

基于组合赋权与聚类的城市节能指标分解研究

张舒, 谢锦林[✉], 程远林

(中国能源建设集团湖南省电力设计院有限公司, 湖南长沙 410007)

摘要: [目的] “双碳”目标的提出赋予了能源消费强度下降和总量“双控”工作新的要求与内涵, 在确保能效优先的同时, 应充分考虑地区发展阶段, 合理确保“双控”指标层层分解落实。[方法] 以某市“十四五”能耗“双控”指标分解为例, 选取可反映各区县(市)经济水平、能耗体量、节能潜力以及“十三五”节能目标完成情况的量化指标, 构建基于层次分析和客观赋权相结合的组合赋权分配模型, 对各指标进行权值计算, 得出“双控”指标分配结果, 再以聚类分析法对指标体系进行差异化分与类别聚合。[结果] 通过对照组合赋权与聚类分析结果, 基于多指标组合赋权和聚类分析的地区能耗强度下降目标分解算法均能得出基本一致的分解方案。[结论] 再基于上述2种方法的结果, 结合实际经济发展状况和政府管理需求, 给予不同档次的能耗管理目标, 兼顾了地区发展差异, 符合国家“十四五”能耗“双控”制度要求和分解原则, 具备可复制可推广的特性。

关键词: 能耗双控; 指标分解; 能耗强度分解; 组合赋权; 系统聚类

中图分类号: TK01; F206

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2023)06-0112-08

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Decomposition of Urban Energy-Saving Indicator Based on Combination Weighting and Clustering

ZHANG Shu, XIE Jinlin[✉], CHENG Yuanlin

(China Energy Engineering Group Hunan Electric Power Design Institute Co., Ltd., Changsha 410007, Hunan, China)

Abstract: [Introduction] The proposal of the "dual carbon" strategy has given new requirements and connotations to the reduction of energy consumption intensity and the "dual control" of the total amount. On the premise of adhering to the priority of energy efficiency, we should fully consider the stage of regional development and reasonably ensure the "dual control" indicators are decomposed and implemented layer by layer. [Method] Taking the decomposition of the "dual control" indicators of energy consumption in the "14th Five-Year Plan" of a certain city as an example, this paper selected quantifications that could reflect the economic level, energy consumption volume, energy-saving potential and the completion of the energy-saving goals of the "13th Five-Year Plan" indicators of each district and county (city) and built a combined weighting assignment model based on the combination of hierarchical analysis and objective weighting to calculate the weight of each indicator, obtaining the "dual control" indicator distribution results, and then used clustering analysis to carry out the differentiation of the indicator system and cluster aggregation. [Result] By comparing the results of combination weighting and clustering analysis, the regional energy consumption intensity reduction target decomposition algorithm based on multi-indicator combination weighting and clustering analysis can obtain basically consistent results. [Conclusion] Based on the results of the above two methods, the actual economic development and government management needs, the energy consumption management targets of different levels are obtained, which takes into account regional development differences, conforms to the national "14th Five-Year Plan" energy consumption "dual control" system requirements and decomposition principle, and has the characteristics of replicability and promotion.

Key words: dual control of energy consumption; indicator decomposition; energy consumption intensity decomposition; combination weighting; clustering

2095-8676 © 2023 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

能源是实现碳达峰、碳中和不可或缺的关键支撑要素。随着我国能源消费总量的不断提升,以控制单位 GDP 能耗下降和消费增量为关键的节能工作意义愈发凸显,政府相关的措施力度也不断加强。国家“十一五”规划纲要首次设立单位地区生产总值能耗下降这一约束性指标,明确要求“十一五”末的单位地区生产总值能耗要在五年前的基础上下降 20%,这一举措推动了节能工作落到实处,将节能降耗作为政府的一项制度性安排;到“十二五”时期,节能政策进一步完善,在控制单位国内生产总值能耗下降目标的前提下,要求对能源消费总量进行合理控制;“十三五”时期逐步形成相对完整的能耗“双控”政策体系,“十三五”节能减排综合工作方案提出要加强能耗“双控”约束力度,将节能目标逐层分解到下级行政区,让节能指标的地区分解成为了地区上下协同推进完成能耗“双控”任务的主力抓手;在“双碳”目标下,2021 年中央提出要创造条件尽早实现能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变,标志着在“双碳”目标下,我国节能减排工作即将迎来重要转折。“十四五”时期国家对能耗“双控”制度提出更高的站位要求,近期出台的相关政策中^[1]提出要在能效优先的基础上,保证合理用能,对新增可再生能源和原料用能不纳入能源消费总量控制,突出了能源消费强度指标控制的重要性,并要求进一步完善指标设置及分解落实机制。

