

# 黄河流域能源安全水平的动态演进、区域差异及空间关联性分析

王姝蕊

(聊城大学商学院, 山东 聊城 252059)

**摘要:** 黄河流域是我国重要的能源供应基地,系统刻画黄河流域能源安全水平对于保障能源供应、提升能源效率、促进绿色能源消费、增强经济韧性具有重要意义。从供给安全、消费安全、绿色安全、经济安全构建能源安全指标体系,并采用熵值法对黄河流域2010—2021年8个省份的能源安全水平进行测度,在此基础上,采用核密度估计、Dagum基尼系数、空间莫兰指数等方法测度黄河流域能源安全水平的动态演进、区域差异和空间相关性。结果发现:研究期间黄河流域能源安全水平整体呈现上升趋势,山西省以及其所处的中游地区能源安全整体水平最高;黄河流域上游地区分异程度较大,区域间中下游地区差异较大,但能源安全不均衡现象逐渐减弱;黄河流域能源安全呈现空间正相关,各省份呈现不均衡现象,中游地区主要呈现“高高”聚集状态,其余省份主要呈现“低高”“低低”聚集状态。最后,从发挥地区优势、开发清洁能源、分散能源进口通道等方面提出建议。

**关键词:** 黄河流域; 能源安全; 动态演进; 区域差异; 空间相关性

**中图分类号:** F206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)02-0190-08

党的二十大报告指出将确保能源资源安全作为维护国家安全能力的重要内容。“十四五”能源规划中明确提出“以保障安全为前提构建现代能源体系,不断增强风险应对能力,确保国家能源安全”,这为我国牢牢守住能源安全底线,提高维护国家能源安全意识指明了方向。黄河流域作为我国重要的能源基地、生态基地,其产业发展、能源安全既是支撑经济社会发展的支柱,也是保障我国总体能源安全的重要一环,还是决定碳排放总量和强度的关键因素。为此,黄河流域能源安全的研究对保障我国能源安全具有重要的现实意义。

## 1 文献综述

当前关于黄河流域的研究主要集中在水资源和生态环境两个方面。首先,吕明轩等<sup>[1]</sup>通过探究黄河流域水源涵养服务功能的空间分布模式,发现黄河流域呈现上下游地区较高,中游地区较低的分布格局;马维兢等<sup>[2]</sup>和王菲等<sup>[3]</sup>分别将水资源与经济规模和碳排放相联系;其次,束任天等<sup>[4]</sup>以陕甘宁地区为例,探究自然保护地的空间格局演变与影响因素,发现其空间结构类型为凝聚型和随机型;刘学峰等<sup>[5]</sup>对黄河流域的绿色发展效率的空间关联网络特

征进行研究,发现其总体波动上升,空间呈现梯形差异;而钱昭英和刘书杰<sup>[6]</sup>聚焦农业,探究黄河流域农业绿色低碳生产效率空间关联网络结构特征,宋梅等<sup>[7]</sup>聚焦矿业,探究矿业集聚对城市碳平衡的传导机制;最后,刘志强等<sup>[8]</sup>和陶晓华<sup>[9]</sup>分别对黄河流域的公共文化服务资源及创新创业能力进行分析。

此外,对于我国能源安全指标体系的构建大致分为传统的和符合新时期要求的两种构建方式。关于传统的指标体系构建,陈兆荣和雷勋平<sup>[10]</sup>在DPSIR(即驱动力/driving force、压力/pressure、状态/state、影响/impact、响应/response)框架内,认为从能源安全驱动力、能源安全压力、能源安全状态、影响和政策响应五个方面构建;胡剑波等<sup>[11]</sup>基于PSR(pressure-state-response)模型,从压力类、状态类和响应类维度进行构建。针对新时期指标体系的构建,史丹和薛钦源<sup>[12]</sup>从能源可得性、清洁性、可持续性等维度衡量能源安全;尹伟华<sup>[13]</sup>提出能源可用性、能源可获性、能源可持续性、能源技术发展四个维度;吴传清和赵豪<sup>[14]</sup>从能源供应、市场、环境、经济安全四个维度构建了一套符合新时代发展要求的能源安全评价指标体系;孟聪和蔡海霞<sup>[15]</sup>采用省级面板数据测算能源效率和节能减排能力;郭剑锋等<sup>[16]</sup>分析了电动汽车

收稿日期: 2024-08-23

作者简介: 王姝蕊(2000—),女,山东济宁人,硕士研究生,研究方向为财税金融理论与政策。

对能源安全的保障;最后,肖晞和孙溶锴<sup>[17]</sup>对中国能源的可持续安全做了研究。

综上所述,首先,针对黄河流域的研究较为丰富,但针对能源安全的相关研究较为少见;其次,关于能源安全的文献大都只针对全国或全球层面的分析,且在研究内容上主要进行指标体系的构建和评价,针对黄河流域能源安全水平动态演进、区域差异和空间相关性的文献较少。因此,本文选取黄河流域 8 个省份,研究 2010—2021 年能源安全的动态演进、区域差异和空间相关性。

