

治理绩效

# 能源消费与绿色发展的耦合协调水平 测度与区域差异分析

刘慎莹

(中南民族大学经济学院, 武汉 430074)

**摘要:** 在构建能源消费与绿色发展水平评价指标体系基础上,运用熵值法、耦合协调度模型、Dagum 基尼系数及其分解,测算 2006—2021 年中国 30 个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区)能源消费与绿色发展的耦合协调水平,并深入分析各地区耦合协调水平的区域差异。研究表明:中国能源消费与绿色发展耦合协调水平整体呈增长趋势,但能源消费水平西部地区较为领先,绿色发展水平则是东部地区较为领先;能源消费与绿色发展的耦合协调水平表现为增长趋势,整体水平从低度协调向中度协调转变,呈现“东高、中西低”的局面;中国东、中、西、东北四大地区的能源消费与绿色发展耦合协调度总体差异在逐渐缩小,产生差异的主要来源为区域间差异。为促进能源消费与绿色发展深度融合,实现“双碳”目标提供参考。

**关键词:** 能源消费; 绿色发展; 耦合协调; 区域差异

**中图分类号:** F206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)08-0293-08

中国在第 75 届联合国大会上正式提出“双碳”目标,实现“双碳”目标需要持续推进能源清洁低碳化发展与经济社会全面绿色转型。中国正处于工业化与城镇化快速发展阶段,对于能源的需求不断增加,化石能源占比较高以及区域之间“碳不公平”的问题依然突出。构建清洁高效的能源体系并提高能源利用效率,实现碳排放总量控制与资源环境改善,是实现绿色发展的迫切要求。党的二十大报告中强调,要加快发展方式绿色低碳转型。绿色生产生活方式从消费侧促进能源结构优化,能源结构低碳化与能源效率提升均离不开绿色低碳技术的发展,因此,绿色发展为能源消费转型提供良好的空间。可见,能源消费与绿色发展之间存在内在联系。在此背景下,剖析中国能源消费与绿色发展的耦合协调水平与区域异质性,对于促进二者的深度融合,实现“双碳”目标与经济高质量发展具有重要意义。

能源消费与绿色发展之间的关系逐渐受到国内外学者的关注,主要通过以下方面展开研究:一是能源消费与绿色发展之间的单向作用。首先,能源消费会影响绿色发展,能源消费的优化能够产生经济增长效应<sup>[1-2]</sup>,可再生能源消费与经济增长之间呈非线性关系<sup>[3]</sup>。能源消费的优化能够影响环境质

量,大量化石能源消耗会造成温室气体与污染物排放,不利于绿色发展<sup>[4]</sup>,但可再生能源投资的增加能够抑制碳排放,从而对绿色发展产生正向促进作用<sup>[5]</sup>。其次,绿色发展也会对能源消费产生影响。绿色技术进步有助于减少能源消耗并提高能源效率<sup>[6-7]</sup>,绿色技术进步还会对邻近地区的能源利用效率产生正向空间溢出效应<sup>[8]</sup>。绿色发展对于绿色生产生活方式的倡导从需求侧推动了能源结构转型<sup>[9]</sup>。二是能源消费与绿色发展系统间的交互影响。嵇娟等<sup>[10]</sup>通过构建系统动力学模型,分析 2005—2019 年长三角地区水-能源-粮食-生态环境(WEFE)系统的现状。李进秋等<sup>[11]</sup>研究了 2005—2019 年中国不同区域水-能源-粮食-环境-经济五元系统的发展情况,并分析该系统的耦合协调度变化趋势和空间效应。李治国等<sup>[12]</sup>通过耦合协调度模型研究了中国黄河流域各地级市经济-能源-环境-科技系统的时空演变规律与空间效应。

上述研究为厘清能源消费与绿色发展的关系奠定了基础,但仍存在进一步研究的空間,一是现有文献主要集中在能源消费与绿色发展之间的单向影响上,对于二者之间的耦合协调关系分析较少;二是现有文献侧重于能源消费与绿色发展相关

**收稿日期:** 2024-11-07

**作者简介:** 刘慎莹(2000—),女,湖北潜江人,硕士研究生,研究方向为发展经济学。

因素时空变化趋势的研究,缺乏对其区域异质性及其差异来源的系统分析。因此,本文以2006—2021年30个省份(未包含西藏地区和港澳台地区)的数据为样本,构建能源消费与绿色发展指标体系,对二者的耦合协调度进行测算,并分析其在中国东部、中部、西部和东北四大区域上的特点,运用Dagum基尼系数及其分解分析产生耦合协调空间差异的来源,为推动各区域各省份能源消费与绿色发展实现耦合协调提供借鉴与参考。

## 1 研究设计

### 1.1 能源消费与绿色发展的耦合协调机理

耦合协调理论来源于物理学,表示开放的系统中两个或者多个子系统之间的相互作用<sup>[13]</sup>。随着认识的深入,这一理论被引入社会科学领域,被广泛应用于环境、经济、社会发展等不同领域的实证研究,用来阐释子系统之间的相互作用关系,评价区域整体的均衡发展程度。

