

# 中国碳减排整体成熟度及区域差异比较研究

王怡<sup>1</sup>

(东北石油大学 经济管理学院, 黑龙江 大庆 163318)

**【摘要】:** 运用灰色关联度分析方法和距离协调度模型, 选取产值碳排放强度、能耗碳排放强度和产值能耗强度指标作为碳排放成熟度的基础测算指标, 构建了碳减排发展度、协调度和协调发展度指数。基于中国 30 个省份 2000—2019 年的数据, 从分省份和整体两方面对中国碳减排成熟度进行了综合评价。结果表明: 各省份碳减排三个相对指数具有明显的区域差异, 东部区域整体水平普遍高于东北部、中部和西部区域, 西部区域碳减排相对指数平均水平较低, 各省份相对发展度指数普遍高于相对协调度指数。中国碳减排整体发展度指数水平高于协调度水平和协调发展度水平, 协调度指数对协调发展度指数具有较大影响力, 整体协调发展度水平提升主要受制于产值能耗强度和能耗碳排放强度协调水平。针对研究结果, 应优化区域经济结构, 缩小区域经济差异; 依靠技术创新驱动, 提高能源利用效率; 优化能源消费结构, 推进低碳能源高效替代。

**【关键词】:** 碳减排 成熟度指数 相对发展度指数 相对协调度指数

**【中图分类号】:** F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)09-013-08

20 世纪 90 年代以来, 中国经济持续高速增长的同时, 化石能源消费和温室气体排放也快速上升, 经济发展与生态环境保护之间的矛盾日益突出。在 2020 年第七十五届联合国大会一般性辩论上, 习近平主席正式宣布: “中国将提高国家自主贡献力度, 采取更加有力的政策和措施, 二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和。”作为全球温室气体排放量最多的国家, 中国近年来推行了一系列节能减排措施, 2019 年碳排放强度与 2005 年相比下降了 46%, 提前 3 年实现了 2020 年碳排放强度下降 40%~45% 的目标。但与发达国家相比, 中国在清洁生产技术、能源消耗强度、碳减排等方面还有较大的改进空间。

中国的经济增长速度、技术进步、能源利用效率等因素直接或间接影响 2030 年前碳排放达峰目标的实现, 不同区域间经济发展水平、能源消费总量和能源利用效率、低碳技术、生态环境治理等方面都存在显著差异, 中国节能减排战略实施面临巨大挑战。当前中国各省份碳减排相对发展水平如何? 不同区域间碳减排状况是一致还是具有显著差异? 中国碳减排整体相对发展水平和趋势如何? 区域格局在多大程度上影响中国碳减排的整体水平? 上述问题的研究对把握中国碳减排具体状况以及相关政策制定有重要的理论和实践意义。

近年来, 越来越多的学者对中国碳排放问题展开了实证研究。例如, Wang 等<sup>[1]</sup>对中国 1957—2000 年二氧化碳排放进行分解, 发现当前能源强度下降的最重要因素是节能技术, 而可再生能源使用和能源结构的作用不明显。主春杰等<sup>[2]</sup>将二氧化碳排放总量的变化进行分解, 研究发现中国二氧化碳大幅度减排的主要原因在于能源环境政策对环境保护提供了良好的政策环境。李健和周慧<sup>[3]</sup>选用 2001—2008 年全国及 28 个主要省域的碳排放总量等数据, 运用灰色关联分析方法研究了中国碳排放强度与三次产业的关联度, 研究结论表明第二产业是影响地区碳排放强度的主要因素。董昕灵和张月友<sup>[4]</sup>借助 Kaya 恒等式与增长核算公式, 对影响中国 1995—2016 年产业碳排放强度变化的产业结构效应从生产要素层面分解, 表明全要素生产率、资本和劳动投入变化通

**作者简介:** 王怡, 博士, 教授, 研究方向为规制经济学、区域经济可持续发展。E-mail: dqwangyi@126.com;

**基金项目:** 黑龙江省哲学社会科学基金项目“协同治理视阈下黑龙江省污染防治和生态环境保护机制研究”(19JYE264)

过影响经济总量的变化,进而影响某产业的产业结构变化,最终影响碳排放强度变化。杨顺顺<sup>[5]</sup>认为中国碳排放与经济增长间经历了“弱脱钩—扩张连接—弱脱钩”的变化历程,碳排放增长的主要助长性因素是经济增长效应,其次是人口规模效应;主要抑制性因素是能源强度效应;能源结构效应影响相对较小,但其负贡献增长速度较快。还有学者从碳减排成熟度对中国碳减排展开研究,例如,王文举和李峰<sup>[6]</sup>从 Kaya 恒等式出发,运用灰色关联度分析方法和距离协调度模型,测算了中国 2003—2012 年工业碳减排成熟度;陈晓东等<sup>[7]</sup>对 2008—2015 年内蒙古节能减排成熟度进行测算;程凯<sup>[8]</sup>对中国 2006—2015 年各省份流通业碳减排成熟度效应进行了测算。

