

## 省级双碳指数指标体系

中国省级双碳指数，是以绿色、低碳、循环发展等为基础理论，以碳排放关键影响因素为分析路径，综合考虑能源、工业、交通、生活等碳排放领域，从气候雄心、低碳状态、排放趋势三大维度对各省响应国家“双碳”战略情况进行客观评价的指数。

该指数是2021年由环境科学研究院与公众环境研究中心成立联合课题组共同开发的。其指数评价主要依据联合课题组构建的“省级碳达峰碳中和指数评价指标体系”，该指标体系共包括气候雄心、低碳状态和排放趋势3个一级指标，宏观目标、能力建设、碳排放状况等6个二级指标，以及碳达峰目标、碳中和相关目标、试点示范建设等18个三级指标，并采用决策者赋权法对各级指标赋予相应权重。

指标体系反映了低碳社会作为一个涉及人类活动与自然资源相互影响、相互作用的复杂系统的特点，体现了各地区响应“双碳”战略的积极性，有利于督促地方推动产业、能源、交通运输等结构的调整，采用低碳生产、低碳建筑、低碳生活的方式，实现减污降碳协同控制，以低碳环保引领推动经济社会高质量发展。

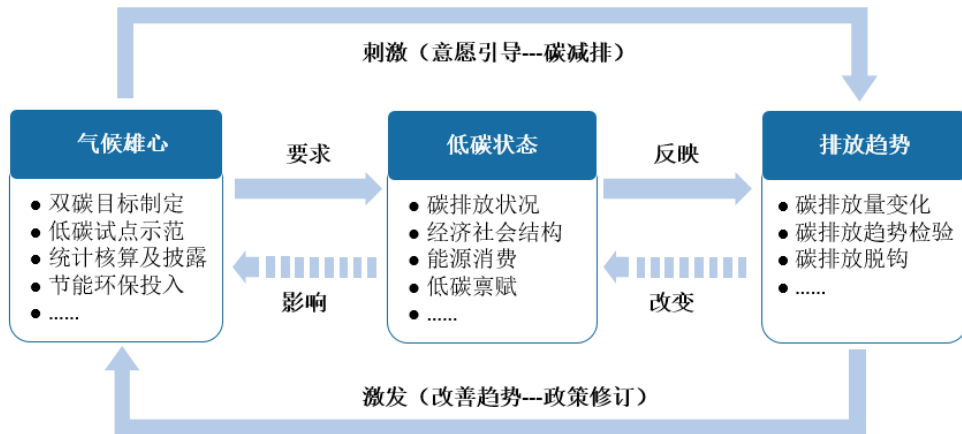


图 1 省级双碳指数的构建框架

2022年课题组对指标体系做出了进一步升级，详见表1所示。

表 1 省级双碳指数评价指标体系 2.0 及权重

目标层	一级指标	二级指标	三级指标	
			指标名称	指标权重
中国 省级 双碳 指数	气候雄心 (0.3)	宏观目标 (0.5)	碳达峰目标	0.12
			碳中和相关目标	0.03
		能源转型目标 (0.35)	非化石能源消费占比 2025 目标	0.0525
			非化石能源消费占比 2030 目标	0.0525

(1)		能力建设 (0.15)	统计核算披露	0.045
	低碳状态 (0.4)	碳排放状况 (0.3)	人均碳排放量	0.048
			单位 GDP 碳排放量	0.072
		经济社会结构 (0.3)	高排放行业占比	0.060
			公路货运周转量占比	0.036
			人均超低能耗建筑面积	0.024
		能源消费 (0.3)	单位 GDP 能耗强度	0.072
			非化石能源消费占比	0.048
		低碳禀赋 (0.1)	年平均风功率密度	0.012
			水平面年总太阳辐照量	0.012
	森林蓄积量		0.016	
	排放趋势 (0.3)		碳排放趋势检验	0.15
			碳排放脱钩指数	0.12
			碳排放量变化率	0.03