一方面,能源消费是经济发展的重要驱动力与基础保障,能源消费的优化催生新业态、新产业,提高资源利用效率,为经济增长提供动力。能源消费的作用主要体现在以下方面:第一,带动新兴产业。随着对可再生能源需求的增加,太阳能光伏产业、风电产业等新能源产业蓬勃发展,也会促进能源存储技术、智能电网等相关配套产业的发展,使得经济结构向更加绿色的方向调整<sup>[14]</sup>。第二,实现资源可持续发展。传统的化石能源属于不可再生能源,而可再生能源具有可持续性,能够保障能源的长期稳定供应,符合绿色发展理念中对资源可持续利用的要求<sup>[15]</sup>。第三,减少污染物排放。可再生能源在能源生产和消费过程中的碳排放几乎可以忽略不计,随着能源消费结构的优化,污染物的排放将大量减少,使得环境质量得以改善,有助于推动绿色发展的进程<sup>[16]</sup>。

另一方面,绿色发展是在经济活动中考虑生态环境与资源利用的可持续发展理念,对能源消费的作用主要体现在以下几个方面:第一,提供技术支持。绿色发展激励企业和科研机构研发高效节能技术,能源利用效率得到显著提高<sup>[17]</sup>。第二,绿色发展理念引导消费者行为向环保和可持续的方向转变,使得能源消费不断优化<sup>[18]</sup>。第三,创造良好环境。在绿色发展的环境下,对高污染、高耗能能源的消费将得到限制,促使企业减少对高碳能源的使用,转而采用低碳能源,优化能源消费结构<sup>[19]</sup>。能源消费与绿色发展相互作用、互馈发展,形成相互配合,互为关联的耦合协调关系。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 熵值法

能源消费与绿色发展包含多个方面,构建二者的综合测评指标,利用熵值法指标反映的信息量大小进行客观赋权,具体做法如下。

第一步:对原始数据进行标准化处理。

正向指标

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

负向指标

$$r_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

式中: $x_{ij}$ 为第*i*个省份的第*j*个指标; $r_{ij}$ 为 $x_{ij}$ 经过标准化处理后的值; $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

第二步:计算第*i*个值在第*j*项指标中的贡献度。

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad (3)$$

第三步:计算第*j*个指标的熵值。

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (4)$$

第四步:计算第*j*项指标的权重。

$$w_j = \frac{e_j}{\sum_{j=1}^m e_j} \quad (5)$$

第五步:计算第*i*个省份的综合得分。

$$D_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} w_j \quad (6)$$

### 1.2.2 耦合协调模型

耦合协调模型包含耦合度与协调度,耦合度用来衡量不同系统或要素之间的相互作用,协调度研究二者之间的配合程度,由于能源消费与绿色发展之间存在关联,因此采用耦合协调模型来计算二者的交互关系,计算公式为

$$C = \frac{2 \sqrt{x_1 x_2}}{x_1 + x_2} \quad (7)$$

$$T = \alpha x_1 + \beta x_2 \quad (8)$$

$$D = \sqrt{CT} \quad (9)$$

式中: $C$ 为耦合度系数; $x_1$ 、 $x_2$ 分别为能源消费与绿色发展综合得分; $T$ 为调节系数;本文认为能源消费与绿色发展同等重要,因此 $\alpha = \beta = 0.5$ ;  $D$ 为耦合协调度, $0 \leq D \leq 1$ ,  $D$ 越大,表示耦合协调度越好。参考李林汉等<sup>[20]</sup>对耦合协调度的划分方法,对耦合协调度的计算结果进行分类: $0 \leq C \leq 0.2$ 为濒临失调, $0.2 \leq C \leq 0.4$ 为低度协调, $0.4 \leq C \leq 0.6$ 为中度协调, $0.6 \leq C \leq 0.8$ 为高度协调, $0.8 \leq C \leq 1$ 为优质协调。

### 1.2.3 Dagum 基尼系数及其分解

为考察能源消费与绿色发展耦合协调度的空间分异程度,采用 1997 年 Dagum 提出的基尼系数及其分解的方法,该方法能够有效展现空间分异的来源,解决子样本间的交叉重叠,基尼系数  $G$  的计算公式为

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2 \bar{y}} \quad (10)$$

式中: $n$  为总的省份数量; $k$  为地区数量; $n_j(n_h)$  为地区  $j(h)$  中的省份数量; $y_{ji}(y_{hr})$  为  $j(h)$  地区中  $i(r)$  省份的能源消费与绿色发展耦合协调度; $\bar{y}$  为所有省份能源消费与绿色发展耦合协调度的平均值。将基尼系数  $G$  分解,公式如下:

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (11)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (12)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (13)$$

式中:  $p_{j(h)} = \frac{n_{j(h)}}{n}$ ,  $s_{j(h)} = \frac{n_{j(h)} \bar{y}_{j(h)}}{n \bar{y}}$ ,  $D_{jh} = \frac{d_{jh} - p_{jh}}{d_{jh} + p_{jh}}$ ,  $d_{jh} = \int_0^\infty dF_j(y) \int_0^y (y-x) dF_h(x)$ ,  $p_{jh} = \int_0^\infty dF_h(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x)$ 。