在对能耗“双控”指标的定性研究方面,文献[2]等在分析我国单位 GDP 能耗中指出其优化的关键因素是产业结构调整;文献[3]认为产业结构与能源消费结构优化均可以有效提高能源效率;文献[4]从政策强制性角度研究其对单位生产总值能耗的影响,结果表明以行政执法等手段为主的政策强制性措施对能耗强度具有较明显的控制作用,并且可通过约束能耗强度的下降进一步约束碳排放强度下降。在地方能耗“双控”研究层面,文献[5]以徐州市为例,通过关联分析法分析了高耗能行业与节能降耗的主要影响因素;文献[6]以重庆市为例,分析了碳达峰

碳中和目标下影响能耗“双控”目标的主要因素为用能效率和产业结构,并基于主要因素作出了情景假设,给出实现节能降耗的路径。在定量研究节能指标上,文献[7]采用时序分析法挖掘能源消费与地区经济发展的关联关系,分析中国 30 个省区历年单位生产总值能耗与人均 GDP 的相关性,并结合经济和能源消费体量等因素,计算出各地区对于全国节能目标的贡献程度。文献[8]建立了数学模型,探讨分析如何将 20% 的节能指标向下级行政区分解。

主客观组合赋权法从专家先验知识、熵值计算两个维度对个案的多指标进行权重设计,广泛应用于指标体系的综合评价^[9-16],其中,文献[9]为对核电的节能效果进行评价,从能耗强度、经济效益等方面应用熵权法进行赋权评价;文献[10]和文献[11]均采用层次分析与熵权法评价综合能源系统多指标及配电网指标体系;文献[12]利用客观赋权法对清洁可再生能源的节能潜力进行评估。聚类分析是通过计算样本在多维指标上的相似度来将相似度不高的样本区分开来,文献[13]在省级节能指标分解中采用了系统聚类的方法对各市州差异进行区分;文献[14]在用电需求潜力评估中使用了两阶段聚类分析方法;文献[15]采用聚类分析方法对中国能耗强度的决定性指标进行实证研究。文章以某市“十四五”单位 GDP 能耗下降强度目标分解为例,参照国家“十四五”能耗双控目标分解原则,选取契合分解原则的几类指标,形成目标分解的评价指标体系,再采用组合赋权与聚类分析结合的方法,构建各区县(市)能耗强度下降指标评价模型并对所选指标体系进行权重计算,得出各区县(市)所在的能耗强度下降档位。测算仿真结果表明该方法符合“十四五”能耗“双控”目标分解原则与要求,具有较为可靠的政策指导性。

1 评价指标构建

根据“十四五”能耗双控指标地区分解“突出强度约束、实行奖惩并重、兼顾地区差异”的原则,综合考虑各地区能源消费总量、GDP、节能潜力、发展阶段与功能定位等因素,选取各地区“十三五”末单

位 GDP 能耗、“十三五”强度下降目标完成情况、“十三五”能耗增量完成情况以及能耗总量占全市的比重 4 个指标,构建双控指标分解体系,其中能耗总量比重指标包含了各区县可再生能源消费量,在后续研究分析中可通过摸底可再生能源消费量数据对分解结果进行调整修正,确保结果更加合理,符合政策导向,见表 1。

表 1 评价指标
Tab. 1 Evaluation indicator

分解原则	测算指标
突出强度约束	“十三五”末单位GDP能耗= “十三五”末地区能耗总量 “十三五”末地区GDP
实行奖惩并重	“十三五”能耗强度下降目标完成情况= 实际下降率-下降目标
兼顾地区差异	“十三五”能耗增量完成情况= “十三五”地区能耗增量 “十三五”地区能耗增量目标
	能耗总量比重= $\frac{\text{地区能耗总量}}{\text{全市能耗总量}}$