可以看出,当前研究较多侧重运用各种分解技术或回归分析对碳排放强度驱动因素展开研究,缺少对中国碳减排水平测度的研究;较多研究侧重测算某一行业或某一省份碳减排成熟度,缺少对中国不同区域间碳减排成熟度的比较研究。本文在诸位学者研究的基础上,以中国 30 个省份 2000—2019 年数据为基础,从分区域和整体两个层面对中国碳减排成熟度进行综合评价和分析,以期为更好把握我国碳排放规律和实现碳减排目标提供决策参考。

## 1 碳减排相对成熟度测算方法和数据处理

美国学者 Humphrey & Sweet<sup>[9]</sup>自 1987 年提出“软件能力成熟度模型”以来,“成熟度”概念已经被广泛应用到各个领域。成熟度指研究对象与其完美状态的相对值,王文举和李峰<sup>[6]</sup>将成熟度划分为发展度、协调度和协调发展度三方面。所谓发展度是指研究对象由低级阶段向高级阶段的提升程度,协调度是指研究对象内部子系统之间相互配合、相互协调的程度,协调发展度是指研究对象发展水平和协调水平的平衡发展状况。将上述成熟度涉及三个概念引入碳减排成熟度中,构建碳减排相对发展度、碳减排相对协调度和碳减排相对协调发展度三个衡量指标。其中,区域碳减排相对发展度衡量区域产值碳减排强度发展水平,反映区域碳减排整体状况;区域碳减排相对协调度衡量区域产值能耗强度和能耗碳排放强度的协调水平,反映碳减排驱动要素之间的协调状况;区域碳减排相对协调发展度衡量区域碳减排相对发展水平和相对协调水平之间协调发展的整体水平,反映区域碳减排整体水平与协调水平的综合平衡情况。在此基础上,碳减排整体发展度、碳减排整体协调度和碳减排整体协调发展度分别衡量中国碳减排整体发展和协调水平。本文从区域碳减排成熟度和碳减排整体成熟度两方面展开研究。

### 1.1 测算方法

Kaya 恒等式是将碳排放分解为人口、人均 GDP、能源消耗强度和能耗碳排放强度来解释人类活动与碳排放关系的数学方程式,表明碳排放问题不仅属于经济增长问题,也是能源消耗总量和能源消费结构问题。为研究碳排放与经济增长、能源消耗之间的逻辑关系,将 Kaya 恒等式转换为:

$$\frac{C}{V} = \left( \frac{E}{V} \right) \times \left( \frac{C}{E} \right) \quad (1)$$

式中: C 为碳排放量, V 为产值, E 为能源消耗量。C/V 为单位产值碳排放量,即产值碳排放强度; E/V 为单位产值能源消耗量,即产值能耗强度; C/E 为单位能耗碳排放量,即能耗碳排放强度。可以看出,产值能耗强度和能耗碳排放强度作为碳减排的驱动因素,共同决定产值碳排放强度的最终成效。三个指标与碳排放水平负相关,数值越小,表明碳排放水平越高;数值越大,表明碳排放水平越低。

### 1.2 数据处理

依据式(1)测算碳减排成熟度三个衡量指标,需要 C、V、E 相应数据作为基础数据,即碳排放量、产值和能源消耗量。本文中相关数据均来自历年的《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》。

(1) 各省份国内生产总值 (GDP)。为消除价格因素影响, 在《中国统计年鉴》中将各省份 GDP 以 2000 年作为不变价基准, 对历年 GDP 进行平减处理, 得出基于 2000 年不变价的各省份历年 GDP 数值, 作为测算产值碳排放强度和产值能耗强度的基础。

