

DOI: 10.12158/j.2096-3203.2023.06.027

我国能源安全形势技术分析

李锦煜¹, 刘锐剑¹, 周朝阳², 栗楠², 唐方成¹

(1. 北京化工大学经济管理学院, 北京 100029;

2. 中国华能集团有限公司, 北京 100031)

摘要:能源安全作为国家安全体系的重要组成部分,对于我国社会主义现代化强国建设至关重要。文中以国际能源署对能源安全的定义为基础,从生产保障能力、进口多元程度、经济可承受性3个维度构建能源安全评价指标体系。在此基础上,提出运用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)-熵权法-改进逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)的组合评价方法,得到不受评价范围、评价期影响且相对固定的能源安全指数。通过综合评价中美两国2015年—2021年能源安全水平,得出中美两国能源安全指数变化趋势。结果表明,我国在能源供应保障能力、用能成本等方面具有较大的提升空间,仍须进一步提高我国能源生产能力,加快构建新型能源体系,提升能源自给率,扩大能源国际合作规模,降低用能成本,保障能源安全。

关键词:能源安全;层次分析法(AHP);逼近理想解排序法(TOPSIS);一次能源;生产保障能力;进口多元程度;经济可承受性

中图分类号:TM7;F416.2

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2023)06-0249-07

0 引言

能源作为经济增长、社会进步和国家安全的重要物质基础,在国家建设和发展过程中发挥着核心作用^[1]。近年来,能源市场呈现需求强、供给紧、价格高、波动大、风险多等特点^[2-3],保障能源安全稳定供应逐渐成为影响经济和社会可持续发展的战略性问题,须结合国际环境进行全面系统研究。

由于全球经济发展的不均衡现象,全球能源安全问题日益显现^[4-7]。在复杂多变的国际能源环境下,我国在发展高质量能源、保障能源安全方面取得新成就,但是在需求侧强劲增长、双碳目标硬约束、极端天气和自然灾害频发等各种因素下,我国能源发展也面临着一些突出的安全风险^[8]。一是经济持续增长,但仍存在能源供需结构局部失衡的现象;二是高碳能源占比较高,能源低碳化发展存在较大压力;三是电力系统调节能力不足,难以满足快速增长的电力负荷需求;四是煤价持续高位,发电经济性下降,严重影响煤电企业保供能力发挥。因此,制定科学合理的能源安全评价指标体系、分析与发达国家的差距,对于进一步提高我国能源安全具有重要意义。文献[9]提出能源安全、能源成本和能源环境是能源发展过程中应考虑的3个要素,但难以实现兼顾。文献[10]将能源来源稳

定可靠、能源数量和质量双优、能源消费不以破坏环境为代价作为能源安全内涵。文献[11]从能源供应连续性、能源价格可承受性和环境的影响程度来界定能源安全,并加入可持续发展理念。文献[12]指出我国能源对外合作须时刻关注地缘政治问题,随时调整战略布局。

近年来能源问题变得更加复杂,单一评价指标不足以评估整体能源安全的核心问题。文献[1]使用熵权-逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)对我国一次能源安全指数进行评价,并得出人口自然增长率、石油进口集中度、中国创新指数、石油进口经济承载力、产业结构是对我国能源安全水平影响较大的因素。文献[11]通过构建集成评价模型,提出融数量维、质量维和时空维的能源安全概念框架,并建立可用性、可获性、可持续性、技术发展四维度的能源安全评价体系,对我国化石能源安全状况进行综合分析。文献[13]基于TOPSIS熵值法对中国传统化石能源的安全度进行分析,并构建综合评价指标体系。

上述文献对我国能源安全的研究集中在能源安全内涵转变和客观评价指标体系。文中在前人研究基础上,提出构建兼顾能源安全潜在主观性和真实数据客观性的能源安全评价指标体系,通过提升指标权重的准确性,有效避免现有评价方法指标选取无法量化等问题,可最大程度反映能源安全的真实情况。

收稿日期:2023-04-17;修回日期:2023-07-26

基金项目:北京市社会科学基金项目(21LLYJB103)