## 指标解释

### 碳达峰目标

指标解释：该指标主要考察各省份碳达峰目标年设定的远近，目标年越近表明其气候雄心越大，得分越高。

### 碳中和相关目标

指标解释：该指标主要考察各地区实现碳中和目标的雄心，包括碳中和目标年、中长期碳排放削减目标、碳减排专项行动等方面，目标年越早、减排目标及路径越清晰，该项得分越高。

### 非化石能源消费占比目标

指标解释：各地区设定的2025年、2030年非化石能源消费占比目标值与现状值的提升幅度，提升幅度越大表明雄心越大，得分越高。

测算方法：直接引用数据

数据来源：各省碳达峰实施方案、十四五规划等“1+N”政策文件。

### 统计核算披露

指标解释：该指标主要表征各地区在碳排放核算、考核、在线监测、全国碳市场履约与信息公开情况、碳排放信息披露等5方面的能力建设公开情况。

### 人均碳排放量（吨/人）

指标解释：指一个统计周期内，平均每人排放的二氧化碳量。

测算方法：人均碳排放量=二氧化碳排放量/年末常住人口

数据来源：二氧化碳排放量数据来自中国城市温室气体工作组的测算结果，年末常住人口来自国家统计年鉴。

### 单位GDP碳排放量（千克/万元）

指标解释：指每生产万元GDP的二氧化碳排放量，碳强度高不表明效率高，一般来说该指标会随着技术进步和经济增长而下降，能够表征区域经济发展的碳排放绩效水平。

测算方法：单位GDP碳排放量=二氧化碳排放量/GDP

数据来源：二氧化碳排放数据来自中国城市温室气体工作组的碳排放测算结果，GDP数据来自国家统计局年鉴（GDP采用2015年不变价）。

### 高排放行业占比（%）

指标解释：指火电、建材、钢铁、有色、石化、化工、造纸七大高碳排放行业的产出，占工业总产出的比值，反映一个区域工业产业结构优化程度。由于民航属于交通运输业统计口径不一致，暂不纳入行业占比分析。

测算方法：高碳排放产业占比=七大大高排放行业主营业务收入/工业主营业务收入合计×100%

数据来源：各省统计年鉴

### 公路货运周转量占比（%）

指标解释：指一个统计期内，区域公路货运周转量在总货运周转量中的占比，反映一个区域交通运输结构，公路货运较水路运输、铁路运输，其能源消耗及碳排放均偏高。

测算方法：公路货运周转量占比=公路货运周转量/总货运周转量×100%

数据来源：国家统计局年鉴。

### 人均超低能耗建筑面积（平方米/人）

指标解释：指一个统计期内，平均每人

占有超低能耗建筑的面积，一定程度上可以反映建筑领域能效提升情况。

测算方法：人均超低能耗建筑面积=（近零能耗建筑面积+超低能耗建筑面积）/年末常住人口

数据来源：各省市建筑领域“十四五”规划文件

### 单位GDP能耗强度（千克标煤/万元）

指标解释：每产生万元GDP所消耗的能源，可以反映全社会能源消费水平和节能降耗状况，是能源利用效率指标。该指标说明一个地区经济活动中对能源的利用程度，反映经济结构和能源利用效率。

测算方法：单位GDP能耗强度=能源消费总量/GDP

数据来源：能源消费总量数据来自各省统计年鉴，GDP数据来自国家统计局年鉴（GDP采用2015年不变价）。

### 非化石能源消费占比（%）

指标解释：指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能、核能等可再生能源或新能源，占一次能源消费总量的比值，表征一个区域的能源消费结构的清洁度，提高非化石能源比重能够有效降低温室气体排放。