以某市各区县(市)能耗与经济相关数据为例,对以上指标进行计算和梳理,得出强度下降目标分解基础数据见表 2。

表 2 能耗强度下降指标分解基础数据
Tab. 2 Basic data of energy consumption intensity reduction
indicator decomposition

地区	2020年能耗强度/(tce·万元 ⁻¹)	“十三五”能耗强度下降率/%		“十三五”能耗增量/(万tce)		2020年能耗总量/(万tce)
		目标	实际	目标	实际	
合计	0.256	16	20.36	430	427.96	3 155.73
A县	0.335	16	21.10	52	52	396
B县	0.230	16	19.60	39	39	263
C县	0.190	16	22.5	39	39	264
D县	0.262	16	19.80	40	40	277
E县	0.162	16	16.40	46	45	360
F县	0.277	17	19.90	40	40	241
G县	0.265	17	22.30	63	63	488
H县	0.303	17	26.90	59	59	459
I县	0.361	17	21.60	52	52	407

在对数据进行测算分析时,由于所选指标体系的基础数据量纲各异,部分指标在不同区县上的差别较大,若直接使用原始数据测算会使结果导向有较大差异的指标,从而忽略了其他指标及中间位置

区县的差异,对结果产生较大影响。为保证结果准确无偏差,需对其进行规范化处理。考虑区县个数为 9 个,现将各指标数据进行排序并分列 5 档,根据排序情况对各区县(市)指标进行赋分 1~5 分。得出结果如表 3 所示:

表 3 基础数据预处理结果
Tab. 3 Preprocessing results of basic data

地区	能耗强度赋分	能耗强度下降目标完成情况赋分	能耗增量目标完成情况赋分	能耗总量比重赋分
A县	4	3	1	3
B县	2	4	1	3
C县	1	2	1	2
D县	2	4	1	2
E县	1	5	1	3
F县	4	5	1	1
G县	2	3	1	5
H县	4	1	1	4
I县	5	3	1	3

经预处理后,增量目标完成情况指标无明显差异,结合各区县(市)“十三五”实际增量使用情况,除 E 县增量指标稍有剩余,其余地区使用率均接近 100%,该指标不具备区分地区差异的条件,故不予考虑。

2 组合赋权确定评价指标权重

2.1 基于组合赋权的指标分解模型

将主、客观赋权方法相结合的组合赋权法融合了两类方法的优点,使指标评价及分解结果更为精确和科学。根据既有指标体系构建基于组合赋权的指标分解模型如下:

$$Y_i = \sum_j^n \alpha_j x_{ij} \quad (1)$$

式中:

Y_i —— i 地区的综合得分;

x_{ij} —— i 地区在 j 指标上的数值;

α_j —— 组合权重,由主观权重与客观权重共同构成,表达式为:

$$\alpha_j = \frac{aw_jbw'_j}{\sum_{j=1}^n aw_jbw'_j}$$

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1, 0 \leq \alpha_j \leq 1, a + b = 1 \quad (2)$$

w_j, w'_j 分别为主观权重和客观权重, a 与 b 分别为两类权重对应的权重系数, 该系数表示了两类权重的重要性, 二者一同构成组合权重。

2.2 层次分析法确定主观权重

层次分析法是一类兼具定性分析和定量分析的主观赋权方法, 可将定性问题进行定量化处理。多应用于多目标系统综合评价与权值分配问题。

1) 构造参考因素比例标度表

比例标度表是通过比值对因素对之间的重要程度进行衡量的方法。典型的比例标度表如表 4 所示:

表 4 比例标度表
Tab. 4 Scale table

因素 <i>i</i> 较因素 <i>j</i>	量化值(标度)
同等重要	1
略微重要	3
相当重要	5
明显重要	7
绝对重要	9
相邻判断中间值	2,4,6,8

2) 形成节能指标分解的判断矩阵

参考比例标度表, 根据政府主管部门对相关指标的经验判断, 在不影响最终主观赋权结果的情况下, 考虑不同专家对三类指标的重要性程度排序的量化赋值有所不同, 综合选用 1,3,5 三类标度量值对指标进行两两之间重要性衡量, 构造出判断矩阵见表 5:

