

城市双碳指数指标体系

中国城市双碳指数（CCNI），是以绿色、低碳、循环发展等为基础理论，以解析碳排放关键影响因素为路径，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、排放趋势三个维度对我国城市响应国家“双碳”战略情况进行客观评价的指数。

该指标体系共包括气候雄心、低碳状态和减排趋势3个一级指标，宏观目标、能力建设、能源消费等7个二级指标，以及碳达峰目标、碳中和目标、试点示范等16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，详见表1。

表 1 城市双碳指数评价指标体系 3.0 及权重

目标层	一级指标	二级指标	三级指标
城市双碳指数 (1)	气候雄心 (0.3)	宏观目标 (0.6)	碳达峰目标
			碳中和相关目标
		能力建设 (0.4)	试点示范建设
			统计核算披露
	低碳状态 (0.4)	能源消费 (0.3)	全社会电力消耗强度
			非化石能源消费占比
		经济社会结构 (0.4)	二产占比
			新能源车渗透率
			人均公共交通工具拥有量
			垃圾分类指数
		碳排放水平 (0.3)	人均碳排放量
	单位 GDP 碳排放量		
	排放趋势 (0.3)	达峰趋势 (0.5)	碳排放趋势检验
			碳排放脱钩指数
		减排效率 (0.5)	碳排放量变化率

指标解释

碳达峰目标

指标解释：该指标主要考察城市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：该指标主要考察城市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、减排目标及路径越明确的得分越高。考虑到目

前明确提出中和目标的城市较少，此项指标可作为后期动态评价的预备性指标，随碳达峰碳中和工作进展而逐渐显示其重要性。

试点示范建设

指标解释：该指标反映各地区开展各领域低碳建设的积极性，主要包括国家级低碳试点城市、气候适应型城市试点、省级低碳试点城市、国家级低碳工业园区试点、国家级低碳交通试点示范城市试点、中芬低碳生态试点城市、中美低碳生态城市、中欧低碳生态城市、中瑞低碳城市等合作试点城市，以及低碳城镇/社区试点、碳普惠制试点、气候投融资试点等试点建设工作。

统计核算披露

指标解释：该指标主要表征城市层面的碳信息披露与制度建设，以及城市层面的能源消费数据公开情况。该指标主要考查各地在碳排放数据及能源消费数据方面的信息披露情况，鉴于全国的碳披露制度尚未明确，故针对碳信息披露数据主要从制度构建、企业排放数据公开度角度考察，鉴于能源消费数据与碳排放的紧密联系，结合城市能源数据公开度的缺失，故此处设置主要作为一个督促性指标。

全社会电力消耗强度（千瓦时/万元）

指标解释：因城市尺度的能源数据缺失较大，此处采用单位GDP全社会用电量代替综合能耗强度，又称单位GDP电耗，指一定时期内，一个国家或地区每生产一个单位国内生产总值所消耗的电力，该指标是反映一定时期内电力能源利用效率的重要指标。

测算方法： $\text{全社会电力消耗强度} = \text{全社会用电量} / \text{GDP}$

数据来源：全社会用电量来自城市统计年鉴和城市统计公报，GDP数据来自城市统计年鉴。

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：城市统计年鉴、城市十四五规划文件

二产占比（%）

指标解释：指第二产业增加值占地区生产总值的比值，表征一个区域的产业结构，第二产业包括工业和建筑业，其中又以工业为主，因此能够反映一个区域产业结构的低碳化程度。

测算方法：直接引用数据

数据来源：中国城市统计年鉴

新能源车渗透率（%）

指标解释：指在一定时期内，新能源汽车新车销售量占汽车新车销售总量的比重。

测算方法： $\text{新能源车渗透率} = \text{新能源汽车全年销量} / \text{狭义乘用车市场全年销量}$

数据来源：新车交强险购买数

人均公共交通工具拥有量（辆/万人）

指标解释：指一定时期内，按城市人口

计每万人拥有的公共交通工具数量，一定程度上反映区域低碳出行程度。

测算方法：人均公共交通工具拥有量=全年公共汽（电）车拥有量/年末城市常住人口

数据来源：中国城市统计年鉴

垃圾分类指数

指标解释：IPE基于随手拍问卷设计了垃圾分类指数，从社区垃圾分类实际表现、社区垃圾分类管理措施、垃圾分类清运情况和城市生活垃圾管理制度四个维度，对地级及以上城市、区（市）、居住社区的生活垃圾分类实际情况进行量化评价。

测算方法：直接引用数据

数据来源：蔚蓝地图

人均碳排放量（吨/人）

指标解释：指一个统计期内，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，年末常住人口来自各城市统计年鉴。

单位GDP碳排放量（吨/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，GDP数据来自城市统计年鉴（GDP采用2015年不变价）。

碳排放趋势检验

测算方法：采用MK检验方法来判断各城市碳排放趋势。首先对于各城市2005~2021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 、 0.1 ；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。

