钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7) : 104-109.
- [5] 许士春, 龙如银. 中国能源和碳排放的效率测度与影响因素研究[J]. 软科学, 2015, 29(3) : 74-78.
- [6] 岳立, 宋雅琼, 江铃峰. “一带一路”国家能源利用效率评价及其与经济增长脱钩分析[J]. 资源科学, 2019, 41(5) : 834-846.
- [7] 胡根华, 秦嗣毅. “金砖国家”全要素能源效率的比较研究——基于 DEA-Tobit 模型[J]. 资源科学, 2012, 34(3) : 533-540.
- [8] 郑宇婷, 赵碧玲. 亚太地区航空公司能源效率与环境效率研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2020, 42(5) : 446-452.
- [9] 王晓岭, 何枫, 武春友. 环境约束下的能源效率国际比较——基于 20 国集团的实证检验[J]. 科技管理研究, 2016, 36(19) : 248-255.
- [10] 刘立涛, 沈镭. 中国区域能源效率时空演进格局及其影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(12) : 2142-2153.
- [11] 李金铠, 沈波, 韩亚峰, 等. 中国区域能源效率比较——基于 DEA-Malmquist 和聚类分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2012, 14(6) : 1-6.
- [12] 戚红艳, 刘黎. 区域工业行业能源效率的比较研究——以广东、广西为例[J]. 中国集体经济, 2014, (13) : 28-31.
- [13] 孙勇刚, 刘兴伟. 中国电力能源效率影响因素研究[J]. 黑龙江科技信息, 2017, (7) : 23.
- [14] 李平, 丁世豪. 进口技术溢出提升了制造业能源效率吗? [J]. 中国软科学, 2019, (12) : 137-149.
- [15] 曹虹剑, 王必哲, 李科. 能源行业资源配置扭曲测算: 要素市场与产品市场的双重视角[J]. 财经理论与实践, 2019, 40(4) : 116-122.
- [16] 吕明元, 陈维宣. 中国产业结构升级对能源效率的影响研究——基于 1978-2013 年数据[J]. 资源科学, 2016, 38(7) : 1350-1362.
- [17] 林伯强, 杜克锐. 要素市场扭曲对能源效率的影响[J]. 经济研究, 2013, 48(9) : 125-136.
- [18] 王俊杰, 史丹, 张成. 能源价格对能源效率的影响——基于全球数据的实证分析[J]. 经济管理, 2014, 36(12) : 13-23.
- [19] 何凌云, 程怡, 金里程, 等. 国内外能源价格对我国能源消耗的综合调节作用比较研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(1) : 1-16.

- 
- [20]刘自敏, 张娅. 价格机制与技术进步如何影响能源转型? [J]. 能源, 2021, (1) : 60-63.
- [21]蔡海亚, 赵永亮, 徐盈之. 中国能源贫困的时空演变格局及其影响因素分析[J]. 软科学, 2021, 35(4) : 1-11.
- [22]翟石艳, 宋根鑫. 对外贸易、能源结构和碳排放关联关系——以广东省为例[J]. 生态经济(学术版), 2014, 30(1) : 33-39.
- [23]Zhenjie L, Saeed S. Effectiveness of Energy Efficiency Improvements in the Context of Energy Subsidy Policies[J/OL]. Clean Technologies and Environmental Policy, 2021 : 1-27.
- [24]叶祥松, 刘敬, 王江波. 经济增长质量与能源效率研究——以珠三角地区为例[J]. 江西财经大学学报, 2017, (5) : 3-13.
- [25]杨彦红. 资源型经济产业结构变动对能源效率的影响研究——以山西省为例[D]. 太原: 山西财经大学硕士学位论文, 2018.
- [26]陈夕红, 李长青, 张国荣, 等. 经济增长质量与能源效率是一致的吗? [J]. 自然资源学报, 2013, 28(11) : 1858-1868.
- [27]吴丹, 曹思奇. 京津冀地区经济发展与能源消耗脱钩评价与展望[J]. 北方工业大学学报, 2020, 32(2) : 1-6.
- [28]赵永峰, 郑慧. 内蒙古人口-经济-资源-环境时空交互耦合关系[J]. 资源开发与市场, 2021, 37(6) : 705-715.
- [29]高彩玲, 麻冰涓, 田采霞. 河南省能源强度下降的驱动因素分析——基于 LMDI 方法[J]. 资源开发与市场, 2014, 30(12) : 1458-1462.
- [30]关伟, 许淑婷, 郭岫. 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.
- [31]宋宇辰, 陈田澍, 李昊东. 西部六省能源消费与经济发展协调度分析[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(7) : 848-852.
- [32]黄天航, 胡满月, 陈劲锋, 等. “一带一路”沿线国家可持续发展水平评价及其影响因素——基于 Super-SBM 模型和 Tobit 模型的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(12) : 27-37.
- [33]王泽宇, 张梦雅, 王焱熙, 等. 中国海洋三次产业经济效率时空演变及影响因素分析[J]. 经济地理, 2020, 40(11) : 121-130.
- [34]Fare R, S G, B L. Productivity Changes in Swedish Pharmacies 1980-1989: A Nonparametric Malmquist Approach[J]. Journal of Productivity Analysis, 1992, 3(1) : 85-101.
- [35]吕晓剑, 邓秋玮. 山东省大气环境效率时空分异与影响因素分析——基于超效率 SBM 模型和 GML 指数[J]. 生态经济, 2020, 36(12) : 193-199.
- [36]王泽宇, 卢雪凤, 韩增林, 等. 中国海洋经济增长与资源消耗的脱钩分析及回弹效应研究[J]. 资源科学, 2017, 39(9) : 1658-1669.

---

[37]车亮亮, 韩雪, 赵良仕, 等. 中国煤炭利用效率评价及与经济增长脱钩分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(3) : 104-110.

[38]彭佳雯, 黄贤金, 钟太洋, 等. 中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究[J]. 资源科学, 2011, 33(4) : 626-633.

[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) : 35-44.