

# 中国一次能源安全 影响因素、评价与展望

史丹,薛钦源

(中国社会科学院工业经济研究所,北京 100006)

(中国社会科学院大学工业经济系,北京 102488)

**摘要:**社会经济稳定发展离不开能源安全的保障,尤其是在中国面临的外部政治经济环境已经发生重大变化的情况下,能源安全的重要性更加突出。针对一次能源安全问题,从能源的可得性、经济性、清洁性和可持续性四个维度构建中国能源安全评价指标体系。以熵权法—TOPSIS距离函数模型对中国2005—2024年的能源安全水平进行定量测度和评价,并通过灰色关联分析法探究与中国能源安全关联程度较高的影响因素。研究表明2005—2019年,有6年时间中国能源安全处于预警等级,整体而言能源安全水平呈先下降后上升的态势,且2020—2024年能源安全水平仍有进一步的提升空间。通过对能源安全水平及其影响因素的关联度分析,发现人口自然增长率、石油进口集中度、中国创新指数、石油进口经济承载力、产业结构是与能源安全水平关联程度最高的5个因素。根据分析结果和存在的薄弱环节,应将能源可获得性作为预防能源风险的重要内容;处理好能源短期安全与长期安全的关系;把“稳价格”“降成本”作为提高能源安全保障的重要途径;坚定推进能源清洁化、可持续发展。

**关键词:**能源安全;石油进口集中度;中国创新指数;产业结构;指标体系

**中图分类号:**F426.2      **文献标识码:**A

**文章编号:**1007-7685(2021)01-0031-15

**DOI:**10.16528/j.cnki.22-1054/f.202101031

作为经济增长、社会发展、技术进步及国家安全保障的重要物质基础,能源在国家建设和发展进程中扮演着重要角色,因此,世界各国对能源安全风险一直尤为重视。习近平总书记指出,“能源的重要性和能源资源的稀缺性决定了,谁掌握了能源,谁就可以掌握发展空间,掌握创造财富的重要源泉”<sup>[1]</sup>。2020年4月17日中共中央政治局会议“六保”决策部署中,进一步强调保障能源安全。可以说保障能源安全是一个国家长久稳定发展的基本前提。当前,我国经济发展面临的外部环境和内部条件已经发生变化,加之新冠肺炎疫情的影响,国际形势和世界能源格局将变得更加严峻和复杂。例如,从贸易争端到科技制裁,部分西方国家遏制我国发展之心昭然若揭,未来是否会利用其自身的能源独立优势,对我国采取能源制裁等手段犹未可知。在此背景下,保障能源安全、促进经济稳定发展变得愈发重要,对相关问题的深入研究也更加具有现实意义。

**作者简介:**史丹,中国社会科学院工业经济研究所所长、研究员;薛钦源(通讯作者),中国社会科学院大学工业经济系博士研究生。

**注:**本文是中国社会科学院习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心项目“建设现代经济体系研究”(编号:2019-09)和中国社会科学院登峰战略优势学科项目(产业经济学)的成果。

## 一、能源安全相关研究进展及评述

### (一) 对能源安全的认识

从能源安全的定义及描述来看,国际能源署(IEA)认为能源安全指一个国家能够以可支付的价格获得不间断供给的能源。<sup>[2]</sup>美国《国家能源政策》将能源安全定义为能够以合理的价格可靠地获得能源,并且能源使用不以牺牲环境为代价。<sup>[3]</sup> Winzer 分析了 36 个关于能源安全的定义,认为能源安全可以概括为,在实现经济增长和社会可持续发展目标的过程中,保障能源供给能够不间断地满足能源需求的过程。<sup>[4]</sup> 对中国能源安全问题的研究开始于 20 世纪 90 年代,根据研究关注重点的不同,可以分为三个主要阶段。早期研究主要关注能源供需匹配方面的问题。如,史丹认为能源安全是为保障国家经济与社会持续健康发展,对能源生产、消费、进口等方面采取的一系列安全措施。<sup>[5]</sup> 张雷认为能源安全是能源供应安全和能源使用安全的有机统一。<sup>[6]</sup> 进入 21 世纪,我国能源贸易活动日渐增多,石油进口量逐年增大,加之国际石油价格波动性较以往更加强烈,部分学者开始从国际政治和能源贸易视角对能源安全问题进行研究。他们认为中国的能源安全问题主要集中在能源价格波动风险和可获得性风险两个方面,价格波动风险主要表现为国际能源价格短期内的剧烈波动和能源价格不断上升导致的购买支付力不足;可获得性风险主要涉及能源获得的稳定性和能源运输的安全性问题。<sup>[7,8]</sup> 近年来,随着社会发展与自然环境的矛盾日益突出,能源安全的研究范畴开始由能源供需平衡、国际能源贸易及价格向环境气候和可持续发展方面延伸。温室气体排放、环境友好、可再生新能源发展和能源效率提升等问题被愈发重视,并被逐步纳入新的能源安全实践中。<sup>[9-12]</sup>

