

黄河流域能源－经济－环境系统耦合协调发展动态研究

梁家栋

(内蒙古工业大学经济管理学院, 内蒙古 呼和浩特 010050)

【摘 要】实现碳达峰、碳中和,是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策,着力解决资源环境约束突出问题。但是黄河流域也存在许多能源经济与环境相冲突的问题,黄河以占全国2%的水资源量,承载了全国12%的人口和14%的经济总量,大规模开采致矿区地下水位大范围、土质疏松,加速荒漠化进程,环境问题亟待改善。黄河流域可再生能源发展以水电风电和光伏发电为主,加速发展面临较大的并网消纳压力,需要完善以新能源为主的新型电力系统。

【关键词】碳中和; 能源经济; 耦合协调

一、文献综述

张雪薇等从省级层面研究黄河流域经济、能源、生态与科技的耦合协调发展研究,发现目标层指标中生态和能源是影响黄河流域耦合协调发展的重要因素^[1]。赵良仕等从地级市层面分析黄河流域水、能源和粮食系统,发现该系统协调发展稳定性不足,并且在后期呈现出耦合协调度下降态势^[2]。王艳等研究黄河流域数字经济、产业发展与生态环境耦合协调度,证得黄河流域偶和协调度具有区域异质性,作用强度按经济驱动、产业结构、政府调控、水资源依次递减^[3]。

二、研究设计

(一) 评价指标体系构建 (见表1)

(二) 指标权重确定方法

1. 数据的标准化处理

本文采用极差法对数据进行标准化处理,同时可以消除不同量纲和量级的影响,公式如下:

$$\text{正向指标处理: } x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$$

$$\text{负向指标处理: } x_{ij}^* = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$$

公式中, x_{ij} 为第 i 个年份中第 j 个指标的数据, $\max(x_{ij})$, $\min(x_{ij})$ 分别为第 i 个年份中第 j 个指标中的最大值和最小值, x_{ij}^* 表示经过标准化处理之后的数据,取值范围 $[0, 1]$ 。

表1 能源经济环境系统评级指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	属性
能源经济环境协调发展水平	能源结构	原煤供给总量占比	%	—
		油气供给总量占比	%	+
		可再生能源供给占比	%	+
		煤品消费总量占比	%	—
	经济水平	地区生产总值	亿元	+
		人均地区生产总值	元	+
		人均可支配收入	元	+
	环境水平	氮氧化物排放量	万吨	—
		二氧化硫排放量	万吨	—
		工业污染治理完成投资	万元	+
		生活垃圾无害化处理率	%	+

（三）耦合协调度模型

耦合度可以考量两个及两个以上系统之间的相互影响程度。

耦合度计算公式如下：

$$C = \frac{3 \times \sqrt[3]{U_1 U_2 U_3}}{U_1 + U_2 + U_3} \quad (3.1)$$

其中 U_i 分别表示三个子系统的综合效用评价，计算公式如下：

$$U_i = \sum_{j=1}^m w_j \times x_{ij}^* \quad (3.2)$$

协调度计算公式如下：

$$T = \alpha \times U_1 + \beta \times U_2 + \lambda \times U_3 \quad (3.3)$$

其中，本文认为研究的三个子系统同等重要，故赋予相同权重， $\alpha = \beta = \lambda = \frac{1}{3}$ 。

耦合协调度计算公式如下：

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (3.4)$$

三、实证分析

（一）能源子系统综合评价分析

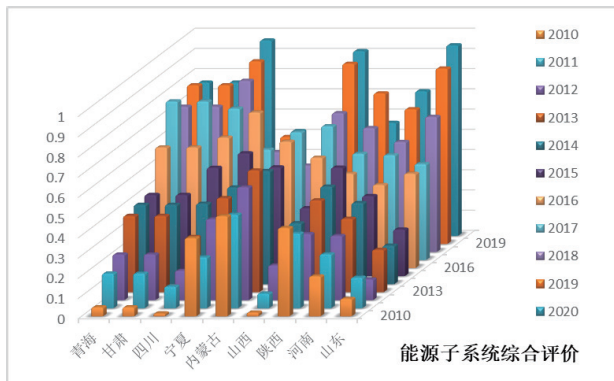


图1 能源子系统综合效用评价

如图1所示，能源子系统总体上表现出明显改善，其中以四川、山西和山东改善最为显著，四川省能源子系统年均增长率53.5%，山西省能源子系统年均增长率47.86%，山东省能源子系统年均增长率27.04%。

（二）环境子系统综合评价分析

如图2所示，环境子系统综合评价总体改善明显，平均涨幅482.57%，其中以山东省环境子系统改善最为明显，年均增长率达23.05%，青海、四川、山西、河南和山东五省年均增长率平均为