表 5 判断矩阵
Tab. 5 Judgment matrix

量化值 指标	能耗 强度	能耗强度下降 目标完成情况	能耗总量 比重
能耗强度	1	3	2
能耗强度下降目标完成情况	0.33	1	0.33
能耗总量比重	0.5	3	1

3) 计算权向量

a. 计算元素累积:

$$m_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (3)$$

b. 计算 m_i 的 n 次方根 \bar{w}_i , 即几何平均数:

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{m_i} \quad (4)$$

c. 对向量 $w_s = [w_{s1}, w_{s2}, \dots, w_{sn}]$ 归一化, 得出权重系数 w_{si} :

$$w_{si} = \frac{\bar{w}_{si}}{\sum_{j=1}^n \bar{w}_{sj}} \quad (5)$$

则 $W_s = [w_{s1}, w_{s2}, \dots, w_{sn}]^T$ 为指标体系的权向量。

4) 层次分析法一致性检验

a. 计算最大特征根 λ_{max} ;

b. 计算一致性指标 C_R :

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \quad (6)$$

$$C_1 = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (7)$$

R_1 是算法中的平均随机一致性指标, 通过查表, 可根据不同的评价指标个数得出该指标的对应值见表 6:

表 6 平均随机一致性指标值
Tab. 6 Average random consistency indicator

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_1	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当 $C_R < 0.1$ 时, 表明判断矩阵一致性检验有效, 否则表明当前判断矩阵不具备满意的一致性。

基于能耗双控指标组成的判断矩阵, 运用层次分析法计算出各类指标的主观权向量 $W_s = [0.47, 0.16, 0.37]$, 根据公式 (7) 算得 $C_1 = 0.02$, 由 $n = 3$ 可查得随机一致性指标 $R_1 = 0.58$, 算出检验系数 $C_R = 0.034 < 0.1$, 满足一致性约束, 至此便确定了评价指标体系的主观权重。

2.3 熵值法确定客观权重

以熵值法为代表的客观赋权法可以通过计算信息熵来判定指标间的相似程度, 进而反映选取指标体系对评价结果的重要性, 与以层次分析法为代表主观赋权法形成互补。

1) 指标预处理

通过标准化处理各指标:

$$x'_i = \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (8)$$

式中:

- x_i ——第*i*项指标的原始值;
- x'_i ——第*i*项指标的标准化值;
- $x_{i\max}$ ——*i*项指标的最大值;
- $x_{i\min}$ ——*i*项指标的最小值。

2)指标的熵权值计算

a.计算第*j*项指标下第*i*个地区的指标比例:

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} \quad (9)$$

b.计算第*j*项指标的信息熵:

$$e_j = -k * \sum_{i=1}^m y_{ij} \log(y_{ij}), k = \frac{1}{\ln m} \quad (10)$$

c.计算第*j*项指标的权重:

$$w_{oj} = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^m 1 - e_j} \quad (11)$$

m 为地区数, n 为指标数, $W_o = [w_{o1}, w_{o2}, \dots, w_{on}]^T$ 即为所求客观权重向量。

基于能耗双控指标数据,构造原始数据矩阵,通过预处理、计算信息熵等过程,得出各类指标的客观权重见表 7。

表 7 客观权重计算结果

Tab. 7 Objective weighting calculation results

指标	能耗强度	能耗强度下降目标完成情况	能耗总量比重
信息熵	0.39	0.965	0.962
客观权重	0.47	0.27	0.28

2.4 主客观组合权重

选定适当的主客观权重系数,结合公式(2)得到组合权重见表 8。

表 8 主客观组合权重结果

Tab. 8 Subjective and objective combination weighting result

指标	能耗强度	能耗强度下降目标完成情况	能耗总量比重
主观权重	0.47	0.16	0.37
客观权重	0.45	0.27	0.28
组合权重	0.59	0.12	0.29

以某市各区县(市)基础数据为例,结合层次分析法与客观赋权法得出的权重,代入分配模型中,得

表 9 各区县(市)组合赋权得分

Tab. 9 Scores of the subjective and objective combination weighting of each district/county (city)