1 能源安全水平评价体系构建

根据国际能源署定义,能源安全指可靠、经济地获得所有能源,前者反映能源供应“量”是否充足,后者反映能源消费“价”能否承受。文中主要研究一次能源安全相关问题。

围绕反映能源安全的可靠性和经济性指标,文中从生产保障能力、进口多元程度、经济可承受性3个维度进行分析,并构建能源安全评价指标体系,采用横向和纵向比较相结合的研究方式对我国能源安全水平进行综合评价。为保证所选取的指标在国际范围内可比、可量化,按照综合性、可比性及可获得性3项原则确立12个定量指标,所构建的评价指标体系见表1。

表1 能源安全评价指标体系
Table 1 Index system of energy security evaluation

维度	指标
生产保障能力 A	煤炭储产比 A_1
	原油储产比 A_2
	天然气储产比 A_3
	煤炭自给率 A_4
	原油自给率 A_5
	天然气自给率 A_6
进口多元程度 B	煤炭进口多样性指数 B_1
	原油进口多样性指数 B_2
	天然气进口多样性指数 B_3
经济可承受性 C	煤炭价格 C_1
	原油价格 C_2
	天然气价格 C_3

表1中,生产保障能力主要包含煤炭、原油、天然气等主要一次能源的储产比和自给率。能源储产比是可采储量与采出量的比值,反映该类能源自给自足的支撑程度;能源自给率是该类能源自产总量与消费总量的比值,反映该类能源消费对进口的依赖程度,数值越大,自给程度越高。进口多元程度主要包含煤炭、原油、天然气的进口多样性,反映能源进口的均衡程度。经济可承受性主要包含煤炭、原油、天然气的终端销售价格,反映各国能源利用成本的高低。

2 能源安全水平评价模型

2.1 研究方法选择

为了避免单一赋权方式的不足,兼顾专家经验的主观性与数据的客观性^[14],文中采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)-熵权法对指标进行赋权,求取组合权重,再结合改进TOPSIS数据标

准化方式综合得出评价结果。

AHP是一种简单且高效的主观分析法^[15]。在应用时,使用者通过主观分析各要素重要程度,将其分为不同等级,经比较后建立评分判断矩阵并计算权重,并且需要通过一致性检验。熵本属于物理概念,现广泛运用于信息学。在熵的基本原理下,某个指标的离散程度也就是对指标体系的影响程度可以用熵值的大小来判断^[16-17]。传统TOPSIS是通过构造多属性问题的正负理想解,并以方案接近正负理想解的程度作为排名标准来选择满意方案^[18-20]。改进TOPSIS是通过设定指标的正理想值和负理想值,以指标靠近正理想值和远离负理想值的程度作为判断指标优劣的依据,进而计算出标准化结果。

文中所提能源安全水平评价模型主要分为以下4步。一是通过AHP求得以3个维度来划分的一级指标主观权重;二是利用熵权法计算以具体指标来划分的二级指标客观权重,通过加权组合计算确定组合权重;三是利用改进TOPSIS距离函数法对指标数据进行标准化处理;四是根据标准化结果和组合权重计算得出能源安全指数。能源安全水平评价流程如图1所示。

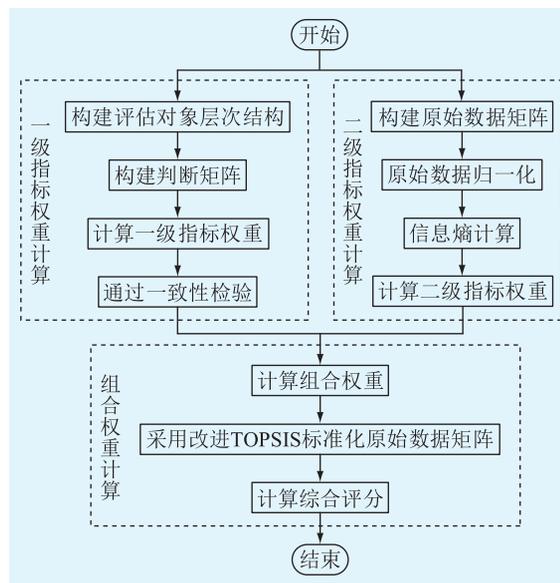


图1 能源安全水平评价流程

Fig.1 Evaluation process of energy security level

AHP的权重计算过程限制了指标的数量和范围,且主观性较强。熵权法的适用范围广,不受主观因素影响,但受数据本身波动性影响较大。能源安全水平不仅依赖国家能源资源状况,也应充分考虑国家政策和方向等多方面因素。因此,通过结合AHP和熵权法可以得出兼顾专家经验主观性和真实数据客观性的组合权重,计算得出的指标权