式(11)计算区域内差异,其中,  $G_{jj} =$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}|}{2 n_j^2 \bar{y}_j} \text{ 为地区 } j \text{ 的基尼系数;式(12)计}$$

算区域间差异,其中,  $G_{jh} = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} \frac{|y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\bar{y}_j + \bar{y}_h)}$  为地区  $j, h$  间的基尼系数;式(13)为超变密度。

## 1.3 指标体系构建

### 1.3.1 能源消费指标体系

结合“双碳”行动的主要目标,分阶段实现重点行业能源利用效率大幅提升,单位国内生产总值能耗与碳排放下降,非化石能源消费比重增加。参考印玺和胡健<sup>[21]</sup>的做法,从能源消费结构与能源消费效率出发,构建如表 1 所示的能源消费综合评价指标体系,用熵值法计算各指标的权重。

### 1.3.2 绿色发展指标体系

绿色发展是强调经济、社会与环境协调共进的发展方式。基于绿色发展的内涵,并根据国家发展和改革委员会、国家统计局等 2016 年制定的《绿色发展

表 1 能源消费综合指标评价体系

| 目标层  | 准则层                | 指标层                                            | 属性 | 权重/%  |
|------|--------------------|------------------------------------------------|----|-------|
| 能源消费 | 能源消费结构<br>(86.84%) | 能源消费总量/(万 t 标准煤)                               | 负  | 2.05  |
|      |                    | 煤炭消费占能源消费总量比例/%                                | 负  | 4.12  |
|      |                    | 石油消费占能源消费总量比例/%                                | 负  | 6.22  |
|      |                    | 天然气消费占能源消费总量比例/%                               | 正  | 13.69 |
|      |                    | 电力消费占能源消费总量比例/%                                | 正  | 5.50  |
|      |                    | 其他能源消费占能源消费总量比例/%                              | 正  | 33.62 |
|      |                    | 新能源消费占能源消费总量比例/%                               | 正  | 21.64 |
|      | 能源消费效率<br>(13.16%) | 能源消费结构低碳化指数                                    | 正  | 7.56  |
|      |                    | 能源碳排放量/万 t                                     | 负  | 1.98  |
|      |                    | 能源碳强度/(tCO <sub>2</sub> ·t 标准煤 <sup>-1</sup> ) | 负  | 2.67  |
|      |                    | 能源消费弹性系数                                       | 负  | 0.96  |

注:新能源包括风力、水力和核能;能源消费弹性系数=能源消费增长率/GDP 增长率。

指标体系》和相关领域的研究成果<sup>[22]</sup>,从科技创新、经济增长、资源利用、环境质量、绿色生活 5 个维度出发,构建绿色发展多维度指标评价体系,指标体系如表 2 所示。

### 1.3.3 数据来源

能源消费指标体系中的数据来自《中国能源统计年鉴》《中国电力统计年鉴》以及各省份统计年鉴,能源消费结构低碳化指数参考柳亚琴和孙薇<sup>[23]</sup>的方法计算不同种类能源消费占比的空间向量夹角得出,能源碳排放量根据联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernment Panel on Climate Change, IPCC)公布的碳排放系数折算得出。绿色发展指标体系数据来自《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。个别缺失值由插值法补齐。

## 2 能源消费与绿色发展水平测度分析

根据能源消费与绿色发展综合指标体系,采用熵值法计算 2006—2021 年能源消费与绿色发展水平的综合得分。图 1 和图 2 更直观地展现能源消费与绿色发展的时空演变情况。

在能源消费方面,2006—2021 年能源消费水平整体呈增长趋势,能源消费综合得分从 2006 年的 0.17 提高到 2021 年的 0.25,增长了 43.25%。表明在“十一五”起的 16 年间,非化石能源的发展取得显著成效,能源消费结构不断优化,能源消费效率也有所提升。其中 2010 年的能源消费水平增长率