### (二) 能源安全的影响因素

对能源安全概念的理解与对能源安全影响因素的认识基本上是一致的。一些研究侧重于分析能源价格对能源安全的影响。如,林伯强和牟敦国认为能源价格对能源安全的影响较大,中国的能源安全需要立足于国内能源市场供应量和价格的稳定,合理地进口国外能源。<sup>[13]</sup> 也有研究从生态安全的角度出发,认为环境因素对能源安全的制约性将会不断增长。<sup>[14,15]</sup> 如,吕连宏等运用 PSR 模型研究中国能源生态安全问题,发现自 2005—2016 年以来,中国能源开发利用对生态安全的影响日益减轻,能源生态安全保障水平不断增强。<sup>[16]</sup> 还有学者从能源可持续性<sup>[17]</sup>、地缘政治<sup>[18]</sup>、能源进口来源地风险<sup>[19]</sup>、宗教因素<sup>[20]</sup>、能源跨境运输安全<sup>[21]</sup>等具体方面分析中国的能源安全问题。当然也有部分学者从综合性的角度探讨能源安全问题。如,王礼茂认为能源安全体现在资源本身,覆盖国家经济、政治、运输、安全和军事保障五个方面。<sup>[22]</sup> 李根等认为影响能源安全的因素主要集中在物理、人理和事理三个方面。<sup>[23]</sup> 史丹认为产业结构升级、能效提升、新旧能源接替和国际关系的处理是保障中国能源安全的重要因素。<sup>[24]</sup> 郭明晶等从供应安全、储运安全、市场安全和环境安全四个维度,对中国 2006—2015 年的天然气安全程度进行测算,研究表明在评价期内中国天然气安全水平有所上升。<sup>[25]</sup> 薛静静等从能源的可获得、可支付、效率和技术研发四个维度对中国的能源供给安全程度进行测评,结果显示 2001—2006 年能源供给安全程度有所下降,2006—2010 年能源供给安全程度大幅上升,整体而言,中国能源供给安全水平不断提高。<sup>[26]</sup>

### (三) 能源安全评价方法

近年来,能源安全评价的定量研究日益增多,涉及能源安全评价的方法呈多样化特征。根据评价指标数量可以将能源安全评价区分为单指标评价和多指标评价。单指标评价指评价指标能直接地反映所研究问题的最迫切部分,但是评价维度较低,对复杂系统进行描述时可能产生描述结果片面性或不够客观等问题。<sup>[27]</sup> 目前,应用较为广泛的能源安全指标主要有香农—维纳指数(SWI)、赫芬达尔—赫希曼指数(HHI)、能源对外依存度指数、石油进口集中度指数、能源价格指数、能源消费强度指数、能源效率指数、碳强度指数等<sup>[28,29]</sup>;多指标评价的方法能够通过多维度分析,充分反映研究对象的多方面性质,但是多指标评价方法可能会在应用方面存在一定的困难。一是如果对指标体系缺乏系统、深刻的了解,可

能导致重要指标缺失或同类指标重复。<sup>[30]</sup>二是在指标体系中对于不同指标权重的分配难以得到标准化答案,即不同研究者可能因为不同立场和观点对不同指标权重分配的差异较大。就指标权重确定的方法来看,现有文献中较为常见的方法主要有专家打分法、平均权重法、主成分分析法、层次分析法、熵权分析法等。不同权重确定方法各有其适用性,需要结合具体问题具体分析。如,专家打分法对专家经验判断的要求较高,主观性也较强;平均权重法对重要信息的反映能力不足;主成分分析法在原始信息的相关性较低时,不能起到很好的降维作用,同时降维后也会存在少量的信息缺失问题;层次分析法仍然无法避免主观性问题;熵权法对数据要求较高,同时如果数据之间的差异和波动性较小,将严重影响熵权法的价值体现。