区县(市)	综合得分
A县	3.59
B县	2.25
C县	1.41
D县	2.25
E县	2.06
F县	2.67
G县	2.98
H县	3.63
I县	4.18

出各区县(市)在能耗、经济方面的综合评价结果,数值越低表明其能效水平越高。根据表 9 结果,各地区在能耗强度、“十三五”能耗双控目标完成情况及能耗总量等指标情况上均有不同侧重,其中 C 县排位相对靠前,能耗强度下降压力较小; B 县、D 县、E 县得分较一致,属于中等能耗强度水平地区, A 县、H 县、G 县及 I 县的排位靠后,能耗强度下降形势相对严峻。

3 聚类分析

聚类分析依据多个指标对个案进行相似度计算并归类分档,能有效降低统计分析中的信息损失,区分各地区能耗强度下降档次。根据所选指标体系与组合赋权的得分结果,基于 SPSS 分析软件,采用 Ward 系统聚类法对地区能耗强度下降目标档次进行聚类,得出聚类系谱图,以进一步验证组合赋权的准确性,得出较为直观的可视化结果如图 1 所示。

当迭代次数达到 5 时, B 县、D 县、E 县聚为一类,对应组合赋权综合得分在 2 分的区段; F 县、G 县为一类,对应 3 分段; C 县自成一类,对应 1 分区段; A 县、H 县、I 县聚成一类,对应得分在 3.5 分以上,聚类结果与组合赋权基本一致。

4 能耗强度下降目标分解

根据国家、省“十四五”能耗双控工作的有关要求与目标分解原则,基于某市“十四五”单位 GDP 能耗下降 14.5% 的基础目标与 15% 的激励目标,在确保全市单位 GDP 能耗下降达激励目标且 GDP 增

速负荷预期的前提下, 结合赋权与聚类分析的结果, 兼顾各区县(市)发展实际与功能定位, 对全市 9 个区县(市)设定 14.5%、15%、15.5% 三档次强度下降激励目标, 以保证能源消费增量目标可免于上级考核。

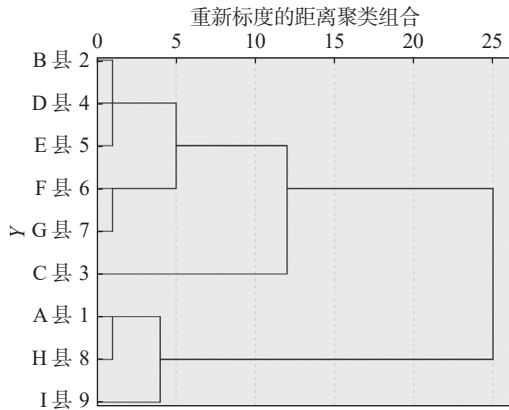


图 1 各区县(市)能耗强度下降目标聚类系谱图

Fig. 1 Target cluster family tree of energy consumption intensity reduction in each district/county (city)

根据表 9 中各区县(市)组合赋权得分和图 1 聚类系谱图结果, 得出某市“十四五”分区县(市)能耗强度下降目标分解结果(表 10), 能效水平较高的 B 县、C 县、D 县、E 县其节能压力较小, 下降目标划分在 14.5% 档; F 县、G 县评分相对靠后, 节能压力适中, 强度下降划分在 15% 档; H 县、I 县评分垫底, 节能增效压力较大, 划分在 15.5% 档; 需要特别说明的是, A 县 2020 年二产 GDP 占比仅为 12%, 三产

表 10 某市“十四五”分区县(市)能耗强度下降目标分解结果

Tab. 10 Target decomposition results of energy consumption intensity reduction in district/county (city) of a city in the "14th Five-Year Plan"

区县(市)	“十四五”能耗强度下降目标	
	基础目标/%	激励目标/%
A县	14.5	15
B县	14.5	15
C县	14.5	15
D县	14.5	15
E县	14.5	15
F县	15	15.5
G县	15	15.5
H县	15.5	16
I县	15.5	16