测算方法：直接引用数据

数据来源：各省统计年鉴、各省十四五规划文件。

### 年平均风功率密度（瓦/平方米）

指标解释：某区域内，气流在一定时间段内垂直通过单位截面积的风能，年平均风功率密度可以反映该区域发展风电的资源禀赋。

测算方法：直接引用数据

数据来源：《2021年中国风能太阳能资源年景公报》中，100米高度层风功率密度年平均数据。

### 水平面年总太阳辐照量（千瓦时/平方米）

指标解释：指特定时间内水平面上太阳辐照的年累计值，多年平均太阳能辐射量可以反映该区域发展光伏发电的资源禀赋。

测算方法：直接引用数据

数据来源：《2021年中国风能太阳能资源年景公报》中，各地区水平面总辐照量平均值

### 森林蓄积量（亿立方米）

指标解释：是指一定森林面积上存在着的林木树干部分的总材积，森林是吸收二氧化碳的重要碳汇资源，一定程度上可以表征区域的碳汇能力。

测算方法：直接引用数据

数据来源：国家统计年鉴

### 碳排放趋势检验

测算方法：采用MK检验方法来判断各省级行政区碳排放趋势。首先对于各省级行政区2005~2020年间的碳排放进行最大值筛选，若该地区碳排放最大值出现年份后数据量大于等于5，则对该地区碳排放最大值后的碳排放数据进行MK检验。若最大值年份后的地区排放有显著下降趋势，则认为该地区达峰；若没有显著下降趋势，则认为该地区处于下降趋势不显著状态，此处显著性水平分别取 $\alpha=0.01$ 、 $0.05$ ；若出现最大值年份后在排放出现波动变化，则认为该地区处于平台期。对于碳

排放最大值出现年份后数据量小于5的地区，因为当数据量过少时无法进行趋势检验，且一个地区达峰后需要有一段时间证明其是否为虚假达峰，故认为这部分地区暂时处于未达峰状态。

数据来源：二氧化碳排放数据来自中国城市温室气体工作组的碳排放测算结果。

### 碳排放脱钩指数

指标解释：指一定时期碳排放量平均增长率与同期国民生产总值平均增长率的比值，反映碳排放与国民经济的发展关系，本研究采用2016~2020年的几何平均值表示。

测算方法：碳排放脱钩指数几何平均值= $(\frac{2020\text{年碳排放量}}{2016\text{年碳排放量}})^{1/4}-1) / ((\frac{2017\text{地区生产总值指数} \times 2018\text{地区生产总值指数} \times 2019\text{地区生产总值指数} \times 2020\text{地区生产总值指数}}{2016\text{地区生产总值指数}})^{1/4}-1)$

数据来源：二氧化碳排放数据来自中国城市温室气体工作组的碳排放测算结果，地区生产总值指数数据来自国家统计年鉴。

### 碳排放量变化率

指标解释：指一定范围内一个核算期的二氧化碳排放量较上一核算期二氧化碳排放量的变化率，反映区域碳排放同比变化趋势。

测算方法：碳排放量变化率= $(\frac{2020\text{年碳排放量}}{2016\text{年碳排放量}})^{1/4}-1$

数据来源：碳排放数据来自中国城市温室气体工作组的碳排放测算结果。

## 指标赋分

### (1) 综合打分法

采用综合打分法的指标,包括碳达峰目标、碳中和相关目标、统计核算披露、碳排放趋势检验4个指标。具体打分方法如下:

- ① **碳达峰目标:**以国家 2030 年碳达峰目标为基准,赋分为 20 分,目标年每提前一年加 8 分,每向后推迟一年减 4 分,对于目前尚未明确提出碳达峰目标年的省级行政区不得分。为鼓励碳达峰条件较好的省级行政区尽早宣布达峰,并进入达峰后碳减排阶段,采用以下方法对得分进行修正。
  - 对于在“十三五”相关规划文件提出了碳达峰目标年,在“十四五”相关规划文件中未进一步明确明确的省级行政区,按照“十三五”提出的目标年赋分再乘以系数0.5。
  - 对于经MK检验碳排放量显著下降的省级行政区,按照评价基准年的人均GDP水平,超过2万美元的赋分结果再乘以系数0.3,1~2万美元之间的乘以系数0.5,小于1万美元的乘以系数0.8。
- ② **碳中和相关目标:**以国家 2060 年碳中和目标为基准,赋分为 20 分,目标年每提前一年加 4 分,每向后推迟一年减 4 分,对于目前尚未明确提出碳中和目标年的省级行政区不得分。
- ③ **统计核算披露:**碳排放核算、考核、在线监测、全国碳市场履约与信息公开情况、碳排放信息披露 5 个领域各计 20 分,各领域已开展实践的得 20 分,未提及的不得分。其中,能源与碳排放考核方面,在相关公开文件提到完成目标情况的得 10 分,公布具体数值的得 20 分;全国碳市场履约与信息公开方面,发布履约名单及履约情况的得 10 分,企业碳披露率 90%以上的再得 10 分;碳排放信息披露方面,城市发布企业温室气体排放信息管理文件的得 10 分,省建立温室气体排放信息披露管理的得 20 分。
- ④ **碳排放趋势检验:**碳排放未出现峰值(即 2020 年为最大值)的不得分,出现最大值后年数小于 5 年的得分计 20 分。对于出现最大值且最大值后年数满 5 年的,对最大值年到 2020 年的碳排放数据进行 MK 检验,其中 Z 值 $\geq 0$ 的,即碳排放处于波动变化状态,计 40 分;Z 值为负但下降趋势不显著的计 60 分;Z 值为负且在 0.05 水平显著的,即碳排放量显著下降,计 80 分;Z 值为负在 0.01 水平显著的,即碳排放下降趋势非常显著,计 100 分。