(2) 能源消耗总量。能源消耗总量包括能源终端消费量、能源加工转换损失量和能源损失量三部分, 本文选用能源终端消费量作为能源消费总量的代理变量。《中国能源统计年鉴》中各省份历年能源消费总量作为本文测算产值能耗强度和能耗碳排放强度指标依据, 其单位为统一的热量单位 (万吨标准煤)。

(3) 碳排放量。借鉴 IPCC 及国内学者的研究, 碳排放量测算公式为:

$$C = \sum (Q_i \times B_i \times C_i) \quad (2)$$

式中:  $C$  为碳排放量;  $Q_i$  为第  $i$  类能源消耗量, 包括煤炭、石油和天然气;  $B_i$  为第  $i$  类能源折标煤系数, 依据《中国能源统计年鉴》中各能源折标煤系数进行折算;  $C_i$  为第  $i$  类能源碳排放系数, 采用国内外相关研究机构给出的系数平均值作为计算碳排放量排放系数, 煤炭、石油和天然气的平均排放系数分别为 0.72、0.55 和 0.42。

## 2 碳减排成熟度模型

对三个碳减排相对指数的构建, 本文使用邓氏灰色关联度模型来进行测量。邓氏灰色关联度是根据序列曲线几何形状的相似性程度来测量因素间关联的紧密程度。实际测算中, 需要明确参考序列和比较序列, 通过关联度模型测算比较序列与参考序列之间的关联度系数。系数越大, 表明比较序列与参考序列关联度越大。通常情况下, 会选择最优序列作为参考序列, 以此测算的关联度系数越大, 表明比较序列的发展路径与最优序列发展路径越接近, 比较序列的发展水平越高。

### 2.1 区域碳减排相对成熟度指数模型

(1) 各省份相对发展度指数。令评价对象为  $m$  个省份, 比较时期为  $n$  个年份,  $x$  为产值碳排放强度, 第  $i$  个省份的比较序列为  $x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}$ ,  $x_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$  为参考序列。由于产值碳排放强度与碳排放水平负相关, 因此, 参考序列为各省份碳排放强度的最低值, 即  $x_0(k) = \min_{i=1,2,\dots,m} \{x_i(k)\}$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ 。第  $i$  省份第  $k$  年碳减排相对发展度指数为:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{ik} + \rho \Delta_{\max}} \quad (3)$$

式中:  $\rho$  为分辨系数, 依据通常做法取值为 0.5,  $\Delta_{\min} = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$  为整个时期所有比较序列与参考序列绝对差值的最小值,  $\Delta_{\max} = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$  为整个时期所有比较序列与参考序列绝对差值的最大值,  $\Delta_{ik} = |x_0(k) - x_i(k)|$  为第  $k$  年第  $i$  个省份的比较序列与参考序列的绝对差。因此, 碳减排相对发展度指数  $\xi_i(k)$  取值在 0~1 之间, 数值越大, 表明第  $k$  年第  $i$  个省份的碳排放水平越高。

(2) 各省份相对协调度指数。令  $y$  为产值能耗强度,  $z$  为能耗碳排放强度, 运用式 (1) 可以测算基于产值能耗强度和能耗碳排放强度的碳减排相对发展度指数  $f_i(k)$ 、 $\lambda_i(k)$ , 则可得第  $k$  年第  $i$  个省份碳减排相对协调度指数  $\delta_i(k)$ :

$$\delta_i(k) = \sqrt{\phi_i(k) \cdot \lambda_i(k)} \quad (4)$$

(3) 各省份相对协调发展度指数。实际中不同区域不同年份的相对发展度和相对协调度出现不一致现象，即低发展度、高协调度状况，导致协调度指数不能完全反映各参数发展的整体水平情况，需要计算相对发展度和相对协调度的综合指数。

$$\varpi_i(k) = \sqrt{\zeta_i(k) \cdot \delta_i(k)} \quad (5)$$

式中： $\varpi_i(k)$  为第  $k$  年第  $i$  个省份碳减排相对协调发展度指数，取值为 0~1，数值越大，表明第  $k$  年第  $i$  个省份的碳减排相对协调水平和相对发展水平越高。

## 2.2 碳减排整体成熟度指数模型

(1) 碳减排整体发展度指数。将各省份碳减排相对发展度指数进行算术平均可得第  $k$  年碳减排整体发展度指数，计算公式为：

$$D_i(k) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \zeta_i(k) \quad (6)$$