## 2 研究设计与数据说明

### 2.1 研究区域界定

《黄河志(卷 2 黄河流域综述)》对黄河流域进行了行政区域划分,黄河呈“几”字形流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东 9 个省份,从山东省境注入渤海。另外在 2005 年 11 月,四川与上海、江苏、安徽等 7 省 2 市在北京签订了长江经济带合作协议,并进一步考虑到黄河流域仅流经四川的两个自治州(阿坝藏族羌族自治州和甘孜藏族自治州),因此,本文不将四川作为研究范围。此外,虽然黄河仅流经青海的西宁市,但青海的黄河流域面积最大,达 15.3 万 km<sup>2</sup>,占黄河流域总面积的 19.1%,所以,本文最终将青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东 8 省份作为研究范围。同时,本文结合了水利部对黄河流域上、中、下游的划分,划分结果如表 1 所示。

表 1 黄河流域上中下游省(自治区)的划分

区域	省份
上游	内蒙古、甘肃、青海、宁夏
中游	山西、陕西
下游	山东、河南

### 2.2 能源安全指标体系构建

能源安全在不同时期有不同的界定。在新时代,能源安全是一个综合概念,包括能源数量供应充足、能源使用安全、对生态环境友好、促进经济发展可持续。结合新时代的背景,综合考虑数据的可获取性,参考吴传清和赵豪<sup>[14]</sup>的做法本文从供给安全、消费安全、绿色安全、经济安全四个维度构建能源安全指标体系,采用熵值法赋予指标权重。

供给安全是指能够满足国家人口发展正常的需求,拥有稳定可靠的能源供应渠道,减少对外的依赖性,是能源安全的前提基础。本文主要选取人均能源生产量、能源进口量、能源自给率三个指标

来衡量能源的供应安全。其中,能源生产量和能源自给率是正向指标,分别用省级能源生产总量与总人口的比值、省级能源生产总量与能源消费总量的比值计算得出;能源进口量是负向指标,用黄河流域省级能源进口数量表示,衡量能源的对外依赖性。由于我国是世界第一大能源生产国和消费国,因此关注能源安全对于我国能源的生产与消费具有不可忽视的意义。

消费安全是能源安全的重要部分之一,选取人均能源消耗、能源强度、能源消费增长率对其进行衡量,三个指标均为负向指标,分别用能源消费总量与总人口的比值、能源消费总量与 GDP 的比值、能源消费总量与上一年的比计算得出,其数值越大表示能源安全水平越低。

绿色安全是将“绿水青山就是金山银山”的理念贯彻到能源安全,是新时代的新要求。参考吴传清和赵豪<sup>[14]</sup>的做法,选取人均氮氧化物排放量、二氧化硫排放强度、环境污染治理投资量来衡量能源绿色安全,其中环境污染治理投资量为正向指标。

经济安全是指为消费者提供负担得起的能源服务,最大限度减少价格波动,保障经济社会持续稳定发展。本文选取石油价格指数、煤炭价格指数、人均 GDP 来衡量经济社会的安全,其中石油、煤炭价格指数用工业生产者出厂价格指数表示,且为负向指标,人均 GDP 为正向指标。

### 2.3 能源安全水平测算方法

能源安全是一个综合性强的指标,涉及的层面较多,本文选取比较客观的熵值法赋予权重,计算步骤如下。

**第一步:整理数据。**

设有  $m$  个地区的  $n$  个变量,将  $T$  年的截面数据整理成面板数据  $X^T = (X_{ij})_{m \times n}$ ,按时间顺序排列,记作  $X = (X^1, X^2, \dots, X^T)_{mT \times n} = (X_{ij})_{mT \times n}$ 。

**第二步:数据标准化处理。**

正向指标:

$$X'_{ij} = (1 - 0.99) + 0.99 \times \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}}, \quad 1 \leq i \leq mT; 1 \leq j \leq n \quad (1)$$

负向指标:

$$X'_{ij} = (1 - 0.99) + 0.99 \times \frac{\max X_{ij} - X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}}, \quad 1 \leq i \leq mT; 1 \leq j \leq n \quad (2)$$

**第三步:计算第  $j$  项指标在第  $i$  个评价对象所占的比例。**

$$y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^{mT} X'_{ij}}, 1 \leq i \leq mT; 1 \leq j \leq n \quad (3)$$

第四步:计算第  $j$  项指标的熵值。

$$e_j = -\frac{1}{\ln mT} \sum_{i=1}^{mT} y_{ij} \ln y_{ij}, 1 \leq i \leq mT; 1 \leq j \leq n \quad (4)$$