重精度高。利用改进 TOPSIS 对原始数据进行标准化处理获得标准化结果,以指标接近正、负理想值的 2 个距离作为评价指标优劣的依据。以每个指标的贴近度作为数据标准化结果,可以有效避免评价对象范围和评价期变动对结果的影响。

2.2 评价模型构建

2.2.1 主观权重计算

文中通过对指标体系内各元素进行分析,将元素划分为不同层次,对指标体系内一级指标进行比较分析,建立新的一级指标层次形成判断矩阵,计算并通过一致性检验后确定权重,步骤如下。

(1) 构建层次结构模型,如图 2 所示。鉴于当前能源安全问题聚焦于一次能源,将指标体系内各指标根据一次能源的种类重新划分层次结构模型,以此建立的一级指标结构确定权重,可判断不同类型的一次能源对该国能源安全的支撑程度。

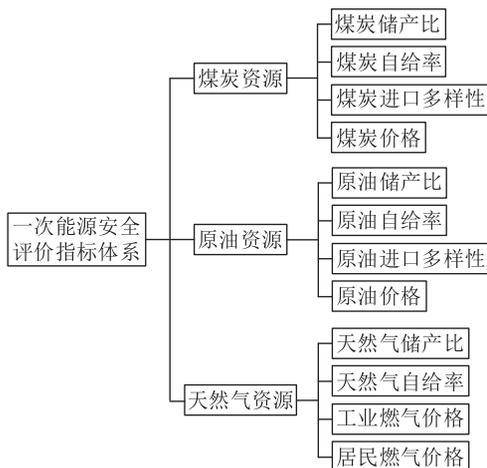


图 2 能源安全评价指标体系层次结构

Fig.2 Hierarchical structure of energy security evaluation indicator system

(2) 在同层级指标间采用两两比较 9 级标度法^[21]建立判断矩阵,根据该领域专家经验,比较程度由表 2 决定,得到判断矩阵 A 。

表 2 9 级标度法

Table 2 Scale factor method from 1 to 9

标度值	标度含义
1	2 个元素同样重要
3	2 个元素相比,一个元素比另一个元素稍微重要
5	2 个元素相比,一个元素比另一个元素明显重要
7	2 个元素相比,一个元素比另一个元素强烈重要
9	2 个元素相比,一个元素比另一个元素极端重要
2,4,6,8	介于上述相邻判断之间的程度

(3) 由于专家对指标进行两两比较时会存在偏差,为确保各指标之间重要性的协调度,确保结果可靠性,需通过一致性检验后才可确定一级指标权重,方法如下。按列归一化,得到判断矩阵 H ,根据矩阵计算权重向量后得到特征向量矩阵 $W = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_n]$ 。根据相符的平均随机一致性指标 I_R ^[14]计算一致性比例 R_C 。

$$R_C = \frac{I_C}{I_R} \quad (1)$$

式中: I_C 为一致性检验指标。

若 $R_C \leq 0.1$,则通过一致性检验,最大特征值 λ_{\max} 所对应的特征向量即为权重比例向量^[20],归一化后最终得到相应的初始指标权重;若 $R_C > 0.1$,则判断矩阵不符合一致性检验,须重新建立。 I_R 取值如表 3 所示, N 为矩阵阶数。

表 3 I_R 取值

Table 3 I_R value

N	I_R	N	I_R
1	0	6	1.24
2	0	7	1.36
3	0.52	8	1.41
4	0.89	9	1.45
5	1.12		

2.2.2 客观权重计算

客观权重采用熵权法进行计算,熵权法通过每个指标数据信息量的多少即指标变动幅度的大小确定该指标所占权重,具体步骤如下。

(1) 构建评价矩阵 X 为原始评价指标数据矩阵, X_{ij} 为第 j 个指标第 i 年的评价指标数据($j = 1, 2, \dots, m$, 其中 m 为指标总数; $i = 1, 2, \dots, n$, 其中 n 为总年数)。