表 2 绿色发展综合指标评价体系

| 目标层  | 准则层              | 指标层                                                    | 属性 | 权重/%  |
|------|------------------|--------------------------------------------------------|----|-------|
| 绿色发展 | 科技创新<br>(58.62%) | 规上工业企业 R&D 人员<br>占城镇单位就业人员数<br>比例/%                    | 正  | 3.56  |
|      |                  | 规上工业企业 R&D 经费<br>占主营业务收入比例/%                           | 正  | 10.40 |
|      |                  | 规上工业企业新产品销售<br>收入占主营业务收入<br>比例/%                       | 正  | 17.54 |
|      |                  | 技术市场成交额/万元                                             | 正  | 15.58 |
|      |                  | 国内专利申请授权量/件                                            | 正  | 11.55 |
|      | 经济增长<br>(21.54%) | 人均 GDP/元                                               | 正  | 2.88  |
|      |                  | 城镇人均可支配收入/元                                            | 正  | 3.27  |
|      |                  | 农村人均可支配收入/元                                            | 正  | 3.28  |
|      |                  | 人均社会消费品零售<br>额/元                                       | 正  | 3.31  |
|      |                  | 固定资产投资增长率/%                                            | 正  | 0.23  |
|      |                  | 外贸依存度/%                                                | 正  | 6.37  |
|      |                  | 第三产业增加值占 GDP<br>比例/%                                   | 正  | 2.22  |
|      | 资源利用<br>(8.71%)  | 人均水资源量/( $\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$ )            | 正  | 7.32  |
|      |                  | 单位 GDP 能耗/( $\text{t}$ 标准<br>煤· $\text{万元}^{-1}$ )     | 负  | 0.26  |
|      |                  | 单位 GDP 水耗/( $\text{m}^3 \cdot \text{万}$<br>元 $^{-1}$ ) | 负  | 0.13  |
|      |                  | 耕地面积/(千 $\text{hm}^2$ )                                | 负  | 0.46  |
|      |                  | 城市建设用地面积/<br>千 $\text{hm}^2$                           | 负  | 0.54  |
|      | 环境质量<br>(7.39%)  | 工业固体废物综合利<br>用率/%                                      | 正  | 1.55  |
|      |                  | 城市生活垃圾无害处<br>理率/%                                      | 正  | 0.72  |
|      |                  | 城市污水集中处理率/%                                            | 正  | 0.70  |
|      |                  | 环境保护投资额占 GDP<br>比例/%                                   | 正  | 2.76  |
|      |                  | 工业废水排放量/万 t                                            | 负  | 0.56  |
|      |                  | 工业二氧化硫排放量/万 t                                          | 负  | 0.73  |
|      |                  | 工业烟(粉)尘排放量/万 t                                         | 负  | 0.37  |
|      | 绿色生活<br>(3.73%)  | 城市人口密度/( $\text{人} \cdot \text{km}^{-2}$ )             | 负  | 0.40  |
|      |                  | 每万人拥有公共交通车<br>辆/标台                                     | 正  | 1.72  |
|      |                  | 建成区绿化覆盖率/%                                             | 正  | 0.65  |
|      |                  | 人均公园绿地面积/( $\text{m}^2 \cdot$<br>人 $^{-1}$ )           | 正  | 0.96  |

最高,达到了 6.23%,可能的原因在于 2009 年召开的联合国气候变化峰会与国务院常务会议提出要大力发展可再生能源,因此 2010 年能源消费结构显著改善。分地区来看,2006—2021 年东部、中部、西部、东北四大地区能源消费综合得分均值由高到低进行排序依次为西部地区(0.24)、东部地区(0.20)、中部地区(0.18)、东北地区(0.17)。西部地区的能源消费综合得分稳定高于其他地区,主要原因在于山西、内蒙古、新疆等部分西部地区人口

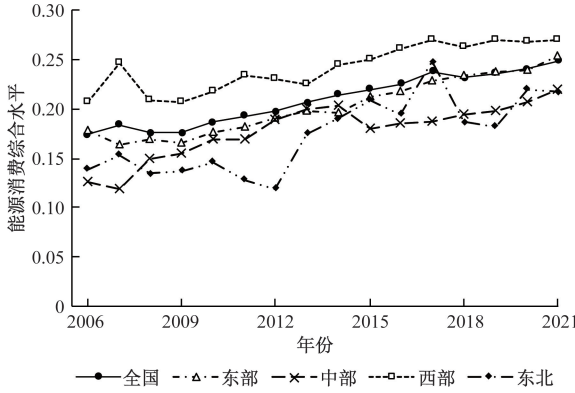


图 1 2006—2021 年全国与各地区能源消费水平

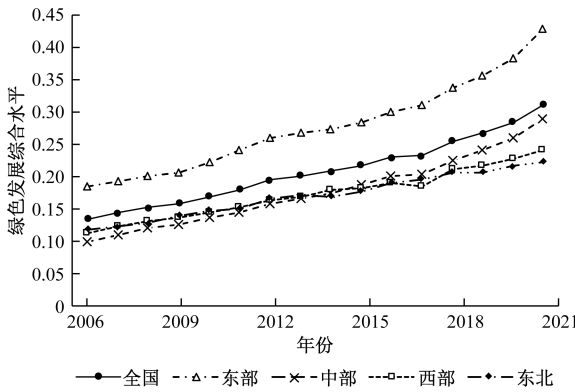


图 2 2006—2021 年全国与各地区绿色发展水平

密集度相对不高,均属于能源净调出省份,且风能、太阳能等非化石能源资源较为丰富,因此,西部地区的能源消费结构中可再生能源消费占比较大,能源消费综合得分稳定在较高水平。

在绿色发展方面,2006—2021 年绿色发展水平呈快速增长的趋势,从全国整体来看,绿色发展综合得分从 2006 年的 0.13 增长到 2021 年 0.22,增长了 69.23%。其中 2021 年绿色发展的增长率最高,与 2020 年相比增长了 9.40%,由于“十三五”规划中明确提出绿色发展理念,2016—2021 年生态环境明显改善,因此在此期间,绿色发展水平的增速整体较快,平均年增速达到了 5.67%。分地区来看,2006—2021 年东部、中部、西部、东北地区的绿色发展综合得分均值由高到低的排序依次为东部地区(0.28)、中部地区(0.18)、西部地区(0.17)、东北地区(0.17)。东部地区绿色发展水平稳定高于其他地区,其他地区的绿色发展水平差别不大,可能的原因在于东部地区多为经济较为发达的城市,教育资源水平较高,在经济增长与科技创新方面领先于其他地区,在经济增长达到一定水平后,也更加重视经济发展与生态环境的协调,因此,东部地区的绿色发展水平处于稳定领先状态。