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，本期研究采用2017~2021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= $\left(\left(\frac{2021\text{年碳排放量}}{2017\text{年碳排放量}}\right)^{1/4}-1\right) / \left(\left(\frac{2018\text{GDP指数}}{2017\text{GDP指数}}\right)^{1/4} * \left(\frac{2019\text{GDP指数}}{2018\text{GDP指数}}\right)^{1/4} * \left(\frac{2020\text{GDP指数}}{2019\text{GDP指数}}\right)^{1/4} * \left(\frac{2021\text{GDP指数}}{2020\text{GDP指数}}\right)^{1/4}-1\right)$

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，GDP指数数据来自城市统计年鉴。

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=（2021年碳排放量/2017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。

指标赋分

(1) 综合打分法

针对定性指标，采用了基于决策者偏好的主观客观相结合的打分方法，结合主要按照指标内涵、各地区实际情况以及国家“双碳”目标导向，确定分级标准并赋分，具体如下：

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城市不得分。为鼓励碳达峰条件较好的城市尽早宣布达峰，并进入达峰后碳减排阶段，采用以下方法对得分进行修正。具体如下：

- **对于设定碳达峰目标年在评价年及之前，但经MK检验未达峰的城市：**

- 达峰趋势不明显：按评价年推后1年赋分；
- 平台期：按评价年推后2年赋分；
- 未达峰：按评价年推后3年或以上：

a)当2014年后的最高值出现在评价年前2年或以上时，按评价年推后3年赋分；

b)当2014年后的最高值出现在评价年前1年，按评价年推后4年赋分；

c)当2014年后的最高值出现在评价年，按评价年推后5年赋分。

- **对于设定碳达峰目标年在评价年之后的城市：**

对于经MK检验已经显著达峰的城市，但设定达峰目标年在评价年之后，按照评价基准年或最近年的人均GDP水平，以及相比评价年推迟的年数，在原赋分结果上进行递减式调整。其余情况仍按照设定目标年赋分。具体规则如下：

表 2 经检验已达峰城市达峰目标年调整规则

人均 GDP（美元）	目标年与评价年相比推迟年份	调整系数起始点	备注
≥2 万	1	0.9	推迟年数每增 1 年，调整系数递减 0.1，以此类推
1.75~2 万	2		
1.5~1.75	3		
1.25~1.5	4		
1~1.25	5		
<1 万	6		

②**碳中和相关目标**：以国家2060年碳中和目标为基准，赋分20分，目标年每提前一年加8分，每向后推迟一年减4分，对于目标尚未明确的不得分。

③**试点示范建设**：国家级低碳试点城市计20分，省级低碳试点城市、低碳试点工业园区、低碳交通运输体系试点城市、近零碳试点社区/工程/建筑、气候适应型试点城市、碳排放交易试点、中美/中欧/中芬/中瑞低碳生态合作试点示范建设、低碳城镇/社区试点、气候投融资试点、国家碳达峰试点等类型，每一类型计10分，满分80分，可累计加分至满分。

④**统计核算披露**：城市层面或省份有明确碳排放披露制度计20分；城市公开能源结构数据计40分；城市企业碳披露情况共计40分。

⑤**碳排放趋势检验**：碳排放未出现峰值（即2021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2021年的碳排放数据进行MK检验，其中Z值 ≥ 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50分；Z值为负且在0.1水平显著下降的，计60分；Z值为负且在0.05水平显著下降的，计80分；Z值为负且在0.01水平显著下降的，计100分。

（2）标准化赋分法

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。计算过程中首先对每个指标进行无量纲转换。本着正向指标值越大越优，逆向指标则相反的原则，对于正向指标，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；其余城市得分参照最高和最低城市的得分，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：

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

针对静态指标，需消除计分为0分情况，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110城市第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。采用标准化赋分方法的指标包括节能环保投入占比。

(3) 分位数赋分法

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2020-2021年度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2020-2021年度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3和表4。

表 3 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 4 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 ₂ e/人	Climate Change Performance Index
单位 GDP 碳排放量	2020 年城市最小值*(1-18%) ²	《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%”
非化石能源消费占比	2020 年最大值 46%*(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%
全社会电力消耗强度	2020 年城市最小值*(1-13.5%) ²	政策文件：《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%”
二产占比	2020 年最小值* (35.5-38.6) ²	政策文件：《“十四五”时期我国产业结构变动特征及趋势展望》，“十四五”期末第二产业比重将降至 35.5%左右”，文中提到 2019 第二产业比重为 38.6%

综合指数评价模型

以城市双碳指数CCNI来综合评价城市双碳行动上的具体表现。城市双碳指数采用百分制，计算公式：

$$CCNI(t) = \sum_{i=1}^m P_i \omega_i \dots \dots \dots (1)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n F_j \omega_j \dots \dots \dots (2)$$

$$F_j = \sum_{k=1}^q S_k \omega_k \dots \dots \dots (3)$$

式中，CCNI(t)为目标层评价指数，t为评价年份；m，n，q分别为准则层、要素层、具体指标层指标个数， P_i 为准则层第i个指标的综合评分， ω_i 为第i个准则层指标的权重； F_j 为要素层第j个指标的综合评分， ω_j 为第j个要素层指标的权重； S_k 为第k个具体指标层指标的综合评分； ω_k 为第k个具体指标层指标的权重。