(2) 计算特征比重 P_{ij} 。

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}} \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 为 X_{ij} 的标准化。

(3) 计算第 j 个指标的熵值 e_j 。

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n (P_{ij} \ln P_{ij}) \quad (3)$$

(4) 计算第 j 个指标的客观权重 μ_j 。

$$\mu_j = \frac{1 - e_j}{m - \sum_{j=1}^m e_j} \quad (4)$$

2.2.3 组合权重计算

利用客观权重 μ_j 修正 AHP,求出初始权重 U_j ,

采用层次递归方式确定组合权重 θ_j 。

$$\theta_j = \frac{\mu_j U_j}{\sum_{j=1}^m \mu_j U_j} \quad (5)$$

2.2.4 数据标准化

为消除数据量纲不一致导致数据无法直观可比的现象,首先对统计数据进行标准化处理,将指标的绝对值转换为相对值。为避免转变后的相对值受样本范围的变化而变动,文中采用改进 TOPSIS 距离函数法对指标进行标准化。

(1) 构建能源安全原始评价指标数据矩阵 \mathbf{X} 。

(2) 根据全球能源发展水平设定正理想值 V^+ 和负理想值 V^- 。

(3) 计算第 j 个指标到正理想值的距离即 D_j^+ , 以及第 j 个指标到负理想值的距离即 D_j^- 。

$$D_j^+ = \sqrt{(V_j^+ - X_{ij})^2} \quad (6)$$

$$D_j^- = \sqrt{(V_j^- - X_{ij})^2} \quad (7)$$

式中: V_j^+ 、 V_j^- 分别为第 j 个指标的最大值和最小值。

(4) 计算每个指标的贴近度 S_j 。

$$S_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (8)$$

(5) 利用改进 TOPSIS 距离函数法得到标准化数据矩阵 \mathbf{Y}' 。

2.2.5 基于 AHP-熵权法-改进 TOPSIS 的组合评价

计算第 i 年的综合得分,根据数据标准化结果,得到能源安全指数 Z_i 。

$$Z_i = \sum_{j=1}^m Y'_{ij} \theta_j \quad (9)$$

3 中美能源安全指标评价对比

3.1 能源安全综合指数计算

选择国际能源署创始国之一美国与我国进行能源安全指标对比。美国在上世纪 70 年代石油危机后,确立了以“能源独立”为导向的能源战略,通过加强传统化石能源开采以及大力发展可再生能源,实现了从能源净进口国到净出口国的转变。通过与美国比较,有助于我国客观分析所处形势,进一步取长补短、提升能源安全水平^[22-23]。文中指标选取的实证数据来自《BP 世界能源统计年鉴》^[24]、国家统计局^[25]、海关总署^[26]。

以我国 2021 年能源相关数据为例,根据第 2 章理论分析,通过 AHP-熵权法计算得到组合权重值,如表 4 所示;基于改进 TOPSIS 得到标准化数值,如表 5 所示;最终得到 2015 年—2021 年我国能源安全指数及生产保障能力、进口多元程度、经济可承

受性分项评价指标数据,如表 6 所示。同理,计算 2015 年—2021 年美国能源安全指数及分项指标数据,如表 7 所示。

表 4 2021 年我国能源安全评价组合权重

Table 4 Combined weighting of energy security evaluation for 2021 in China

指标	权重	指标	权重
煤炭储产比	0.07	原油进口 多样化指数	0.03
原油储产比	0.02	天然气进口 多样化指数	0.18
天然气储产比	0.01	煤炭价格	0.08
煤炭自给率	0.35	原油价格	0.04
原油自给率	0.07	工业燃气价格	0.02
天然气自给率	0.03	居民燃气价格	0.02
煤炭进口 多样化指数	0.07		

表 5 2021 年我国能源安全评价标准化数值

Table 5 Standardized values of energy security evaluation for 2021 in China

指标	权重	指标	权重
煤炭储产比	0.71	原油进口 多样化指数	0.91
原油储产比	0.29	天然气进口 多样化指数	0.86
天然气储产比	0.85	煤炭价格	0.42
煤炭自给率	0.93	原油价格	0.64
原油自给率	0.28	工业燃气价格	0.24
天然气自给率	0.56	居民燃气价格	0.60
煤炭进口 多样化指数	0.60		