第五步:计算第  $j$  项指标的差异系数。

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

第六步,计算第  $j$  项指标的权重。

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

具体指标、含义以及熵值法计算权重结果如表 2 所示。

## 2.4 数据来源

数据主要来源于《中国统计年鉴》、黄河流域各省份统计年鉴、《中国能源统计年鉴》,宁夏回族自治区以购进原煤量代替能源进口,其余部分缺失数据采用增长率法在原始数据的基础上进行填补,然后再进行计算。

## 3 黄河流域能源安全水平测度结果及其演进趋势分析

### 3.1 总体测算结果分析

根据上文建立的指标体系,采用熵值法对黄河

流域 8 个省份 2010—2021 年的数据赋权权重,计算的能源安全水平如表 3 所示,关于能源安全的衡量并没有统一标准,本文参考吴初国等<sup>[18]</sup>的做法,将 0.2 作为基准,把能源安全水平测度值五等分,即  $[0, 0.2]$ 、 $[0.2, 0.4]$ 、 $[0.4, 0.6]$ 、 $[0.6, 0.8]$ 、 $[0.8, 1]$ ,依次代表不安全、预警、一般安全、较安全和安全。2010—2021 年,黄河流域能源安全平均值分别为 0.376、0.376、0.414、0.430、0.431、0.452、0.443、0.395、0.423、0.446、0.468、0.415,整体水平处于 0.350 之上,变化趋势如图 1 所示。根据计算结果可知,在大多数年份黄河流域整体处于安全水平。

从图 1 中可知,黄河流域能源安全水平整体呈现上升趋势,并且比较稳定,在 2020 年达到最大值 0.468,在 2016 年和 2020 年之后稍有下降,原因可能是在 2014 年我国能源安全受到前所未有的重视,提出 2015 年要推进能源消费革命、能源供给革命和能源技术革命,并确立能源发展战略。2015 年电力、油气行业迈出了改革的重要步伐,能源价格改革也持续推进。受 2016 年国际石油价格持续下降的影响,导致世界能源市场低迷,进而使得我国各地区能源安全受到不利影响,水平指数有下降趋势。2020 年,新冠肺炎疫情的爆发给世界以及我国能源市场造成巨大波动,能源安全问题出现严峻局面。

表 2 指标体系以及权重

维度	指标	说明	属性	权重
供给安全	人均能源生产量	省级能源生产总量/总人口的比值	正向	0.245
	能源进口量	省级能源进口数量	负向	0.037
	能源自给率	省级能源生产总量/能源消费总量的比值	正向	0.234
消费安全	人均能源消耗	能源消费总量与总人口的比值	负向	0.050
	能源强度	能源消费总量/GDP	负向	0.078
	能源消费增长率	能源消费总量与上一年相比较	负向	0.028
环境安全	人均氮氧化物排放量	氮氧化物排放总量/总人口	负向	0.035
	二氧化硫排放强度	二氧化硫排放总量与/GDP	负向	0.010
	环境污染治理投资量	环境污染治理投入/GDP	正向	0.106
经济安全	石油价格	工业生产者石油出厂价格指数	负向	0.030
	煤炭价格	工业生产者煤炭出厂价格指数	负向	0.071
	人均 GDP	GDP 总量与总人口的比值	正向	0.075

表 3 2010—2021 年黄河流域能源安全水平测度值

省份	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	均值
内蒙古	0.574	0.594	0.595	0.611	0.659	0.648	0.613	0.588	0.602	0.631	0.592	0.591	0.608
甘肃	0.252	0.239	0.302	0.339	0.332	0.359	0.346	0.279	0.297	0.325	0.345	0.284	0.308
青海	0.263	0.275	0.320	0.353	0.317	0.337	0.363	0.280	0.331	0.377	0.401	0.311	0.327
宁夏	0.263	0.276	0.308	0.340	0.345	0.361	0.358	0.297	0.302	0.304	0.337	0.288	0.315
山西	0.565	0.609	0.657	0.615	0.601	0.640	0.645	0.570	0.611	0.602	0.642	0.630	0.616
陕西	0.590	0.484	0.525	0.557	0.577	0.602	0.582	0.563	0.613	0.618	0.666	0.564	0.578
山东	0.251	0.288	0.316	0.324	0.325	0.347	0.334	0.298	0.308	0.335	0.350	0.289	0.314
河南	0.246	0.246	0.285	0.298	0.295	0.319	0.302	0.288	0.317	0.373	0.409	0.365	0.312
年份均值	0.376	0.376	0.414	0.430	0.431	0.452	0.443	0.395	0.423	0.446	0.468	0.415	