(2) 碳减排整体协调度指数。碳减排整体协调度指数衡量各省份间碳减排的协调水平，但由于区域间的差异导致无法通过对各省份相对协调度指数进行简单算术平均来获得，需要通过距离协调度模型计算整体协调度指数。

第  $k$  年各省份产值碳排放强度比较序列与参考序列的欧氏距离测算公式为：

$$o_k = \sqrt{\sum_{i=1}^m [x_0(k) - x_i(k)]^2} \quad (7)$$

第  $k$  年第  $i$  个省份产值碳排放强度比较序列与参考序列最大的距离测算公式为：

$$q_i = \max_{1 \leq k \leq n} \{|x_0(k) - x_i(k)|\} \quad (8)$$

碳减排整体协调度指数测算公式为：

$$C_k = 1 - \sqrt{(o_k)^2 / \sum_{i=1}^m (q_i)^2} \quad (9)$$

其中， $C_k$  越大，表明各省份之间的碳减排趋同水平越高，整体碳减排协调水平越高。

(3) 碳减排整体协调发展度指数。由前述分析可知，碳减排整体发展水平也存在与整体协调水平不一致现象，单独使用整体发展度指数或整体协调度指数来表征碳减排整体成熟度就比较片面，需要构建碳减排整体协调发展度指数。

$$H_k = \sqrt{D_k \cdot C_k} \quad (10)$$

其中， $H_k$  取值为 0~1。

### 2.3 区域格局对碳减排整体成熟度影响模型

(1) 考虑区域格局的碳减排整体发展度。为体现出区域格局差异对碳减排整体发展度的影响，将各省份 GDP 占全国 GDP 比重系数引入碳减排发展度模型中，构建考虑区域格局的碳减排整体发展度指数模型：

$$D_k^+ = \sum_{i=1}^m \omega_i \zeta_i(k) \quad (11)$$

式中： $\omega_i$  为第  $i$  个省份 GDP 占该年全国 GDP 的比重系数。则区域格局对碳减排整体发展度指数的影响为：

$$\theta = D_k^+ - D_k \quad (12)$$

其中， $\theta$  为正值，表明区域格局对碳减排整体发展度产生促进作用，数值越大，促进作用越强； $\theta$  为负值，表明区域格局对碳减排整体发展度产生不利影响，其绝对值越大，不利影响越大。

(2) 考虑区域格局的碳减排整体协调度。同理，考虑区域格局的产值碳排放强度比较序列与参考序列的欧氏距离测算公式为：

$$o_k^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m [\omega_i x_0(k) - \omega_i x_i(k)]^2} \quad (13)$$

考虑区域格局的产值碳排放强度比较序列与参考序列最大的距离测算公式为：

$$q_i^+ = \max_{1 \leq k \leq n} \{|\omega_i x_0(k) - \omega_i x_i(k)|\} \quad (14)$$

因此，考虑区域格局的碳减排整体协调度指数测算公式为：

$$C_k^+ = 1 - \sqrt{(o_k^+)^2 / \sum_{i=1}^m (q_i^+)^2} \quad (15)$$

区域格局对碳减排整体协调度指数的影响为：

$$\theta = C_k^+ - C_k \quad (16)$$

其中， $\theta$  为正值，表明区域格局对碳减排整体协调度产生促进作用，数值越大，促进作用越强； $\theta$  为负值，表明区域格局对碳减排整体协调度产生不利影响，其绝对值越大，不利影响越大。

(3) 考虑区域格局的碳减排整体协调发展度。考虑区域格局的碳减排整体协调度测算公式为：

$$H_k^+ = \sqrt{D_k^+ \cdot C_k^+} \quad (17)$$

区域格局对碳减排整体协调发展度指数的影响为：

$$\theta = H_k^+ - H_k \quad (18)$$

其中， $\theta$  为正值，表明区域格局对碳减排整体协调发展度产生促进作用，数值越大，促进作用越强； $\theta$  为负值，表明区域格局对碳减排整体协调发展度产生不利影响，其绝对值越大，不利影响越大。

### 3 实证分析<sup>1</sup>

#### 3.1 区域碳减排相对成熟度指数分析

依据中国相关规划和文件，将中国划分为东部、东北部、中部和西部四大经济区域。根据式(3)~(5)计算出2000—2019年中国各省份碳减排相对成熟度，同时按照王文举和李峰<sup>[6]</sup>给出的划分标准，将各指标划分为四个阶段：用I表示非常低水平阶段（指数值大于等于0，小于等于35）；用II表示较低水平阶段（指数值大于35，小于等于70）；用III表示较高水平阶段（指数值大于70，小于等于85）；用IV表示非常高水平阶段（指数值大于85，小于等于100）。