## (2) 标准化赋分法

采用标准化赋分方法的指标包括年平均风功率密度、水平面总太阳辐照量，具体方法如下：

对于定量指标数据，由于指标的单位、数量级有差异，因此需要消除因量纲对评价过程的影响。首先对每个统计指标的数据进行无量纲转换。本着正向指标，最大值计分为100分，最小值计分为1分；对于逆向指标，最大值计分为1分，最小值计分为100分；其余省级行政区的得分参照最高和最低省级行政区的得分，采用Min-max标准化法进行无量纲转换。

正向指标标准化赋分公式如下：

$$X_{ij} = 100 \times \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}}$$

逆向指标标准化赋分公式如下：

$$X_{ij} = 100 \times \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}}$$

为消除0值，因此对计算公式进行修正，具体如下：

正向指标修正后的计算公式如下：

$$X_i = 99 \times \frac{x_i - \min\{x_i\}}{\max\{x_i\} - \min\{x_i\}} + 1$$

逆向指标修正后的计算公式如下：

$$X_{ij} = 99 \times \frac{\max\{x_i\} - x_i}{\max\{x_i\} - \min\{x_i\}} + 1$$

其中， $x_{ij}$ 为第*i*省第*j*个指标的原始数据， $X_{ij}$ 为标准化后的得分， $\min\{x_{ij}\}$ 、 $\max\{x_{ij}\}$ 为30个省级行政区第*j*个指标的最小值和最大值。

其中，若有指标对应的序列数据存在极值情况，采用分段标准化赋分。

## (3) 分位数赋分法

采用分位数赋分法的指标，包括非化石能源消费占比目标、人均碳排放量、单位GDP碳排放量、高排放行业占比、公路货运周转量占比、人均超低能耗建筑面积、单位GDP能耗强度、非化石能源消费占比、森林蓄积量、碳排放脱钩指数、碳排放变化率，具体赋分方法如下：

为了缩小极值对分数的影响，确保每个特征的统计属性都位于同一范围，增加评价结果年度可比性，将首期评价中部分采取标准化赋分的指标调整为分位数

赋分法。以2019年统计指标的数据为基准，根据2020年指标极值设定截至2030年目标值，采用百分位数计算方法对指标进行无量纲转换。具体的评价方法和目标值设定依据详见表2和表3。

**表 2 分位数赋分设定方法**

分数区间段	说明
(90-100]	以 2020 年极值和根据 2020 年极值估算的 2030 年目标值为区间，进行百分位数评价。对于正向指标，目标值计分为 100 分，最大值计分为 90 分；对于逆向指标，目标值计分为 100 分，最小值计分为 90 分。
[1-90]	以 2019 统计指标测算数据为基准，百分位数评价。对于正向指标，最大值计分为 90 分，最小值计分为 1 分；对于逆向指标，最大值计分为 1 分，最小值计分为 90 分。