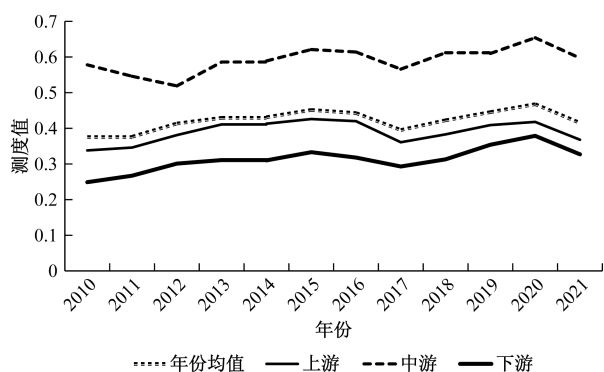


图1 2010—2021年黄河流域能源安全平均水平变动趋势

### 3.2 分地区测算结果分析

内蒙古、甘肃、青海、宁夏、山西、陕西、山东、河南在2010—2021年能源安全水平测度平均值分别为0.608、0.308、0.327、0.315、0.616、0.578、0.314、0.312,分布情况如图2所示,山西、内蒙古、陕西占据前三名,其中山西、内蒙古达到安全水平,这3个省份是我国传统的能源供应基地,是国家重要能源和战略资源基地,在保障全国能源供应和经济发展格局中具有重要战略地位。其余5个省份水平差别不大,处于预警状态,这说明黄河流域能源安全各省不均衡。

在上述测算结果的基础上进一步分流域分析,测算结果如表4所示,从纵向结果来看,黄河流域上中下游能源安全水平值均呈现波动变化趋势(图1)。其中,上游和下游变动趋势大体一致,呈现“增-减-增-减”的变动趋势,并且波动范围不大,整体稳定,但能源安全水平值较小,处于预警状态;中游能源安全水平整体较高,变动趋势为“减-增-减”。从横向结果可知,能源安全水平值中游地区排名第一,上游地区第二,下游地区第三,并且每一年中游地区能源安全水平值远远高于上游和下游地区,主要原因可能是中游地区包括山西和陕西两个能源大省,能源供给能力强,对外依赖性低,且山西的煤炭产量一直稳居全国前列,在保障能源安全的同时,山西也在通过技术创新、提高煤炭的开采和利用效率,为能源供应提供稳定支撑。

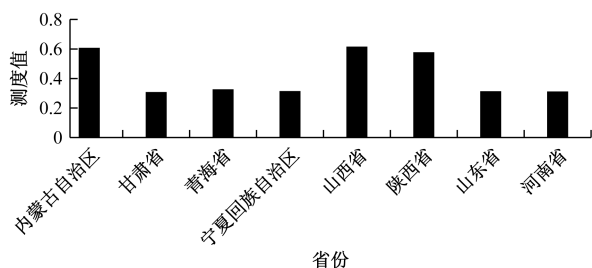


图2 黄河流域各省份能源安全水平平均值

为进一步考察黄河流域能源安全水平的演进趋势,对测度结果进行核密度估计,2010年、2015年、2021年黄河流域能源安全水平核密度图如图3所示。从形态分析,峰值呈现“先上升后下降”状态,宽度逐渐缩小,整体趋于高而窄的形状,说明黄河流域各省份之间的差异程度减小。从分布位置分析,2010—2015年呈现右移倾向,表明能源安全水平有所提升,但2015—2021年稍向左移动,说明能源安全水平有所波动。从分布范围分析,右尾拖长现象有所减缓,说明低水平地区在向平均水平靠拢,与高水平地区差距逐渐缩小。

表4 黄河流域上中下游能源安全水平

年份	上游	中游	下游
2010	0.338	0.578	0.249
2011	0.346	0.546	0.267
2012	0.381	0.519	0.301
2013	0.411	0.586	0.311
2014	0.413	0.589	0.310
2015	0.426	0.621	0.333
2016	0.420	0.614	0.318
2017	0.361	0.566	0.293
2018	0.383	0.612	0.313
2019	0.409	0.610	0.354
2020	0.418	0.654	0.379
2021	0.368	0.597	0.327

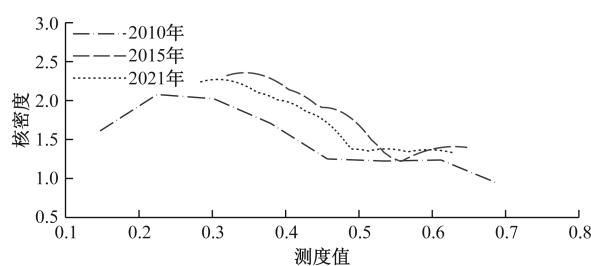


图3 2010年、2015年、2021年黄河流域能源安全水平核密度

## 4 黄河流域能源安全水平的区域差异及空间相关性分析

### 4.1 Dagum 基尼系数分解结果分析

利用基尼系数及其分解方法,测度2010—2021年黄河流域能源安全水平的总体基尼系数、区域内基尼系数、区域间基尼系数及贡献率,测度结果如表5所示。

在整个考察期间内,黄河流域能源安全水平的总体基尼系数平均值为0.173,2010—2020年总体基尼系数呈现波动下降趋势如图4所示,说明黄河流域能源安全不均衡现象逐渐减弱,但2021年有所上升,2010年和2011年达到最大值(0.206),2020年达到最小值(0.151)。