### 3 能源消费与绿色发展耦合协调水平测度分析

采用耦合协调模型进一步计算能源消费与绿色发展的耦合协调程度,为方便观察,表3中仅展示了2006—2021年全国以及四大区域的能源消费与绿色发展的耦合协调度。

表3 2006—2021年能源消费与绿色发展的耦合协调度

| 地区 | 2007年 | 2009年 | 2011年 | 2013年 | 2015年 | 2017年 | 2019年 | 2021年 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 全国 | 0.39  | 0.40  | 0.42  | 0.44  | 0.46  | 0.47  | 0.49  | 0.52  |
| 东部 | 0.41  | 0.42  | 0.45  | 0.47  | 0.49  | 0.51  | 0.53  | 0.57  |
| 中部 | 0.33  | 0.36  | 0.38  | 0.41  | 0.42  | 0.44  | 0.46  | 0.50  |
| 西部 | 0.41  | 0.40  | 0.42  | 0.44  | 0.45  | 0.46  | 0.48  | 0.50  |
| 东北 | 0.37  | 0.37  | 0.37  | 0.41  | 0.43  | 0.46  | 0.44  | 0.47  |

从全国来看,2006—2021年能源消费与绿色发展的整体耦合协调水平呈平稳增长的状态,2006年能源消费与绿色发展耦合协调度为0.38,属于低度协调阶段,2021年能源消费与绿色发展耦合协调度达到了0.52,属于中度协调阶段,总增长幅度为36.88%。相比于能源消费水平与绿色发展水平的增长程度,二者耦合协调度的增长较为缓慢,表明二者耦合协调度的发展仍具有较大的提升空间。

从区域层面进行分析,能源消费与绿色发展的耦合协调水平在空间分布上具有“东高、中西低”的特点。2006—2021年东部、中部、西部、东北四大地区能源消费与绿色发展耦合协调均值由高到低进行排序依次为东部地区(0.48)、西部地区(0.44)、中部地区(0.41)、东北地区(0.41)。东部地区的耦合协调水平整体较高,在研究期间一直处于中度协调阶段,在2021年耦合协调度为0.57,与2006年相比增长了37.58%。其次是西部地区,从2007年起开始从低度协调阶段迈入中度协调阶段。而中部地区的能源消费与绿色发展耦合协调水平较低,从2012年起开始从低度协调阶段发展为中度协调阶段,但是中部地区耦合协调度的增长较快,平均年增长率为2.84%,在2021年中部地区的耦合协调度已经与西部地区的耦合协调度相同。东北地区与中部地区的耦合协调水平大致相同且波动相对较大。

从省域层面进行研究,2006年大部分省份的能源消费与绿色发展的耦合协调水平均属于低度协调阶段,处于中度协调阶段的省有9个,主要是位于东部地区的省份。2021年,大部分省已经步入中度协调阶段,北京、浙江和四川已发展为高度协调阶段,仅有山西省仍处于低度协调阶段。省域层面的

分析表明,各省份的能源消费与绿色发展的耦合协调主要集中在低度协调与中度协调阶段,没有处于濒临失调与优质协调的省市,说明各省份的能源消费与绿色发展的耦合协调整体较为集中,发展空间较大。

### 4 能源消费与绿色发展耦合协调度的区域差异程度与来源

通过对各区域与各省份能源消费与绿色发展的耦合协调水平的分析可知,能源消费与绿色发展的耦合协调度存在明显的时间与空间的差异,为了准确分析不同时间的区域差异程度以及差异来源,采用Dagum基尼系数及其分解对东、中、西、东北地区的能源消费与绿色发展耦合协调度的区域差异进行测算与分解,结果如表4所示。

图3(a)刻画了2006—2021年能源消费与绿色发展耦合协调度总体与东部、中部、西部、东北四大地区能源消费与绿色发展耦合协调度的基尼系数变动情况。可以看出,能源消费与绿色发展耦合协调度的空间分异表现为下降趋势。从全国总体来看,样本期间能源消费与绿色发展耦合协调度的基尼系数从0.093下降到0.073,平均每年下降1.51%,其中在2013年时基尼系数的下降幅度最大。从东部、中部、西部以及东北地区的空间分异程度来看,均值从高到低排序为中部地区(0.075) > 东部地区(0.071) > 西部地区(0.069) > 东北地区(0.032)。从变化程度来看,全国总体的基尼系数呈先下降后回升再下降的趋势,其中东北地区的变动程度最大,2021年与2006年相比下降了60.61%,东部地区的变动程度最小,仅下降了15.58%。以上结果表明,在考察期内各地区的能源消费与绿色发展的耦合协调度的空间分异程度均有所减小,但各地区内空间分异程度的下降与波动幅度存在差异。