可以看出，经济发展水平、管理体制、地理区位等差异导致中国各省份碳减排成熟度具有明显的区域差异。2000—2019年东部区域整体水平普遍高于东北部、中部和西部区域整体水平，各省份相对发展度指数普遍高于相对协调度指数，除个别省份外，其余省份的三个碳减排相对指数普遍有不同程度提升。经济增长有助于投入更多资金开展生态环境治理，推动节能减排技术创新，降低区域产值能耗强度和能耗碳排放强度，进而降低产值碳排放强度，提高相对发展度指数。但经济增长同时也会加深对煤炭、石油、天然气等传统能源的依赖程度，导致产值能耗强度和能耗碳排放强度，阻碍相对协调度指数提升。

东部区域属于中国经济发达地区，北京、天津、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东相对发展度指数均由较高水平阶段提升到非常高水平阶段，河北则由较低水平阶段提升至较高水平阶段。虽然海南一直处于较高水平阶段，但其发展度指数由2000年的100下降到2019年的87.97。东部地区中北京、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南的相对协调度指数处于较高水平阶段和非常高水平阶段，天津和河北也由2000年的较低水平阶段提升至2019年的较高水平阶段，表明东部地区单位产值能耗和单位能耗碳排放控制较高，二者之间协调状况良好，上述两个指数的综合作用导致东部地区从2004年开始相对协调发展度指数全都处于较高水平阶段，尤其是北京、上海、福建、广东处于非常高水平阶段。

东北地区是中国传统东北老工业基地，传统经济发展模式导致该地区经济增长落后于经济发达省份，2000年辽宁、吉林和黑龙江三省的相对发展度指数处于较低水平阶段，明显低于中国大部分省份。2003年我国政府发布《关于实施东北地区等老工业基地振兴战略的若干意见》以来，东北三省经济增速开始加快，逐步缩小了与全国的发展差距，与此同时，相对发展度指数提升，2007年以来，东北三省相对发展度指数处于高水平阶段。对于相对协调度指数来说，除吉林由较低水平阶段提升至较高水平阶段，辽宁和黑龙江处于“较低水平阶段—较高水平阶段—较低水平阶段”波动，表明产值能耗强度和能耗碳排放强度指标控制不理想，二者的协调程度不高，但在相对发展度的影响下，东北三省的相对协调发展度由较低水平阶段升至较高水平阶段。

对于中部地区来说，山西以煤炭、冶金、建材等能源产业为主的产业结构极大地阻碍了经济发展，也制约了碳减排驱动要素

的提升，导致碳减排三个相对指数一直处于较低水平阶段。2000—2019 年，中部地区其余省份发展度状况比较好，安徽、江西、河南、湖北和湖南相对发展度指数由较高水平阶段提升至非常高水平阶段，2002 年以后，除山西以外的其余中部地区省份的相对协调度都达到较高水平阶段以上，湖南和湖北在某些年份中还达到了非常高水平阶段，表明单位产值能耗和单位能耗碳排放协调水平较好，导致上述省份的相对协调发展度指数处于较好阶段或非常好阶段。

西部地区经济发展不均衡和不充分使得西北地区和西南地区经济发展差距较大，导致西部地区的碳减排三个相对指数之间处于不同水平阶段。2000—2019 年，重庆、四川、云南、广西相对发展度指数一直处于较高水平阶段和非常高水平阶段，节能减排技术的发展促进相对协调度指数不断提升，其相对协调发展度指数由 2000 年的较高水平阶段提升至 2019 年的非常高水平阶段。陕西相对发展度指数一直处于较高水平阶段，相对协调度指数状况不理想，一直处于较低水平阶段，表明陕西单位产值能耗和单位能耗碳排放较高，且二者协调水平较低，但在相对发展度的作用下，相对协调发展度由较低水平阶段提升至较高水平阶段。贵州、甘肃和青海的碳减排三个相对指数都属于由较低水平阶段向较高水平阶段发展。内蒙古、宁夏和新疆自西部大开发后，经济增长速度较快，但经济增长质量、产业结构、综合实力等方面相比其他省份仍存在较大差距，因此导致上述三地的碳减排三个相对指数一直处于较低水平阶段。