表 5 黄河流域能源安全水平基尼系数

年份	$G_T$	$G_W$			$G_{nb}$			$G_t/\%$		
		上游	中游	下游	上游-中游	上游-下游	中游-下游	区域间	区域内	超变密度
2010	0.206	0.179	0.011	0.005	0.264	0.153	0.398	79.565	20.073	0.363
2011	0.206	0.193	0.057	0.039	0.255	0.162	0.344	67.498	24.814	7.688
2012	0.179	0.146	0.056	0.026	0.234	0.127	0.326	73.793	22.312	3.895
2013	0.157	0.126	0.025	0.021	0.189	0.138	0.307	76.371	21.129	2.499
2014	0.172	0.157	0.010	0.024	0.210	0.146	0.310	70.678	23.074	6.249
2015	0.159	0.137	0.015	0.021	0.199	0.126	0.302	75.376	21.832	2.792
2016	0.159	0.120	0.026	0.025	0.195	0.138	0.317	78.643	19.982	1.375
2017	0.175	0.163	0.003	0.009	0.233	0.125	0.318	73.936	21.649	4.415
2018	0.172	0.154	0.001	0.007	0.230	0.120	0.324	77.240	20.524	2.235
2019	0.160	0.158	0.007	0.027	0.207	0.124	0.266	67.383	23.843	8.774
2020	0.151	0.123	0.009	0.039	0.219	0.100	0.266	72.844	19.991	7.165
2021	0.181	0.160	0.028	0.058	0.244	0.138	0.292	67.276	22.550	10.174
均值	0.173	0.151	0.021	0.025	0.223	0.133	0.314	73.384	21.814	4.802

注： $G_T$ 、 $G_W$ 、 $G_{nb}$ 、 $G_t$  分别表示总体基尼系数、区域内基尼系数、区域间基尼系数、贡献率。

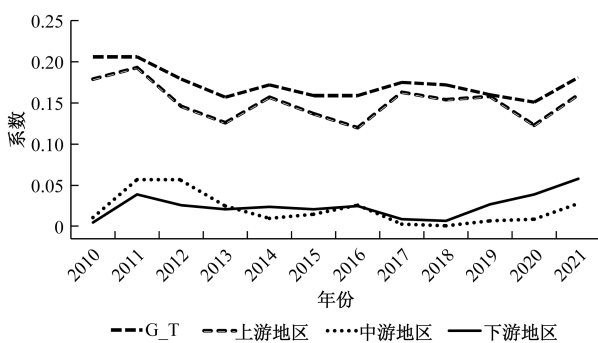


图 4 2010—2021 年黄河流域能源安全水平基尼系数变动趋势

从三大流域内部的空间分异程度来看，2010—2021 年，上游基尼系数年平均值为 0.151、中游为 0.021、下游为 0.025，均小于总体基尼系数平均值。基尼系数年平均值差异最大的是上游，其次是下游，最小的是中游。上游和下游地区内分异程度较大，中游地区内分异程度较小。从变动趋势(图 4)来看，上游、中游和下游地区的基尼系数均呈波动变动态势，说明区域内能源安全水平不均衡现象不稳定。

从区域间分异程度来看，与总体基尼系数平均值相比，区域间基尼系数存在显著差异，其中，中下游差异最大，其年均值为 0.314，上中游年平均值为 0.223，均高于总体基尼系数年均值，上下游的基尼系数年均值为 0.133。2010—2021 年区域间基尼系数较平稳，变动趋势如图 5 所示，各区间基尼系数呈现波动变动，但变动趋势不大，各年基尼系数中、下游差异大于上、中游大于上、下游，因此缩小中、下游区域间差异是关键。

从贡献率来看(图 6)，2010—2021 年黄河流域

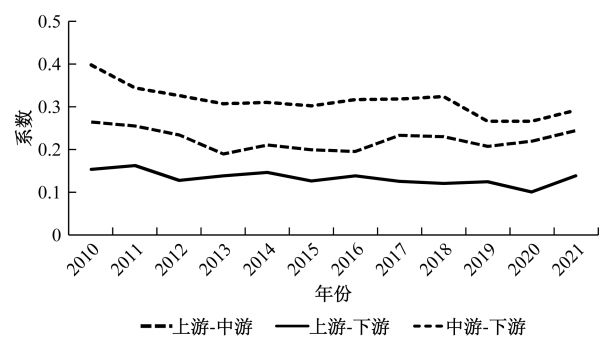


图 5 2010—2021 年黄河流域能源安全水平区域间基尼系数变动趋势

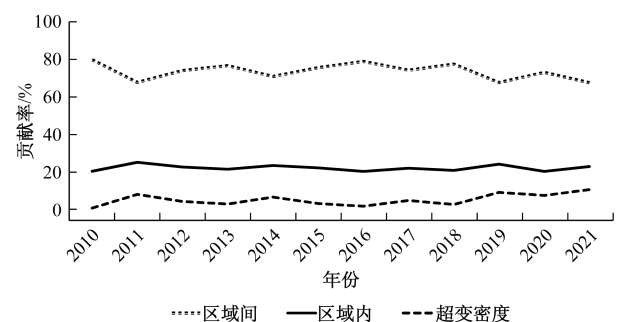


图 6 2010—2021 年黄河流域能源安全水平贡献率变动趋势

区域间、区域内和超变密度的贡献率分别居第一、第二和第三位，三者的平均值分别为 73.384%、21.814%、4.802%。区域内和超变密度的贡献度处于稳定状态，均小于 30%，区域间贡献度较大，区域间贡献率和超变贡献率呈反向变动关系，缩小区域间贡献率会提高超变贡献率。