表 6 2015 年—2021 年我国能源安全指数及分项评价指标数据

Table 6 Energy security index and sub-evaluation index data for 2015-2021 in China

年份	能源安全指数	生产保障指数	进口多元指数	经济可承受指数
2015	0.76	0.46	0.20	0.11
2016	0.76	0.45	0.21	0.11
2017	0.75	0.45	0.21	0.09
2018	0.74	0.44	0.21	0.09
2019	0.75	0.44	0.21	0.09
2020	0.76	0.43	0.22	0.10
2021	0.72	0.44	0.21	0.07

3.2 算例分析

3.2.1 我国能源安全水平评价

从结果来看,我国能源供应保障能力相对稳定,价格波动是影响能源安全的主要因素。从生产保障维度看,2015 年由于能源消费增速放缓,生产

表7 2015年—2021年美国能源安全指数
及分项评价指标数据

Table 7 Energy security index and sub-evaluation
index data for 2015-2021 in U.S.

年份	能源安全指数	生产保障指数	进口多元指数	经济可承受指数
2015	0.76	0.43	0.06	0.27
2016	0.76	0.42	0.06	0.28
2017	0.76	0.43	0.06	0.27
2018	0.77	0.45	0.06	0.26
2019	0.77	0.46	0.05	0.26
2020	0.78	0.47	0.04	0.26
2021	0.75	0.46	0.06	0.24

保障指数达到0.46,为近几年最高水平。此后随着消费提升,产量增速未能跟上消费增长步伐,生产保障指数有所下降,2021年降至0.44。从进口多元维度看,原油进口多样性始终维持高位,天然气进口多样性不断提升,煤炭进口多样性下滑但整体进口多元指数有所提升,从而生产保障和进口多元指数之和处于相对稳定态势。从经济可承受维度看,2017年—2018年的煤炭、石油价格上涨导致经济可承受指数较往年明显下降,2020年受疫情冲击,能源价格大幅下降,经济可承受指数提高使能源安全水平有所回升,2021年受能源价格上涨影响再次跌落。经计算,2021年我国能源安全构成要素中,能源生产保障指数贡献度约60%,进口多元指数贡献度约30%,经济可承受指数贡献度约10%。

3.2.2 美国能源安全水平评价

从美国各维度指标可以看出,能源价格基本平稳,生产保障能力是支撑能源安全的主要因素。生产保障指数由2015年的0.43提高到2021年的0.46。从进口多元维度看,煤炭和天然气不存在对外依赖故不再考虑其多样化指数。从经济可承受维度看,经济可承受指数基本平稳,仅2021年受国际能源价格上涨影响有所下滑。经计算,2021年美国能源安全构成要素中,能源生产保障指数贡献度约62%,进口多元指数贡献度仅6%,经济可承受指数贡献度约32%。

3.2.3 中美能源安全水平对比分析

由表6、表7中能源安全指数对比结果可知,2021年中美两国能源安全指数均有所降低。我国2021年能源安全指数为0.72,比上年降低0.04;美国能源安全指数为0.75,比上年降低0.03。2015年以来,我国能源安全指数处于先下降后上升再下降趋势,美国能源安全指数则稳步提升直至2021年有所下降。经比较,我国能源安全水平与美国相比存

在一定差距,主要表现在两方面。

一是能源进口多元程度无法完全弥补国内生产能力不足,与稳步增长的能源消费相比,能源供应保障能力提升相对滞后。中美两国在保障能源供应方面的着力点有很大不同,从生产保障指数和进口多样性指数走向可以看出,美国在能源消费总量已基本平稳的情况下,以提高能源生产保障能力为抓手不断提高能源供应保障能力。我国能源消费仍以年均3%的速度增长,国内能源产能难以跟上消费增速步伐,在煤炭、原油、天然气对外依存度均有所提升的现实情况下,不得不同步拓宽能源进口渠道,才得以维持能源整体供应平衡。