除了各省份间碳减排相对指数存在差异，各省份内部碳减排相对指数也存在差异，为进一步说明问题，本文绘制碳减排相对发展水平和相对协调水平所处阶段匹配情况图，如图 1 所示。为研究方便将 I 阶段和 II 阶段合并为低水平阶段，将 III 阶段和 IV 阶段合并为高水平阶段。



图 1 2000 年和 2019 年中国各省份碳减排发展水平和协调水平所处阶段匹配情况

注：横轴为碳减排相对发展度指数，纵轴为碳减排相对协调度指数。

可以看出，2000 年有 13 个省份处于高发展水平—高协调水平阶段，6 个省份处于高发展水平—低协调水平阶段，11 个省份处于低发展水平—低协调水平阶段；2019 年则有 20 个省份处于高发展水平—高协调水平阶段，但仍有 6 个省份处于高发展水平

—低协调水平阶段，4 个省份处于低发展水平—低协调水平阶段。表明中国碳减排整体控制水平不断提高，大部分省份碳减排成熟度都有不同程度的提升，但也有一部分省份存在碳减排发展水平和协调水平不一致现象。

### 3.2 碳减排整体成熟度指数分析

各省份经济和技术发展水平、能耗水平、能源消费结构等因素对中国碳减排整体成熟度指数产生不同程度影响。依据式(6)、(9)、(10) 计算的 2000—2019 年中国碳减排整体成熟度指数及其所处阶段，图 2 为据此绘制的趋势图。

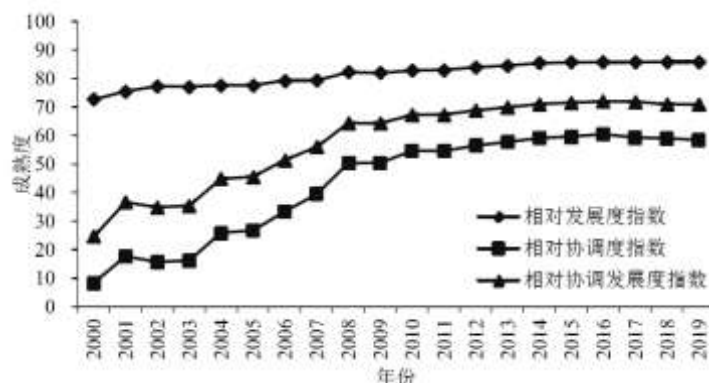


图 2 2000—2019 年中国碳减排整体成熟度指数趋势

可以看出，2000—2019 年中国发展度指数缓慢上升，由较高水平阶段提升至非常高水平阶段。协调度指数总体呈上升趋势，由非常低水平阶段提升至较低水平阶段，具体可以划分为三个阶段：2000—2003 年，协调度曲线上下波动，单位能耗碳排放与单位产值能耗协调状况不理想；2004—2009 年，协调度年平均增长率为 37.7%，协调度曲线斜率增加，单位能耗碳排放与单位产值能耗协调水平不断提升；2010—2019 年，协调度增长速度趋缓，曲线较平稳，2019 年有下降趋势。

协调发展度指数曲线与协调度曲线轮廓类似，表明相对于发展度指数来说，协调度指数对协调发展度指数具有较大影响力，整体协调发展度水平提升主要受制于碳减排相对协调水平。由于整体能耗碳排放强度和产值能耗强度水平较低，使得中国处于高发展水平—低协调水平不均衡阶段，导致 2000—2013 年协调发展度指数处于较低水平阶段，2014 年以后才逐步提升至较高水平阶段。中国碳减排整体协调度处于较低水平阶段，但具有较大提升空间，通过降低单位能耗碳排放强度和单位产值能耗强度，进一步提升相对协调水平，会对中国碳减排整体协调发展水平提升有较大的推动作用。