GDP 比重高达 87%, 根据兼顾地区差异的分解原则, 可适当采取人为修正的手段对划分结果进行调整, 以得出符合地区实际的分配结果。结合 A 县实际, 综合考虑对其设定 14.5% 的单位 GDP 能耗下降目标。综上, 得出的分解结果符合政府能耗强度下降目标管理要求。

5 结论

能耗双控制度是我国践行生态文明理念、促进高质量发展的政策保障, 也是实现“双碳”目标的重要制度安排, 推动能耗双控目标层层分解落实到各地区是压实地方责任、坚持上下一盘棋实现节能降耗的重要抓手。本文聚焦典型城市单位 GDP 能耗下降分区县(市)目标分解, 从能源消费、经济发展、节能潜力等方面选取单位 GDP 能耗、能耗总量、“十三五”强度下降目标完成情况等指标建立对各区县(市)的节能水平进行评价的指标体系, 通过层次分析与熵值法得出各指标体系的组合权重, 结合聚类分析方法, 得出客观、可靠且符合实际的分区县(市)能耗强度下降目标分解结果, 为政府部门制定节能有关的政策措施提供了经验参考和理论依据。同时, 加强碳排放总量和强度“双控”制度建设是实现“双碳”目标的必要前提^[17-21], 而用好能耗双控制度, 则有利于进一步推动能耗“双控”向碳排放“双控”的转变, 更加凸显以降碳为核心的节能减排工作, 兼顾发展和降碳, 助力实现碳达峰碳中和目标。

参考文献:

[1] 向敏. 完善能耗双控制度 推进能源高质量发展——《完善能源消费强度和总量双控制度方案》解读 [J]. 中国电业, 2021(10): 24-27.
 XIANG M. Improving the dual control degree of energy consumption and promoting the high quality development of energy: interpretation of the plan for improving the dual control degree of energy consumption intensity and total amount [J]. China electric power, 2021(10): 24-27.

[2] 戴彦德, 周伏秋, 朱跃中, 等. 实现单位 GDP 能耗降低 20% 目标的途径和措施建议 [J]. 中国工业经济, 2007(4): 29-37. DOI: 10.19581/j.cnki.ciejournal.2007.04.004.
 DAI Y D, ZHOU F Q, ZHU Y Z, et al. Approaches and measures to achieve the anticipated goal of reducing China's energy intensity of GDP by 20% to 2010 [J]. China industrial economy, 2007(4): 29-37. DOI: 10.19581/j.cnki.ciejournal.2007.04.004.