图3(b)显示了2006—2021年各区域间能源消费与绿色发展耦合协调度的基尼系数变动情况。结果表明,样本期内东部与中部间的基尼系数均值最大(0.088),东部与东北间基尼系数均值为0.079,东部与西部间的基尼系数均值为0.077,可见,东部与其他地区间的基尼系数较大。而地区间基尼系数最小的是西部与东北地区之间,为0.066。在变动趋势方面,地区之间的基尼系数均呈现减小的趋势,全国年均降幅2.17%,说明空间分异程度在逐渐缩小。其中基尼系数下降程度最大的是中部与西部地区之间,平均每年减小2.29%。

表 4 2006—2021 年全国与四大区域能源消费与绿色发展耦合协调度的基尼系数以及贡献率

| 年份   | G    | 区域内基尼系数 |      |      |      | 区域间基尼系数 |      |      |      |      |      | 贡献率/% |       |       |
|------|------|---------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|      |      | 东部      | 中部   | 西部   | 东北   | 东-中     | 东-西  | 东-东北 | 中-西  | 中-东北 | 西-东北 | 区域内   | 区域间   | 超变密度  |
| 2006 | 0.09 | 0.08    | 0.08 | 0.08 | 0.03 | 0.10    | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 25.04 | 48.41 | 26.55 |
| 2007 | 0.09 | 0.07    | 0.07 | 0.08 | 0.02 | 0.10    | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 24.24 | 45.67 | 30.09 |
| 2008 | 0.09 | 0.07    | 0.09 | 0.07 | 0.02 | 0.10    | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 24.84 | 41.60 | 33.56 |
| 2009 | 0.08 | 0.07    | 0.09 | 0.06 | 0.04 | 0.09    | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 24.86 | 38.97 | 36.18 |
| 2010 | 0.09 | 0.07    | 0.10 | 0.07 | 0.03 | 0.10    | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 24.70 | 38.14 | 37.15 |
| 2011 | 0.09 | 0.08    | 0.09 | 0.08 | 0.02 | 0.10    | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | 25.58 | 41.84 | 32.58 |
| 2012 | 0.09 | 0.08    | 0.08 | 0.08 | 0.02 | 0.10    | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 25.60 | 40.84 | 33.56 |
| 2013 | 0.08 | 0.08    | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 0.09    | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 25.72 | 36.92 | 37.35 |
| 2014 | 0.08 | 0.08    | 0.09 | 0.06 | 0.05 | 0.09    | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 26.05 | 32.62 | 41.33 |
| 2015 | 0.08 | 0.08    | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.08    | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 26.36 | 38.88 | 34.76 |
| 2016 | 0.08 | 0.07    | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.08    | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 26.18 | 39.15 | 34.67 |
| 2017 | 0.07 | 0.07    | 0.05 | 0.07 | 0.04 | 0.08    | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 26.13 | 41.13 | 32.74 |
| 2018 | 0.07 | 0.06    | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.07    | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 25.81 | 47.28 | 26.92 |
| 2019 | 0.08 | 0.07    | 0.06 | 0.07 | 0.03 | 0.08    | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 25.90 | 47.40 | 26.70 |
| 2020 | 0.07 | 0.07    | 0.06 | 0.07 | 0.01 | 0.07    | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 26.84 | 43.13 | 30.03 |
| 2021 | 0.07 | 0.07    | 0.06 | 0.06 | 0.01 | 0.07    | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 25.24 | 49.08 | 25.69 |

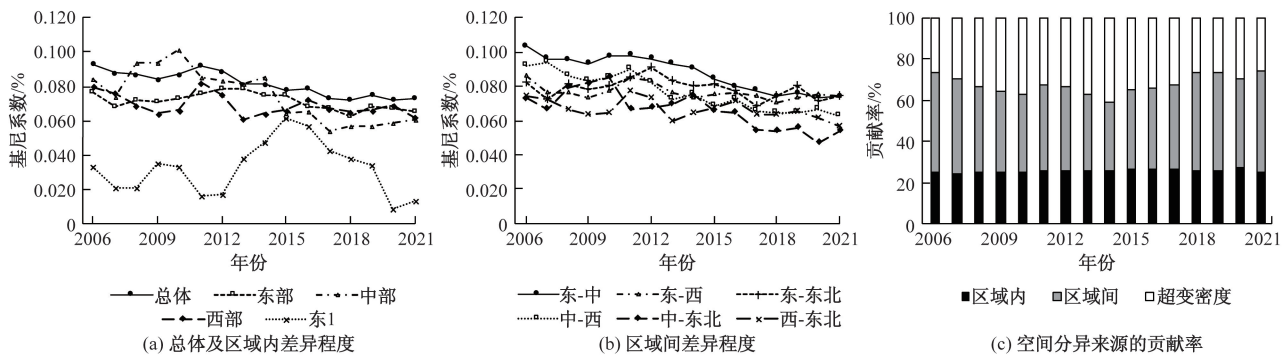


图 3 中国能源消费与绿色发展耦合协调度的基尼系数与贡献率变动情况

图 3(c)展示了 2006—2021 年基尼系数分解项对整体基尼系数的贡献率变化情况。可以看出,区域间的基尼系数贡献率最大,平均贡献率为 41.94%,呈现先减小后增加的趋势。其次是超变密度对整体分异程度的贡献率,均值为 32.49%,而区域内的分异程度对整体分异大小的贡献率最小,为 25.57%,且各年份之间差别不大。该结果表明区域间的分异是我国能源消费与绿色发展耦合协调度空间分异的主要来源,其次是超变密度,即能源消费与绿色发展的耦合协调在不同区域的交叠程度。