### 3.3 区域格局对碳减排整体成熟度影响分析

目前，中国不同区域之间经济发展差距逐渐增大，区域经济发展状况对碳排放强度影响不一，例如，崔和瑞等<sup>[10]</sup>认为碳排放强度具有显著动态效应，高碳排放省份的动态锁定效应不容忽视，人均 GDP 与产业结构对碳排放强度具有显著正向效应。李姝<sup>[11]</sup>认为从东部地区、东北部地区、中部地区到西部地区，由于经济发展状况、技术水平和自然资源等因素存在较大差异，导致区域碳排放也存在较大差异。谭灵芝和姜晓群<sup>[12]</sup>认为区域经济结构和经济可持续竞争力是影响省际碳减排强度协调水平产生差距的主要原因。依据式(11)、(15)、(17) 计算所得的 2000—2019 年考虑区域格局中国碳减排整体成熟度指数及其所处阶段。可以看出，除个别年份外，考虑区域格局的中国碳减排整体发展度指数在观测期呈增长趋势，由较高水平阶段提升至非常高水平阶段。协调度指数从非常低水平阶段提升到较低水平阶段，直接导致 2000—2009 年协调发展度指数处于较低水平阶段，2010 年以后提升至较高水平阶段。

在此基础上,依据式(12)、(16)、(18)计算了考虑区域格局的中国碳减排整体成熟度指数差值。总体来看,区域格局对中国碳减排整体成熟度指数测算结果产生了显著的影响。区域格局对碳减排整体发展度指数产生了显著的正向影响作用,但影响作用趋势逐渐下降,表明随着供给侧结构性改革逐步深化,区域间碳减排成熟度差距逐渐缩小,省际间碳减排强度逐渐均衡化。除2005—2008年区域格局对碳减排整体协调度指数产生显著的负向影响以外,其余年份的影响都为正值。结合前述计算的各省份碳减排相对协调度指数,东北部、中部和西部地区部分省份相对协调度指数值较低,不同区域的能耗碳排放强度和产值能耗强度协调水平参差不齐,使得协调度指数差值呈现正负波动。较高的发展度指数和较低的协调度指数导致协调发展度指数差值出现正负波动,区域格局对碳减排整体协调发展度既有正向影响,又有负向影响。当前,相关政策对碳减排成熟度水平较高的东部地区影响越来越弱,需要将政策重点放到提升东北部、中部和西部地区碳减排成熟度上来,缩小不同区域社会、经济、技术等方面差异,不断提升上述区域的协调度指数水平。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本文运用碳减排成熟度模型,从各省份和整体两个层面对2000—2019年中国碳减排发展度、协调度和协调发展度指数进行了综合评价分析,得出以下结论:

(1)中国各省份碳减排成熟度都有不同程度提升,越来越多省份的碳减排发展水平和协调水平趋于一致,表明各省份碳减排控制水平不断提高,但也存在个别省份二者不一致状况,需要加以特别关注。

(2)中国各省份碳减排三个相对指数具有明显的区域差异,东部区域整体水平普遍高于东北部、中部和西部区域,西部区域碳减排相对指数平均水平较低,但各省份相对发展度指数普遍高于相对协调度指数。

(3)中国碳减排整体三个指数不断提升,发展度指数水平高于协调度指数水平和协调发展度指数水平。协调发展度指数曲线轮廓类似协调度指数曲线轮廓,协调度指数对协调发展度指数具有较大影响力,整体协调发展度水平提升主要受制于产值能耗强度和能耗碳排放强度的协调水平。

(4)由于不同区域的经济发展状况、技术水平和自然资源等因素存在较大差异,导致区域格局对中国碳减排整体产生显著影响。其中,区域格局对发展度指数产生显著正向影响。由于不同区域的能耗碳排放强度和产值能耗强度协调水平参差不齐,区域格局对相对协调度指数产生正向、负向波动影响。

### 4.2 政策建议

在前述分析基础上,本文提出以下几点建议:

(1)优化区域经济结构,缩小区域经济差异。东部区域应利用经济发展优势,大力推动高新技术产业、现代服务业、先进制造业发展,加强清洁技术创新和应用,进一步减轻经济发展对生态环境压力,提升碳减排相对协调度。东北部区域要深入实施东北老工业基地振兴战略,发展循环经济,提高资源利用效率,加快资源枯竭型城市转型,走新型工业化道路,降低碳排放总量<sup>[13]</sup>。中部区域在保护生态环境的前提下,应细化并落实《促进中部地区崛起规划(2016—2025年)》,强化对传统产业技术改造,建立现代产业体系,提高省际碳减排发展度。西部区域生态环境较为脆弱,在“一带一路”倡议引领下,应结合不同区域条件和优势,实施区域差异化经济发展战略,完善产业空间布局,改善碳排放结构。各区域发展经济的同时,还需要通过区域间合作缩小四大经济区域的经济增长差距。以国家产业转型升级为契机,分阶段、分类型推进区域间经济协调发展,提高不同区域间产业关联性和互补性,构建“区域经济协调发展”和“碳排放综合减量”的联合推动机制,实现省际间、区域间经济差距缩小与碳减排