[3] 王学军, 王赛. 节能减排: 优化双重结构与提高能源效率——

- 兼析“十四五”期间产业结构、能源消费结构与能源效率关系 [J]. *价格理论与实践*, 2021(2): 140-144,175. DOI: [10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2021.02.75](https://doi.org/10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2021.02.75).
- WANG X J, WANG S. Energy saving and emission reduction: optimizing the dual structure and improving energy efficiency-Analyze the relationship between industrial structure, energy consumption structure and energy efficiency during the "14th Five-Year Plan" period [J]. *Price:theory & practice*, 2021(2): 140-144,175. DOI: [10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2021.02.75](https://doi.org/10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2021.02.75).
- [4] 蒋佩耘. 政府干预对我国单位 GDP 能耗约束的影响研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2021. DOI: [10.27005/d.cnki.gdzku.2021.000685](https://doi.org/10.27005/d.cnki.gdzku.2021.000685).
- JIANG P Y. Research on the influence of government intervention on China's unit GDP energy consumption [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2021. DOI: [10.27005/d.cnki.gdzku.2021.000685](https://doi.org/10.27005/d.cnki.gdzku.2021.000685).
- [5] 蔡婷婷, 王聪, 李建波, 等. 高耗能行业发展与节能降耗分析——以徐州市为例 [J]. *统计科学与实践*, 2021, (12): 31-34. DOI: [10.3969/j.issn.1674-8905.2021.12.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8905.2021.12.009).
- CAI T T, WANG C, LI J B, et al. Analysis on the development of high energy consuming industries and energy saving and consumption reduction-Taking Xuzhou city as an example [J]. *Statistical theory and practice*, 2021, (12): 31-34. DOI: [10.3969/j.issn.1674-8905.2021.12.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8905.2021.12.009).
- [6] 刘自敏, 王健宇, 李娟, 等. “双碳”目标下中国区域能耗“双控”目标的因素分解、情景模拟与实现路径——以重庆市为例 [J]. *当代金融研究*, 2022, 5(5): 1-25.
- LIU Z M, WANG J Y, LI J, et al. Factor decomposition, scenario simulation and realization path of China's regional energy consumption "Dual Control" target under the "Dual Carbon" target: take Chongqing as an example [J]. *Journal of contemporary financial research*, 2022, 5(5): 1-25.
- [7] 韩亚芬, 孙根年, 李琦. 中国经济发展和能源消耗的统计关系与节能潜力分析 [J]. *开发研究*, 2007(2): 82-85. DOI: [10.3969/j.issn.1003-4161.2007.02.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-4161.2007.02.020).
- HAN Y F, SUN G N, LI Q. Statistical relationship between China's economic development and energy consumption and analysis of energy conservation potential [J]. *Research on development*, 2007(2): 82-85. DOI: [10.3969/j.issn.1003-4161.2007.02.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-4161.2007.02.020).
- [8] 官义高. GDP 能耗降低指标如何分解? [J]. *中国能源*, 2006, 28(9): 19-22,31. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2006.09.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2006.09.005).
- GUAN Y G. How to decompose indicators of GDP energy intensity reduction? [J]. *Energy of China*, 2006, 28(9): 19-22,31. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2006.09.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2006.09.005).
- [9] 刘晓敏, 刘志辉, 石喆. 基于熵权法的广东省核电节能减排效果综合评价研究 [J]. *南方能源建设*, 2016, 3(3): 31-35. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.03.006](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.03.006).
- LIU X M, LIU Z H, SHI Z. Comprehensive evaluation the nuclear power energy saving and emission reduction of Guangdong province based on the entropy method [J]. *Southern energy construction*, 2016, 3(3): 31-35. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.03.006](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.03.006).
- [10] 罗洋. 基于 AHP-熵权法的综合能源系统多指标评价研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2021. DOI: [10.27139/d.cnki.ghbdu.2021.000746](https://doi.org/10.27139/d.cnki.ghbdu.2021.000746).
- LUO Y. Research on multi index evaluation method of integrated energy system based on AHP-entropy weight method [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2021. DOI: [10.27139/d.cnki.ghbdu.2021.000746](https://doi.org/10.27139/d.cnki.ghbdu.2021.000746).
- [11] 吴光源, 陆洲杰, 李俊波, 等. 基于改进 AHP 熵权法的综合能源配电网指标评估 [J]. *电工材料*, 2022(2): 56-60. DOI: [10.16786/j.cnki.1671-8887.eem.2022.02.015](https://doi.org/10.16786/j.cnki.1671-8887.eem.2022.02.015).
- WU G Y, LU Z J, LI J B, et al. Evaluation of integrated energy power distribution network based on improved AHP entropy right act [J]. *Electrical engineering materials*, 2022(2): 56-60. DOI: [10.16786/j.cnki.1671-8887.eem.2022.02.015](https://doi.org/10.16786/j.cnki.1671-8887.eem.2022.02.015).
- [12] 单联进. 熵权法赋权的清洁可再生能源节能潜力评估方法 [J]. *能源与环保*, 2022, 44(4): 161-166. DOI: [10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.04.027](https://doi.org/10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.04.027).
- SHAN L J. Energy-saving potential assessment method of clean renewable energy based on entropy weight method [J]. *China energy and environmental protection*, 2022, 44(4): 161-166. DOI: [10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.04.027](https://doi.org/10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.04.027).
- [13] 李明辉. 基于层次分析法的节能指标分解研究与分析 [D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- LI M H. Decompose energy-saving index research and analysis based on analytical hierarchy process (AHP) [D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [14] 雷翔胜, 伍子东, 董萍, 等. 基于两阶段聚类分析的用电需求响应潜力评估方法 [J]. *南方能源建设*, 2020, 7(增刊 2): 1-10. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.001](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.001).
- LEI X S, WU Z D, DONG P, et al. Method of demand response potential assessment based on two-stage cluster analysis [J]. *Southern energy construction*, 2020, 7(Suppl. 2): 1-10. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.001](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.001).
- [15] 金珈印. 基于聚类分析的中国能耗强度决定实证研究 [D]. 南京: 南京财经大学, 2020. DOI: [10.27705/d.cnki.gnjcj.2020.000118](https://doi.org/10.27705/d.cnki.gnjcj.2020.000118).
- JIN J Y. China's energy intensity based on cluster analysis decision empirical research [D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2020. DOI: [10.27705/d.cnki.gnjcj.2020.000118](https://doi.org/10.27705/d.cnki.gnjcj.2020.000118).
- [16] 张泽宇, 李锡忠, 费旋, 等. 基于主客观组合赋权法的配电台区低电压多层次多指标权重设计 [J]. *电工技术*, 2020(9): 54-56. DOI: [10.19768/j.cnki.dgjs.2020.09.015](https://doi.org/10.19768/j.cnki.dgjs.2020.09.015).
- ZHANG Z Y, LI X Z, FEI X, et al. Design of low-voltage multi-level multi-index weights in distribution station area based on