#### 4.2 空间相关性分析

采用空间自相关判断黄河流域能源安全水平邻近地区的相关程度，主要从全局空间自相关和局

部空间自相关两方面来进行检验。

首先利用全局莫兰指数(Global Moran's  $I$ )衡量能源安全在黄河流域整体的空间相关性或差异性,Global Moran's  $I$  取值在 $[-1, 1]$ ,若 Global Moran's  $I$  为 $(0, 1]$ ,表明黄河流域邻近省份能源安全水平测度值相似,若 Global Moran's  $I$  等于 0,意味着测算出的指数是随机分布的,空间上不存在相关性,若 Global Moran's  $I$  为 $[-1, 0)$ ,表明黄河流域邻近省份能源安全水平测度值相异,省份之间存在差异,全局莫兰指数的具体计算方法如下。

**第一步:**根据各省份之间在地理位置上是否处于相邻状态构建空间邻接矩阵,设定如下:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{省份 } i \text{ 与 } j \text{ 相邻} \\ 0, & \text{省份 } i \text{ 与 } j \text{ 不相邻} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $w_{ij}$ 为空间邻接矩阵。

**第二步:**计算全局莫兰指数。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (2)$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n \quad (3)$$

式中: $s^2$ 为样本方差; $x_i, x_j$ 为省份*i*和*j*的观测值; $n$ 为所研究的样本个数; $\bar{x}$ 为样本的平均值。

黄河流域能源安全水平测度值的全局 Moran's  $I$  指数如表 5 所示。

根据黄河流域全局 Moran's  $I$  指数分析可知,2016—2021 年黄河流域各省份能源安全指数存在正相关关系,且在 2013 年和 2016 年 Moran's  $I$  指数有所下降以外,2010—2017 年相关系数几乎在逐年增加,说明能源安全水平相似的地区有较多同省份聚集。在 2019 年全局 Moran's  $I$  指数最低,

表 5 黄河流域能源安全水平的全局自相关检验结果

年份	全局 Moran's $I$	标准差	Z	P
2010	0.051	0.204	0.949	0.171
2011	0.063	0.200	1.030	0.151
2012	0.071	0.199	1.072	0.142
2013	0.061	0.203	1.006	0.157
2014	0.077	0.202	1.091	0.138
2015	0.083	0.203	1.110	0.133
2016	0.061	0.203	1.008	0.157
2017	0.071	0.204	1.049	0.147
2018	0.045	0.204	0.922	0.178
2019	0.016	0.203	0.783	0.217
2020	0.040	0.202	0.904	0.183
2021	0.125	0.203	1.323	0.093

2021 年全局 Moran's  $I$  指数达到最大值,在研究期间,全局 Moran's  $I$  指数呈现“先上升后下降”的趋势,说明黄河流域能源安全水平聚集分布不稳定。

进一步,局部空间自相关可以描述某一省份与其相邻省份能源安全水平的相似性,反映空间相关性随位置变化的规律,采用局部莫兰指数(local Moran's  $I$ )度量。为更直观地呈现局部的空间聚集情况,可以用 Moran 散点图呈现,该图将划分为第一、二、三、四象限,分别代表“高高聚集”“低低聚集”“高低分散”“低低分散”现象。

由此,本文绘制了 2010 年、2015 年、2021 年的莫兰散点图(图 7),由图可知在 2010 年、2015 年、2021 年大多数省份位于第一和三象限,呈现“高高聚集”和“低低聚集”两种状态,这说明黄河流域各地区能源安全水平在空间上并不是随机分布的,存在空间集聚的特点。为了清楚描述各省份空间聚集情况,将结果整理如表 6 所示,其中山西、陕西和内蒙古处于“高高聚集”状态,表明这 3 个省份能源安全水平的提高可以带动邻近地区能源安全水平的提高,山东和青海处于“低低聚集”状态,表明山东和青海能源安全水平相对较低,在带动邻近地区方面的驱动作用不明显,河南、宁夏和甘肃处于“高低分散”,表明这 3 个省份能源安全水平没有显著提升,但在一定程度上可以带动邻近地区。在研究呈现的 3 年各省份聚集状态均未变化,这说明黄河流域能源安全水平空间分布比较稳定。