成熟度提升之间的融合。

(2) 依靠技术创新驱动,提高能源利用效率。加大对低碳技术的扶持力度,提高能源利用效率,有效降低工业企业,尤其是重化工业企业的单位产值能耗强度和单位能耗碳排放强度是提升碳排放成熟度的有效途径。国家政府部门加大低碳技术研发投入,成立国家级节能减排研究机构,积极与国外发达国家开展合作,引进先进低碳技术。在此基础上,各区域“因地制宜”制定符合本地区的科技发展战略,东部区域侧重提高低碳技术创新效率以及新技术的转化和应用,主动承担清洁能源技术和节能减排技术的研发,扮演低碳清洁技术创新、能源高效率利用的领头羊角色<sup>[14]</sup>;东北部、中部和西部区域应加大科技投入和技术人才吸引战略,充分利用技术创新的空间溢出效应,形成与东部区域的良性互动,以高技术区域带动低技术区域发展,实现低碳技术的广泛应用。

(3) 优化能源消费结构,推进低碳能源高效替代。在能源消费结构上,化石能源消费依然占有较大比重,其他可再生能源比重较小,能源消费结构不合理。在不同行业能源消费中,工业能源消费量占能源消费总量比重较大,其他行业能源消费量比重较小,上述问题使得我国的碳减排面临巨大压力。调整优化能源消费结构,要求转变能源生产和消费理念,依靠低碳清洁技术实现化石能源利用的清洁高效;同时降低煤炭、石油消费比重,推进天然气管道网络等基础设施建设,扩大民用、交通运输、工业等利用规模,增加天然气能源消费;建立并完善可再生能源市场机制,依靠市场促进可再生能源的规模化生产和产业化发展,实现新型能源对传统化石能源的高效替代,解锁以煤炭为主的能源结构对碳排放的路径锁定效应<sup>[15]</sup>。

#### 参考文献:

- [1]Wang C,Chen J N, Zou J.Decomposition of energy-related CO<sub>2</sub>emission in China:1957-2000[J].Energy,2005,30(1):73-83.
- [2]主春杰,马忠玉,王灿,等.中国能源消费导致的CO<sub>2</sub>排放量的差异特征分析[J].生态环境,2006(5):1029-1034.
- [3]李健,周慧.中国碳排放强度与产业结构的关联分析[J].中国人口·资源与环境,2012(1):7-14.
- [4]董昕灵,张月友.中国碳强度变化因素再分解的理论与实证[J].软科学,2019(9):75-80.
- [5]杨顺顺.中国碳排放轨迹特征、驱动因素及减排策略[J].环境科学与技术,2020(1):98-104.
- [6]王文举,李峰.中国工业碳减排成熟度研究[J].中国工业经济,2015(8):20-34.
- [7]陈晓东,常少观,金碚.区域节能减排成熟度与经济发展研究——以内蒙古为例[J].区域经济评论,2016(6):99-106.
- [8]程凯.中国流通业碳排放成熟度研究[D].长沙:湖南大学,2018.
- [9]Humphrey W S,Sweet W L.A method for assessing the software engineering capability of contractors[R].USA,SEI Technical Report(SEI-87-TR-23),1989.
- [10]崔和瑞,王浩然,赵巧芝.基于动态面板模型的中国区域碳排放影响因素研究[J].科技管理研究,2019(12):238-244.
- [11]李姝.中国区域碳排放强度及其影响因素的空间计量经济分析[D].北京:北京交通大学,2019.

---

[12]谭灵芝,姜晓群.我国省际碳减排强度收敛检验及协调发展路径研究[J].河北经贸大学学报,2020(5):58-71.

[13]陈诗一.中国各地区低碳经济转型进程评估[J].经济研究,2012(8):32-44.

[14]孙叶飞,周敏.中国能源消费碳排放与经济增长脱钩关系及驱动因素研究[J].经济与管理评论,2017(6):21-30.

[15]李干杰.持续深化“放管服”改革推动实现经济高质量发展和生态环境高水平保护——在全国生态环境系统深化“放管服”改革转变政府职能视频会议上的讲话[J].中国环境监察,2018(9):6-19.

**注释:**

1 为便于分析和阐述,该部分内容中测算的碳减排各项指数均进行百分化。