**表 3 指标目标值设定**

指标名称	目标值	目标值参考文件
人均碳排放量	2.5tCO <sub>2</sub> e/人	Climate Change Performance Index
单位 GDP 碳排放量	2020 年最小值 *(1-18%) <sup>2</sup>	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，“到 2025 年...单位国内生产总值二氧化碳排放比 2020 年下降 18%”
高排放行业占比	2020 年最小值 *(1-13.5%) <sup>2</sup>	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，“到 2025 年...单位国内生产总值能耗比 2020 年下降 13.5%”
公路货运周转量	2020 年最小值 *(1-1.5%) <sup>2</sup>	《综合运输服务“十四五”发展规划》，“铁路货物周转量占比（%）由 2020 年 15.5% 提升到 17%”
人均超低能耗建筑面积	2020 年省最大值 *(1+25%)	《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》，“到 2025 年，城乡新建居住建筑能效水平提升 30%，城镇新建公共建筑能效水平提升 20%”，基于此将超低能耗建筑面积提升率至设定为 (30%+20%)/2
单位 GDP 能耗强度	2020 年最小值 *(1-13.5%) <sup>2</sup>	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，“到 2025 年...单位国内生产总值能耗比 2020 年下降 13.5%”
非化石能源消费占比	2020 年最大值 47.2%*(1+(25%-15.9%)/15.9%)	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，“到 2030 年...非化石能源消费比重达到 25% 左右” 2020 年非化石能源占比：15.9%
森林蓄积量	2020 年省最大值 *(1+(180-175)/175)*(1+(190-180)/180)	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，“到 2025 年，...森林蓄积量达到 180 亿立方米”；“到 2030 年，...森林蓄积量达到 190 亿立方米” 2020 年森林总蓄积量：175 亿立方米

## 指数评价模型与方法

### 1、综合评价模型

按照省级双碳指数评价指标体系，以及确定的各指标权重，采用加权综合评价方法，建立指数模型，具体如下。

$$Y = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk} \omega_{ijk}$$

$$Y_i^1 = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk} \omega_{ijk}$$

$$Y_{ij}^2 = \sum_{k=1}^n x_{ijk} \omega_{ijk}$$

式中， $Y$ 为省级双碳指数的综合评分， $Y_i^1$ 为第 $i$ 个一级指标的综合评分、 $Y_{ij}^2$ 为第 $i$ 个一级指标层第 $j$ 个二级指标的综合评分， $x_{ijk}$ 为第 $i$ 个一级指标层第 $j$ 个二级指标层第 $k$ 个三级指标的评分结果， $\omega_{ijk}$ 为第 $i$ 个一级指标层第 $j$ 个二级指标层第 $k$ 个三级指标的权重。

### 2、MK趋势检验法

Mann-Kendall简称为MK检验法，由Mann于1945年率先提出，并由Kendall于1975年进一步研究，是一种非参数统计检验方法。MK检验法的优点是不需要样本遵从一定的分布，也不受少数异常值的干扰，通常被用于在长时间序列数据集中检测单调趋势，还可以检验时间序列是否发生了突变。

MK趋势检验法过程如下：

对于样本量为 $n$ 的时间序列 $X$ ，确定所有 $n(n-1)/2$ 个 $x_j - x_k$ 差值的符号，其中 $j > k$ 。MK检验统计量 $S$ 计算方式为：

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$
$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & x_j - x_k > 0 \\ 0, & x_j - x_k = 0 \\ -1, & x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

再计算 $S$ 的方差 $\text{VAR}(S)$ ：



$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^p q_k(q_k-1)(2q_k+5) \right]$$

其中 $p$ 代表数据 $X$ 的结组个数， $q_k$ 表示第 $k$ 个结组的数据个数。

最后用 $VAR(S)$ 计算MK检验统计量 $Z_{MK}$ ：

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, & S < 0 \end{cases}$$

设零假设 $H_0$ 没有单调趋势， $H_a$ 有单调增趋势，在给定的 $\alpha$ 置信水平上，如果 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$ ，则原假设是不可接受的，即在 $\alpha$ 置信水平上，时间序列数据存在明显上升或下降趋势，对于统计量 $Z_{MK}$ ，大于0时为上升趋势，小于0时为下降趋势。