综合以上分析可以得出,无论是区域内还是区域间的基尼系数在 2006—2021 年均呈现下降的趋势。中部地区内部空间分异程度最大,东部与其他三个地区的差异程度均较大,且能源消费与绿色发展耦合协调度空间分异的主要来源为区域间的差异。因此,减小区域间的差异,特别是缩小东部地区与其他地区的耦合协调度差异,并且协调中部地

区内部各省份的耦合协调发展,是推动能源消费与绿色发展进一步协调的重点。

5 结论与建议

5.1 结论

首先,本文采用熵值法测算 2006—2021 年 30 个省份的能源消费与绿色发展综合水平,计算出二者的耦合协调度,并分析耦合协调发展的时空分异。其次,通过计算 Dagum 基尼系数及其分解,厘清能源消费与绿色发展耦合协调度的差异来源,最终得出以下结论:①中国的能源消费与绿色发展综合水平在 2006—2021 年均呈现增长趋势,能源消费水平西部地区较为领先,绿色发展水平则是东部地区较为领先。②二者的耦合协调度同样为稳步增长的趋势,整体从低度协调阶段(0.38)达到中度协调阶段(0.52),呈现“东高、中西低”的局面。大部分省份的能源消费与耦合协调度均处于低度和中度耦合协调,个别省份达到高度协调阶段。③能源消费与绿色发展耦合协调度的总体基尼系数呈逐

年下降的趋势,从 0.093 下降到 0.073。区域内基尼系数总体也呈现下降趋势。东部地区与其他地区的区域间基尼系数较大,从分异程度的贡献率来看,区域间基尼系数对分异的贡献率最大。

## 5.2 建议

(1)推进能源低碳转型,提升绿色发展水平。能源消费与绿色发展水平呈逐步增长的趋势,但区域间的不均衡性仍较为突出。在能源消费方面,大力发展可再生能源,加强能源领域的技术创新。加大对太阳能、风能、水能等可再生能源发电项目的投资与建设,在确保生态环境不受破坏的前提下,合理规划与开发,充分释放可再生能源蕴含的巨大能量。在技术创新方面,加大对科研的投入力度,鼓励高校、科研机构与企业开展深度合作,聚焦于能源高效转化、储能技术发展与智能电网建设等关键技术难题进行联合攻关。在绿色发展方面,推动产业集群的绿色化发展,加强环境保护与生态修复,引导绿色消费。针对传统产业集群,积极引入清洁生产技术与工艺,促使产业逐步向资源节约、环境友好的绿色产业集群升级。在环境保护方面,严格执行环境法律法规,加强对企业污染排放的监管力度,切实改善环境质量。广泛传播绿色消费理念,提高公众对绿色消费的认知度与认同感。

(2)提高耦合协调发展增速,促进二者深度融合。能源消费与绿色发展耦合协调水平虽表现增长趋势,但总体仍处于中低协调水平并且增速较低,处于高度、优质协调的省份较少,仍有进一步提高二者耦合协调度的空间。一方面,制定相应的政策和激励措施来推动新能源的发展和应用,加强对能源企业的监督与技术引导,推进能源可持续利用,倡导能源企业开展“绿色供应链”建设,鼓励企业积极参与绿色科技的研发与应用,在加速能源消费低碳化、高效化发展的同时,为绿色发展提供可持续的动力来源。另一方面,可以建立可行的绿色标准体系,开发绿色市场,同时推动消费市场的消费结构转型与创新,引导消费者从根本上改变对资源的使用和消费方式,促进能源消费的优化。

(3)着力缩小区域间的差异,因地制宜制定发展策略。能源消费与绿色发展耦合协调度在空间上呈现“东高、中西低”的特点,东部地区与其他地区的区域间基尼系数也较大,且产生空间差异的主要来源为区域间基尼系数。因此,根据不同地区的资源条件与实际情况采取有针对性的措施。东部地区经济基础较为发达,基础设施较为完善,能源

消费与绿色发展的协同共进取得了较为突出的成效,注重产业结构的优化升级,绿色技术的研发与应用。然而,中西部地区由于多种因素的限制,在这一耦合协调进程中相对滞后,对中西部地区采取重点倾斜,加强地方自然环境保护,充分利用中西部地区的资源禀赋,发展绿色产业,因地制宜鼓励和推广当地适合的节能技术与设备,吸引企业与科研单位在中西部地区开展创新活动,着力缩小中西部地区与东部地区的发展差距。