二是能源定价权不足导致受国际能源价格上涨影响较大。2021年,中美两国能源安全指数均出现下降趋势,主要原因是能源价格高涨导致经济可承受指数下滑,进而不同程度地拉低能源安全总指数。相比较而言,我国一次能源价格明显高于美国。尤其2021年,我国能源价格紧跟国际能源价格大幅上涨,天然气价格是美国的2倍左右,石油价格比美国高16%,能源利用成本差距进一步拉大。对于原油和天然气等外购比例较高的能源,我国尚缺乏定价话语权,在一定程度上提高了进口成本。

4 结论

文中通过构建能源安全评价指标体系,从生产保障能力、进口多元程度、经济可承受性3个维度对中美两国的能源安全水平进行评价分析,提出一种基于AHP-熵权法-改进TOPSIS的组合评价方法,可以充分考虑指标性质的综合性,结合真实数据客观性、国家政策客观性和专家经验主观性,解决不同性质指标的同质化比较问题。通过中美能源安全形势对比可知,我国能源安全水平与发达国家相比,在一次能源生产供应保障能力方面仍存在不足,能源安全水平受国际能源价格上涨的影响较大。为提升能源安全保障能力,有效应对各种风险和突发事件,提升国家整体安全水平,基于我国基本国情,建议采取以下几点措施。

(1) 加快发展以清洁能源为主要来源的能源供应体系,提高能源自给率。加快从化石能源消费向清洁能源消费的转型升级,坚持集中与分散、陆上与海上、就地消纳与远距离对外输送并举的发展原则,努力实现清洁能源大规模、高比例、多元化发展,推动清洁能源替代传统化石能源成为新的主体电源。同时,深入推进工业、建筑领域的电能替代,有效缓解石油、天然气对外依存度。大力发展风

电、光伏等新能源基地建设,增加高压、抽水蓄能方面的投资,加快形成将新能源转化为稳定电力供应的技术体系,构建以新能源为主体的新型电力系统。

(2) 扩大国际能源合作规模,积极引领全球能源治理体系变革。提升能源进口多元化程度,降低天然气、石油等传统化石能源的进口集中度,避免对一国能源过度依赖,开拓海外油气开采和进口空间范围,促进能源进口结构的平衡发展。主动参与重点国际合作机构的关键能源问题解决及能源相关规则制定,推进发达国家援助资金机制和国际碳市场机制等重要议题谈判,有效提升我国能源定价权,减少用能成本压力。

参考文献:

- [1] 史丹,薛钦源. 中国一次能源安全影响因素、评价与展望[J]. 经济纵横,2021(1):31-45,2.
SHI Dan,XUE Qinyuan. Influencing factors,evaluation and outlook of primary energy security in China[J]. Economic Review Journal,2021(1):31-45,2.
- [2] 杨宇,何则. 能源地缘政治与能源权力研究[J]. 地理科学进展,2021,40(3):524-540.
YANG Yu,HE Ze. Energy geopolitics and power[J]. Progress in Geography,2021,40(3):524-540.
- [3] 吕建中. 保障能源安全需做好传统能源与新能源战略协同[J]. 世界石油工业,2022,29(2):1-6.
LYU Jianzhong. Necessary to coordinate traditional and new energy strategies to ensure energy security[J]. World Petroleum Industry,2022,29(2):1-6.
- [4] 李昕蕾. 全球气候危机中的能源安全韧性治理[J]. 国家治理,2022(17):20-25.
LI Xinlei. Resilient governance of energy security under the global climate crisis[J]. Governance,2022(17):20-25.
- [5] 苏俊,王永洵,王强. 全球能源安全的格局演变与地缘博弈[J]. 自然资源学报,2020,35(11):2613-2628.
SU Jun,WANG Yongxun,WANG Qiang. Pattern evolution of global energy security and the geopolitical game[J]. Journal of Natural Resources,2020,35(11):2613-2628.
- [6] 史丹. 全球能源格局变化及对中国能源安全的挑战[J]. 中外能源,2013,18(2):1-7.
SHI Dan. Changes in global energy supply landscape and implications to China's energy security[J]. Sino-Global Energy,2013,18(2):1-7.
- [7] 杨宇,于宏源,鲁刚,等. 世界能源百年变局与国家能源安全[J]. 自然资源学报,2020,35(11):2803-2820.
YANG Yu,YU Hongyuan,LU Gang,et al. Interview on the unprecedented changes of energy geopolitics and national energy security[J]. Journal of Natural Resources,2020,35(11):2803-2820.
- [8] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. “十四五”时期,我国能源发展面临的问题和重点任务[J]. 中国能源,2022,44(4):6-12.
Research Group of the Institute of Industrial Economics of CASS. Problems and key tasks faced by China's energy development during the "14th five-year plan" period[J]. Energy of China,2022,44(4):6-12.
- [9] 辛保安,单葆国,李琼慧,等. “双碳”目标下“能源三要素”再思考[J]. 中国电机工程学报,2022,42(9):3117-3126.
XIN Baoan,SHAN Baoguo,LI Qionghui,et al. Rethinking of the "three elements of energy" toward carbon peak and carbon neutrality[J]. Proceedings of the CSEE,2022,42(9):3117-3126.
- [10] 尹伟华. 新时期我国能源安全评价指标体系构建及评估[J]. 中国物价,2022(4):109-112.
YIN Weihua. System construction and assessment for China's energy security in the new era[J]. China Price,2022(4):109-112.
- [11] 余敬,王小琴,张龙. 2AST 能源安全概念框架及集成评价研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2014,14(3):70-77,140.
YU Jing,WANG Xiaoqin,ZHANG Long. 2AST conceptual framework and integrated evaluation of energy security[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition),2014,14(3):70-77,140.
- [12] 李新权,杨晓锋. 我国能源安全战略面临的挑战与国际经验借鉴[J]. 全球化,2022(1):107-115,136.
LI Xinquan,YANG Xiaofeng. Challenges of China's energy security strategy and the reference from international experience[J]. Globalization,2022(1):107-115,136.
- [13] 王磊,李世然,张岗. 基于 TOPSIS 熵值法的中国传统化石能源安全测度研究[J]. 工业技术经济,2022,41(7):124-129.
WANG Lei,LI Shiran,ZHANG Gang. Research on Chinese traditional fossil energy security measurement based on TOPSIS entropy method[J]. Journal of Industrial Technological Economics,2022,41(7):124-129.
- [14] 孟明,罗洋. 基于 AHP-熵权法的综合能源系统多指标评价[J]. 电力科学与工程,2021,37(5):46-54.
MENG Ming,LUO Yang. Multi-index evaluation of integrated energy system based on AHP entropy weight method[J]. Electric Power Science and Engineering,2021,37(5):46-54.
- [15] 胡嘉峰,王丽丽. 基于熵权 AHP 修正-TOPSIS 评价模型在选择方面的应用研究[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版),2022,34(3):43-48,82.
HU Jiafeng,WANG Lili. Application of AHP modified TOPSIS evaluation model based on entropy weight in selection[J]. Journal of Hunan University of Arts and Science (Science and Technology),2022,34(3):43-48,82.
- [16] 唐学军,谭忠富,李智威,等. 基于 AHP-熵权法的配电网设备资产运检成本优化配置模型[J]. 电力建设,2022,43(10):166-172.
TANG Xuejun,TAN Zhongfu,LI Zhiwei,et al. AHP-entropy weight method based optimal allocation of operation and maintenance cost of distribution network equipment assets[J]. Electric Power Construction,2022,43(10):166-172.