表 6 黄河流域能源安全水平局部自相关测算结果

聚集类型	2010 年	2015 年	2021 年
高高	山西、陕西省、 内蒙古	山西、陕西省、 内蒙古	山西、陕西省、 内蒙古
低高	河南、宁夏、 甘肃省	河南、宁夏、 甘肃省	河南、宁夏、 甘肃省
低低	山东、青海省	山东、青海省	山东、青海省

## 5 结论与启示

本文从能源供给安全、消费安全、绿色安全、经济安全构建黄河流域能源安全评价指标体系,并采用熵值法测度 2010—2021 年 8 个省份能源安全水平。并以此得出结论:①在 2010—2021 年黄河流域能源安全水平大多数年份处于安全状态,在 2020 年能源安全水平测度值达到最大 0.468;②山西省能源安全整体水平最好,平均水平达到 0.616,处于第一名,各省份能源安全水平不平衡;③中游地区能源安全水平整体高于上下游地区;④黄河流域上游地区分异程度较大,区域间中下游地区差异较大,

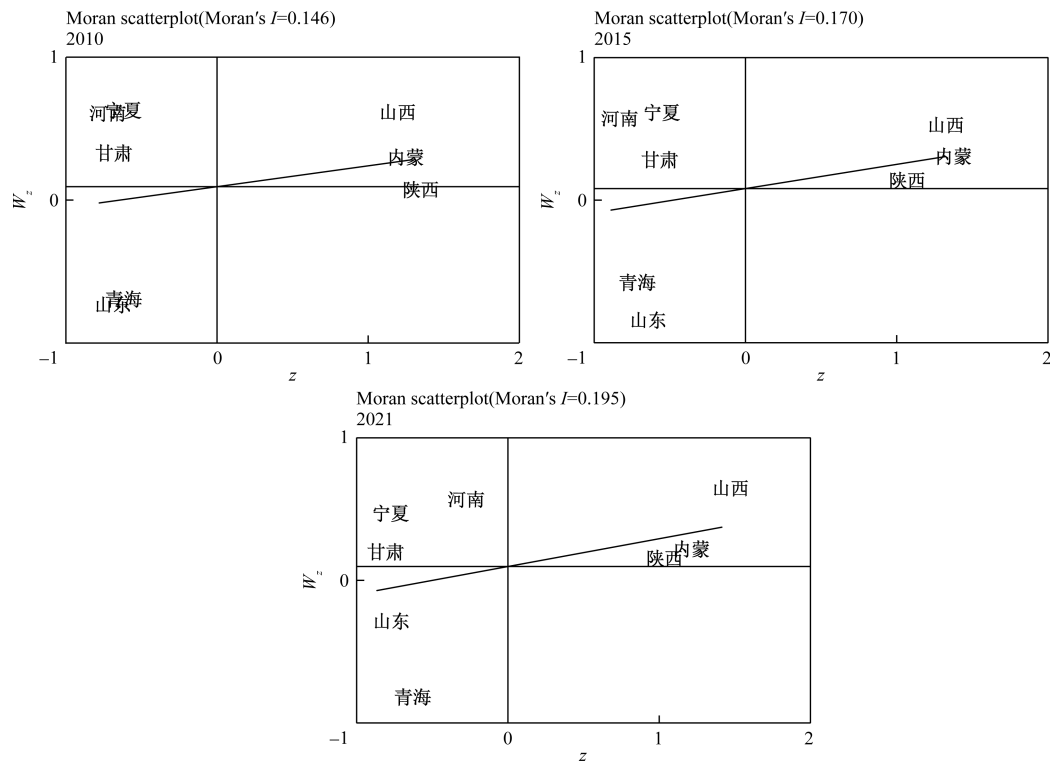


图 7 2010 年、2015 年、2021 年黄河流域 Moran 散点图

但能源安全不均衡现象逐渐减弱；⑤黄河流域能源安全呈现空间正相关，不同省份呈现不均衡现象，存在不同程度的极化现象，主要呈现“高高”“高低”“低低”三种聚集状态。

基于以上研究结论，本文提出以下建议：①根据地区特点，因地制宜地制定能源安全保障策略。对于能源资源充足的地区，要提高资源利用效率，推进内蒙古、陕西、山西等煤制油气和煤炭战略基地建设，发挥黄河上游、黄河几子弯大型风电太阳能发电基地优势，补充供给能源资源相对匮乏且需求量大的下游地区。②利用技术创新，推进传统化石能源产业在关键节能降碳技术上实现突破，大力开拓清洁能源和新能源，鼓励和支持清洁能源产业的发展，使中西部地区充分利用自身能源环境的优势，下游地区依托临海优势发展海上发电，达到更高的绿色水平。③加强各地区合作交流，建立黄河流域跨区域合作机制，定期举办会议，讨论能源政策，探讨交流保障能源安全的新思路。鼓励和支持能源企业跨省区投资合作，共同开发新能源项目，提高能源供应的可靠性和稳定性。

### 参考文献

[1] 吕明轩, 张红, 贺桂珍, 等. 黄河流域水源涵养服务功能动态演变及驱动因素探究[J]. 生态学报, 2024(7):

1-11.