- subjective and objective combination weighting method [J]. *Electric engineering*, 2020(9): 54-56. DOI: [10.19768/j.cnki.dgjs.2020.09.015](https://doi.org/10.19768/j.cnki.dgjs.2020.09.015).
- [17] 冯相昭, 杨儒浦, 李媛媛. 关于碳排放“双控”制度建设的若干思考 [J]. *可持续发展经济导刊*, 2022(11): 49-51.
FENG X Z, YANG R P, Li Y Y. Some thoughts on the system construction of controlling the total amount and intensity of carbon emission [J]. *China sustainability tribune*, 2022(11): 49-51.
- [18] 邵飞. 基于“双碳”目标下的综合节能改造研究与探讨 [J]. *上海节能*, 2021(12): 1337-1341. DOI: [10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2021.12.005](https://doi.org/10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2021.12.005).
SHAO F. Research and discussion on comprehensive energy saving renovation based on "double carbon" goal [J]. *Shanghai energy conservation*, 2021(12): 1337-1341. DOI: [10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2021.12.005](https://doi.org/10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2021.12.005).
- [19] 宣晓伟. “能耗双控”到“碳双控”: 挑战与对策 [J]. *城市与环境研究*, 2022(3): 42-55.
XUAN X W. From "the amount and intensity control of energy consumption" to "the amount and intensity control of carbon emission": challenge and strategy [J]. *Urban and environmental studies*, 2022(3): 42-55.
- [20] 谢典, 高亚静, 芦新波, 等. 能耗“双控”向碳排放“双控”转变的实施路径研究 [J]. *综合智慧能源*, 2022, 44(7): 73-80. DOI: [10.3969/j.issn.2097-0706.2022.07.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-0706.2022.07.009).
XIE D, GAO Y J, LU X B, et al. Research on the implementation path of the transition from "dual control" on energy consumption to "dual control" on carbon emission [J]. *Integrated intelligent energy*, 2022, 44(7): 73-80. DOI: [10.3969/j.issn.2097-0706.2022.07.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-0706.2022.07.009).
- [21] 吴滨, 高洪玮. 能耗“双控”政策的碳减排效应分析 [J]. *中国能源*, 2021, 43(6): 39-45. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2021.06.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2021.06.006).
WU B, GAO H W. Analysis of the carbon emission reduction effect of the energy consumption "dual control" policy [J]. *Energy of China*, 2021, 43(6): 39-45. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2021.06.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2021.06.006).

作者简介:



张舒

张舒 (第一作者)

1987-, 女, 工程师, 电气工程及其自动化学士, 主要从事节能降碳政策咨询、碳中和发展研究工作(e-mail)2547764411@qq.com。



谢锦林

谢锦林 (通信作者)

1996-, 男, 工程师, 控制工程硕士, 主要从事能耗双控政策及低碳政策咨询研究(e-mail)978007384@qq.com。

程远林

1982-, 男, 高级工程师, 电气工程硕士, 主要从事能源咨询规划、低碳全领域规划咨询研究(e-mail)52007596@qq.com。

(编辑 赵琪)