- [17] 唐夏菲,殷旭锋,刘倭志,等. 基于熵权—灰色关联变权重的有序用电决策方法[J]. 电力科学与技术学报,2022,37(5):164-173.
TANG Xiafei, YIN Xufeng, LIU Louzhi, et al. The decision-making method of orderly power consumption based on variable weights given by the entropy weight-grey relation[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2022, 37(5): 164-173.
- [18] 吕志鹏,吴鸣,宋振浩,等. 电能质量 CRITIC-TOPSIS 综合评价方法[J]. 电机与控制学报,2020,24(1):137-144.
LYU Zhipeng, WU Ming, SONG Zhenhao, et al. Comprehensive evaluation of power quality on CRITIC-TOPSIS method[J]. Electric Machines and Control, 2020, 24(1): 137-144.
- [19] 刘亚丽,王旭东,赵迎春,等. 基于 TOPSIS 法的充电机运行性能组合赋权评价方法[J]. 电力工程技术,2019,38(5):130-137.
LIU Yali, WANG Xudong, ZHAO Yingchun, et al. Evaluation method for the combination weighting of charging machine operating performance based on TOPSIS method[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(5): 130-137.
- [20] 王利利,贾梦雨,韩松,等. 基于 TOPSIS—灰色关联度的农网投资效益与风险能力综合评价[J]. 电力科学与技术学报,2020,35(4):76-83.
WANG Lili, JIA Mengyu, HAN Song, et al. Synthesized evaluation of investment efficiency and risk ability of rural network based on TOPSIS-gray incidence[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2020, 35(4): 76-83.
- [21] 鲁瑜亮,陈峥,段青,等. 基于 AHP-改进的熵权法-TOPSIS 的智慧能源系统评价[J]. 智能电网,2020(1):21-28.
LU Yuliang, CHEN Zheng, DUAN Qing, et al. Evaluation of smart energy system based on AHP-improved entropy weight method-TOPSIS[J]. Smart Grid, 2020(1): 21-28.
- [22] 刘泽洪,周原冰,金晨. 支撑新能源基地电力外送的电源组合优化配置策略研究[J]. 全球能源互联网,2023,6(2):101-112.
LIU Zehong, ZHOU Yuanbing, JIN Chen. Optimization strategy study on installation mix of renewable energy power base for supporting outbound delivery[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2023, 6(2): 101-112.
- [23] 王延峰,申永鹏,唐耀华,等. 双碳目标下 NB-IoT 能源物联网安全构架及关键技术[J]. 电力系统保护与控制,2022,50(8):179-187.
TAN Yanfeng, SHEN Yongpeng, TANG Yaohua, et al. Framework and key technologies for NB-IoT energy internet of things to achieve carbon peak and neutrality goals[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(8): 179-187.
- [24] BP Statistical review of world energy 2021 [EB/OL]. [2023-01-25]. <http://www.bp.com/statisticalreview>.
- [25] 中华人民共和国统计局. 国家数据-2022 年度数据 [EB/OL]. [2023-01-25]. <http://data.stats.gov.cn/gwz.htm>.
Statistics Bureau of the People's Republic of China. Country data-2022 annual data [EB/OL]. [2023-01-25]. <http://data.stats.gov.cn/gwz.htm>.
- [26] Summary of imports and exports (in RMB) [EB/OL]. [2023-01-25]. <http://www.customs.gov.cn/customs/>.

作者简介:



李锦煜

李锦煜(1996),女,硕士在读,研究方向为能源安全(E-mail:564975012@qq.com);

刘锐剑(1990),男,博士,副教授,通信作者,研究方向为区域发展战略;

周朝阳(1972),男,博士,高级工程师,从事工业经济能源转型相关工作。

Technical analysis of China's energy security situation

LI Jinyu¹, LIU Ruijian¹, ZHOU Chaoyang², LI Nan², TANG Fangcheng¹

(1. School of Economics & Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. China Huaneng Group Co., Ltd., Beijing 100031, China)

Abstract: As an important part of the national security system, energy security is of great importance to the construction of a modern and powerful socialist country in China. Based on the definition of energy security by the International Energy Agency, an evaluation index system of energy security is constructed from three dimensions: production guarantee capacity, import diversification degree and economic affordability. On this basis, analytical hierarchy process (AHP)-entropy weight method-improved technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) evaluation method are combined to obtain relatively fixed energy security index which is not affected by evaluation range and evaluation period. Through the comprehensive evaluation of energy security levels of China and the United States from 2015 to 2021, the change trends of energy security indices of China and the United States are obtained. The results show that China has vast improvement in energy supply guarantee capacity and energy consumption cost, and still needs to further improve China's energy production capacity, accelerate the construction of a new energy system, enhance energy self-sufficiency, expand the scale of international energy cooperation, reduce energy consumption costs, and ensure energy security.

Keywords: energy security; analytical hierarchy process (AHP); technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS); primary energy; production assurance capability; import diversification; economic affordability

(编辑 吴楠)