- [2] 马维兢, 张闻顺, 李程祎, 等. 黄河流域经济规模与水资源边际效益异速增长时空特征及驱动因素[J]. 自然资源学报, 2023, 38(12): 3116-3134.
- [3] 王菲, 曹永强, 陈敏, 等. 黄河流域水-土-能-碳关联系统网络特征[J]. 水利水电科技进展, 2024, 44(4): 31-37.
- [4] 束任天, 肖景义, 杨延霞, 等. 黄河流域自然保护地空间格局演变与影响因素研究——以青甘宁片区为例[J]. 西北林学院学报, 2024, 39(2): 228-236.
- [5] 刘学峰, 丁翔宇, 董会忠, 等. 黄河流域绿色发展效率空间关联网络及影响因素研究[J]. 资源开发与市场, 2024, 40(2): 194-204.
- [6] 钱昭英, 刘书杰. 黄河流域农业绿色低碳生产效率空间关联网络结构特征及驱动因素识别[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(2): 27-38.
- [7] 宋梅, 郝旭光, 张加, 等. 黄河流域矿业集聚对城市碳平衡的影响及传导机制——基于空间溢出效应视角[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2024, 26(1): 58-73.
- [8] 刘志强, 尹鹏, 孙菲, 等. 黄河流域公共文化服务资源的空间分布特征及影响因素研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2024, 47(2): 80-89.
- [9] 陶晓华. 黄河流域创新创业能力空间均衡程度及时空演变特征[J]. 统计与决策, 2024, 40(1): 81-85.
- [10] 陈兆荣, 雷勋平. 基于熵权可拓的我国能源安全评价模型[J]. 系统工程, 2015, 33(7): 153-158.
- [11] 胡剑波, 吴杭剑, 胡潇. 基于 PSR 模型的我国能源安全评价指标体系构建[J]. 统计与决策, 2016(8): 62-64.
- [12] 史丹, 薛钦源. 中国一次能源安全影响因素、评价与展

- 望[J]. 经济纵横, 2021(1): 31-45.
- [13] 尹伟华. 新时期我国能源安全评价指标体系构建及评估[J]. 中国物价, 2022(4): 109-112.
- [14] 吴传清, 赵豪. “西气东输”工程建成以来中国区域能源安全测度与评价[J]. 城市与环境研究, 2023(1): 91-102.
- [15] 孟聪, 蔡海霞. 碳中和目标下我国区域能源效率测算与节能减排潜力分析[J]. 科技和产业, 2024, 24(11): 35-40.
- [16] 郭剑锋, 张雪美, 曹琪, 等. 电动汽车助力我国能源安全与“碳达峰、碳中和”协同推进[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(2): 397-407.
- [17] 肖晞, 孙溶赓. 中国能源可持续安全: 理念塑造、现状解析与路径构建[J]. 太平洋学报, 2023, 31(10): 56-68.
- [18] 吴初国, 何贤杰, 盛昌明, 等. 能源安全综合评价方法探讨[J]. 自然资源学报, 2011, 26(6): 964-970.

## Dynamic Evolution, Regional Differences and Spatial Correlation Analysis of Energy Security Level in the Yellow River Basin

WANG Shurui

(Business of School, Liaocheng University, Liaocheng 252059, Shandong, China)

**Abstract:** The Yellow River Basin is an important energy supply base in China. Systematic characterization of the energy security level in the Yellow River Basin is of great significance for ensuring energy supply, improving energy efficiency, promoting green energy consumption, and enhancing economic resilience. An energy security indicator system was constructed from the perspectives of supply security, consumption security, green security and economic security. The entropy method was used to measure the energy security levels of eight provinces in the Yellow River Basin from 2010 to 2021. Based on this, methods such as kernel density estimation, Dagum Gini coefficient and spatial Moran index were used to measure the dynamic evolution, regional differences and spatial correlation of energy security levels in the Yellow River Basin. The results show that during the research period, the overall energy security level in the Yellow River Basin show an upward trend, with Shanxi Province and its middle reaches having the highest overall energy security level. The degree of differentiation in the upper reaches of the Yellow River Basin is significant, with significant differences in the middle and lower reaches between regions. However, the phenomenon of energy security imbalance is gradually weakening. The energy security in the Yellow River Basin shows a spatial positive correlation, with uneven distribution among provinces. The middle reaches mainly exhibit a “high high” clustering state, while the remaining provinces mainly exhibit a “low high” and “low low” clustering state. Finally, suggestions are proposed in terms of leveraging regional advantages, developing clean energy and diversifying energy import channels.

**Keywords:** Yellow River Basin; energy security; dynamic evolution; regional differences; spatial correlation