21.9%。

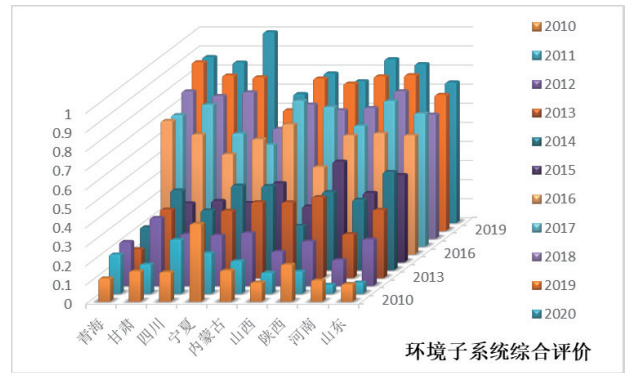


图2 环境子系统综合效用评价

（三）经济子系统综合评价分析

如图3所示，经济子系统综合评价总体改善明显，其中以山西和陕西表现最为突出，山西省经济子系统综合评价年均增长率为47.86%，陕西省经济子系统综合评价年均增长率为24.18%。

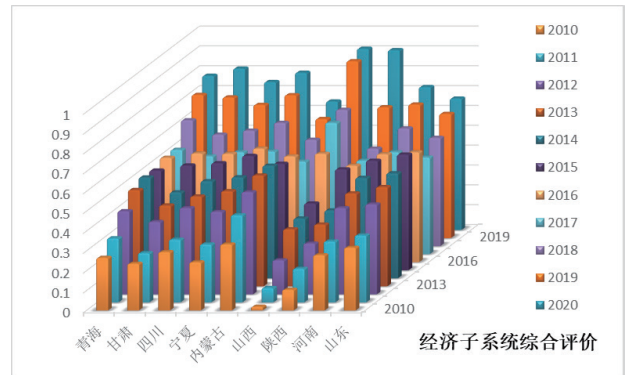


图3 经济子系统综合效用评价

（四）能源、经济环境的耦合协调度分析

由表3可知，黄河流域九省区能源、经济与环境系统的耦合协调水平呈稳步上升态势，多数省份经历了由失调到协调的发展过程。

四、结论与建议

（一）结论

本文从省域层面出发，整理分析黄河流域九省区2010-2020年能源、经济与环境相关数据，并用耦合协调度对整体系统进行评价，得出如下结论：

一是能源、经济与环境子系统均有不同程度的提升，其中以环境子系统的综合效用增长最为显著，能源子系统次之，经济子系统发展相对落

表 3 黄河流域九省份（自治区）耦合协调度

黄河流域九省份（自治区）耦合协调度									
年份	青海	甘肃	四川	宁夏	内蒙古	山西	陕西	河南	山东
2010	0.458	0.345	0.291	0.580	0.547	0.180	0.455	0.428	0.369
2011	0.541	0.433	0.461	0.501	0.572	0.289	0.441	0.397	0.380
2012	0.559	0.556	0.508	0.594	0.656	0.417	0.519	0.516	0.474
2013	0.523	0.617	0.571	0.654	0.715	0.565	0.625	0.582	0.578
2014	0.620	0.644	0.627	0.690	0.721	0.526	0.638	0.649	0.611
2015	0.649	0.635	0.673	0.691	0.702	0.567	0.724	0.656	0.628
2016	0.787	0.768	0.755	0.802	0.781	0.718	0.722	0.722	0.738
2017	0.794	0.813	0.782	0.730	0.780	0.827	0.734	0.767	0.738
2018	0.841	0.819	0.850	0.749	0.737	0.826	0.769	0.793	0.787
2019	0.868	0.876	0.887	0.789	0.753	0.922	0.857	0.846	0.853
2020	0.882	0.896	0.947	0.808	0.791	0.923	0.870	0.869	0.879
平均	0.684	0.673	0.668	0.690	0.705	0.615	0.669	0.657	0.640

后。

二是耦合协调发展水平有较大改善，其中以山西省改善最为明显，宁夏和内蒙古始终保持协调发展状态，黄河流域整体上经历了濒临失调、勉强协调、初级协调、中级协调和良好协调五个阶段。

（二）建议

结合以上研究结果，针对黄河流域各省份能源供需结构、产业发展结构和环境等问题，提出以下发展建议：

1. 在政府层面，强化制度保障作用。出台相应政策促进能源结构优化的落地，以及环境保护的约束措施。
2. 在企业层面，提升能源低碳清洁高效利用能力。应当加强企业与高校科研机构的合作，提升企业创新能力，形成产学研协调发展的良好局面。
3. 在社会层面，提升对于可再生能源的消纳

能力。合理根据区位优势，规划建设对外输送通道，努力提升新能源发电优先消化。

参考文献：

[1] 张雪薇，杜凤莲，申晓燕等. 黄河流域经济-能源-生态-科技耦合协调发展时空格局及其影响因素 [J]. 安全与环境学报，2023，23(07): 2545-2556.

[2] 赵良仕，刘思佳. 黄河流域地级市水-能源-粮食系统耦合及空间关联研究 [J]. 水资源与水工程学报，2022，33(04): 14-23.

[3] 王艳，张雪芳，雷淑珍. 黄河流域数字经济、产业发展与生态环境耦合协调度的实证检验 [J]. 统计与决策，2024，40(04): 108-113.

作者简介：

梁家栋（1997—），男，汉族，山东日照人，硕士，研究方向：产业经济学。