## 参考文献

- [1] 刘章发, 高建刚, 何丽娜. 中国经济增长、能源消费与二氧化碳排放互动关系研究——基于面板 VAR 的实证分析[J]. 重庆社会科学, 2023(9): 111-124.
- [2] AHMED M B, QIANNAN Z, VIKAS K, et al. Renewable energy consumption and economic growth nexus: a systematic literature review[J]. Frontiers in Environmental Science, 2022, 10: 878394.
- [3] 钟海, 胡燕子. 中国的可再生能源消费对经济增长的非线性影响[J]. 中央财经大学学报, 2021(4): 77-92.
- [4] 彭智敏, 吴晗晗. 长江经济带能源消费、生态环境污染与产业转型升级[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(8): 1694-1704.
- [5] 李晓敏, 刘世哲, 薛栋. 可再生能源发展对碳排放的影响效应研究[J]. 软科学, 2024, 38(12): 86-92.
- [6] REDDY S P, UMER S, BUHARI D. The role of environmental technology for energy demand and energy efficiency: evidence from OECD countries[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022, 153: 111735.
- [7] WANG H T, XU Y, HE Y, et al. How does internet development affect energy-saving and emission reduction? Evidence from China [J]. Energy Economics, 2021, 103: 105577.
- [8] 李宇芳. 绿色技术创新对能源利用效率的影响效应研究[D]. 太原: 山西财经大学, 2023.
- [9] 林伯强, 占妍泓, 孙传旺. 面向碳中和的能源供需双侧协同发展研究[J]. 治理研究, 2022, 38(3): 24-34.
- [10] 嵇娟, 陈军飞, 邓梦华, 等. 绿色发展下长三角地区水-能源-粮食-生态系统仿真和优化研究[J]. 软科学, 2023, 37(5): 105-114.
- [11] 李进秋, 黄德春, 黄寅文. 中国水资源-能源-粮食绿色发展耦合协调效应及其空间效应[J]. 科技管理研究, 2022, 42(7): 196-204.
- [12] 李治国, 李兆哲, 高玮浓. 黄河流域城市群能源-经济-环境-科技耦合协调水平评价[J]. 统计与决策, 2023, 39(18): 88-91.
- [13] 周兵, 李艺. 绿色金融与技术创新耦合协调对低碳经济发展的影响[J]. 经济与管理研究, 2024, 45(3): 3-22.
- [14] 李双成, 王巧玲, 刘迎陆. “双碳”目标下的中国可再生能源发展: 机遇与挑战[J]. 气候与环境研究, 2024, 29

- (3): 390-398.
- [15] 庄贵阳. 深入推进生态文明建设和绿色低碳发展[J]. 人民论坛, 2024(5): 42-45.
- [16] 郭敏晓. 能源转型推动生态环境持续改善[J]. 中国能源, 2024, 46(3): 63-69.
- [17] 王素凤, 洪剑涛, 李化夫. 中国城市能源消费碳排放影响因素的时空异质性[J]. 世界地理研究, 2024, 33(8): 102-116.
- [18] 李创, 叶露露, 王丽萍. 新能源汽车消费促进政策对潜在消费者购买意愿的影响[J]. 中国管理科学, 2021, 29(10): 151-164.
- [19] 吴晟, 武良鹏, 赵湘莲. 绿色信贷政策对制造业外部融资、经济增长和能源消费的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(3): 96-107.
- [20] 李林汉, 袁野, 田卫民. 中国省域数字经济与实体经济耦合测度——基于灰色关联、耦合协调与空间关联网络的角度[J]. 工业技术经济, 2022, 41(8): 27-35.
- [21] 印玺, 胡健. 中国省域能源绿色发展评价及时空特征研究[J]. 统计与信息论坛, 2023, 38(7): 75-86.
- [22] 方应波. 我国绿色发展水平评价及时空演变特征分析[J]. 统计与决策, 2022, 38(20): 54-58.
- [23] 柳亚琴, 孙薇, 朱治双. 碳市场对能源结构低碳转型的影响及作用路径[J]. 中国环境科学, 2022, 42(9): 4369-4379.

# Measurement of Coupling Coordination Level between Energy Consumption and Green Development and Analysis of Regional Differences

LIU Shenying

(School of Economics, South-Central Minzu University, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** On the basis of constructing an evaluation index system for energy consumption and green development level, the entropy method, coupling coordination degree model, Dagum Gini coefficient and its decomposition were used to calculate the coupling coordination level of energy consumption and green development in 30 provinces(due to the lack of data, the statistical data mentioned here do not include the Tibet Autonomous Region, the Hong Kong Special Administrative Region, the Macao Special Administrative Region and Taiwan Province) of China from 2006 to 2021, and the regional differences in coupling coordination level among different regions were analyzed in depth. Research shows that the overall level of coupling and coordination between energy consumption and green development in China is on the rise, but the western region leads in energy consumption, while the eastern region leads in green development. The coupling coordination level between energy consumption and green development shows an increasing trend, with the overall level shifting from low coordination to moderate coordination, presenting a situation of “high in the east and low in the middle and west”. The overall difference in the coupling coordination between energy consumption and green development in the four major regions of East, Central, West and Northeast China is gradually narrowing, and the main source of the difference is regional differences. Reference is provided for promoting the deep integration of energy consumption and green development, and achieving the “dual carbon” goal.

**Keywords:** energy consumption; green development; coupling coordination; spatiotemporal differentiation