#### (四) 简要评述与说明

能源安全的评价问题是在经济合理和环境友好的约束下,对持续、稳定获得能源以满足能源消费需求的能力或状态的研究,是一个多维度、动态的综合性问题。既有研究主要存在以下三个方面的不足:第一,作为一次能源加工或转化而得到的不同形态能源产品,以电力和气液态燃料为主的二次能源安全问题在概念、性质、评价目标和研究方法上同一次能源安全具有根本性的区别。就已有的研究来看,大多文献是以一次能源安全为研究对象,但是没有对两者的特性进行区分,在研究方法和评价指标上混为一谈,导致两种不同类型的评价指标被不加区分地混用。第二,评价指标较为单一或指标体系不能充分契合中国国情。同时,指标之间的系统性不强,逻辑关系不够密切或缺乏必要的解释和说明。此外,评价指标体系中的定性指标过多、定量指标不足,使得评价结果对定性指标判断的准确性依赖过高。第三,评价方法缺乏创新,大多采用专家打分法、层次分析法或几种方法的简单叠加,评价判断过于依赖专家经验,导致评价结果的主观性较强。因此,本文力图在全面分析影响中国能源安全因素的基础上,从中国能源安全体系的科学内涵入手,构建符合中国国情的综合性能源安全评价指标体系,以客观的评价方法,研究2005年以来中国能源安全水平及演变过程,并对未来几年的变化趋势给出预测,为政府制定能源安全保障政策,以及后续研究者定量分析中国能源安全问题提供科学参考。

## 二、中国能源安全评价指标体系构建

### (一) 研究对象及研究范围

能源安全评价是以整个能源系统为评价对象,分析影响能源安全的主要因素,构建一套可量化的评价指标体系,采用一定的理论与方法,对能源安全的历史及当前状况和未来变化趋势进行评估的过程。由于数据获取的限制,很难做到面面俱到,因此,关键性指标的选取和把握十分重要。<sup>[31]</sup>在关键性指标选取之前,需要明确研究对象的范畴。鉴于能源有多种类型,从能源资源到能源产品涉及生产、传输、消费多个环节,因此能源安全的内容十分丰富,安全风险的类型也存在差异。本文主要讨论中国的一次能源安全相关问题,即能源上游领域相关安全问题,研究范畴不包含电网安全、石化产品安全等二次能源或能源化工衍生品相关领域的内容。(见图1)

### (二) 指标选取

在界定研究范畴和研究对象的基础上,为了尽可能全面地对中国能源安全问题进行评价,借鉴国际能源署对能源安全的定义,从能源的可得性、经济性、清洁性和可持续性四个方面,遵循科学性、系统性、客观性、可比性及可操作性五项原则,参考已有文献,选择内涵明确、具有代表性、能够反映实际情况、数据可得指标。最终选取27个指标对中国的能源安全及变化趋势进行评价,各指标含义及解释如下:

1. 可得性指标。可得性主要反映能源自我供给状况和考虑地缘政治条件下的能源可获得能力。能源可得性受能源自我保障能力、进口风险和进口贸易等因素影响。包含指标如下:

(1) 能源自给率。国内一次能源生产总量与消费总量的比值,反映国家能源自我保障能力。

(2) 能源行业固定资产投资占比。能源工业固定资产投资占全社会固定资产投资的比值,反映我国能源产能水平。

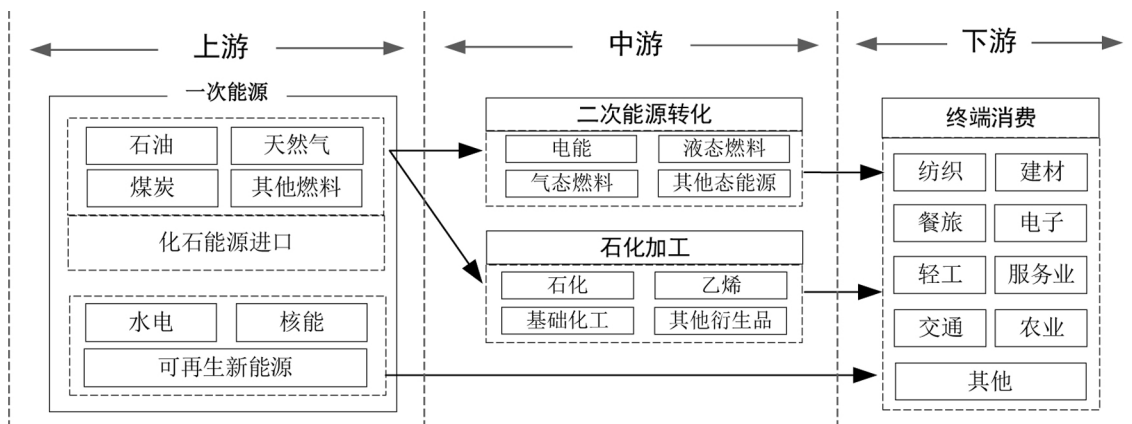


图 1 能源产业链概况

(3) 能源行业对外直接投资存量。我国在海外的采矿业、燃气及电力与水的生产和供应业对外直接投资累计净额,反映我国在海外的能源投资、储备和生产能力。

(4) 石油进口集中度。我国前 5 大石油进口来源国进口量占进口总量的比值,反映石油进口的市场集中风险。

(5) 地缘政治风险。以前 5 大石油进口来源国为对象,根据世界银行发布的《全球治理指标报告》(WGI 指数),从腐败控制能力、政府效能、政治稳定性、法治能力、政府监管能力和表达自由与问责能力六个方面的治理能力,对我国石油进口来源国的地缘政治风险进行评价。地缘政治风险指数的计算公式如下:

$$R_i = 1 - \sum_j^n p_j \cdot (\sum_{i=1}^m w_i / m)$$

其中,n 为评价对象的数目,文中 n 取 5,即考察我国前 5 大石油进口来源国的地缘政治风险。p<sub>j</sub> 是我国从该国进口的能源占总进口量的比值。m 表示评价的治理能力种类数,根据 WGI 指数报告,m 取 6。w<sub>i</sub> 为该国第 i 项治理能力在全部评价对象中的排位百分比得分。

(6) 国际石油市场供给能力。全球石油出口总量与中国石油进口需求量的比例。即相对我国而言,国际石油市场供给的充裕程度。

(7) 外汇储备。美元外汇储备量,以美元为主要结算方式的世界能源贸易体系下,充裕的外汇储备有助于降低结算成本,拓展能源贸易渠道。

2.经济性指标。以合理、稳定的价格得到连续充足的能源供给是能源安全的经济性内涵。能源经济性受经济承载力、能源成本、能源价格波动性等因素影响。包含指标如下:

(1) 石油进口经济承载力。石油进口金额与国内生产总值之比。石油进口经济承载力不仅受国际油价变化的影响,也受国内经济发展水平的影响,指标中包含了进口石油相对成本信息。

(2) 天然气进口经济承载力。天然气进口金额与国内生产总值之比。天然气进口经济承载力不仅受国际天然气价格变化的影响,也受国内经济发展水平的影响,指标中包含了进口天然气相对成本信息。

(3) 国内能源使用成本。即工业生产者购进价格指数(燃料、动力类)。该指数是工业企业组织生产时作为中间投入的原材料、燃料、动力的购进价格指数,反映国内工业生产者购进能源成本的相关信息。

(4) 国际油气价格波动性。石油和天然气价格的波动幅度,并以当年石油、天然气的进口额占两者进口总额之比为权数进行加权。价格波动率越小,进口价格稳定性越高,能源进口安全保障性越高。

3.清洁性指标。能源安全的清洁性反映能源的生产、利用对生态和环境的影响。化石能源使用会

带来全球温室气体排放增加、空气质量下降、生态环境恶化等问题,人与自然如何和谐相处、如何实现绿色发展是当下必须面对的现实问题。包含指标如下:

(1) 碳强度。单位 GDP 的二氧化碳排放量,反映能源消耗对气候变化的影响。

(2) 可再生能源占比。可再生能源供给量占能源供给总量的比重。从能源供给结构的角​​度反映能源供给的清洁性。

(3) 能源消费强度。能源消费总量与国内生产总值的比值,即单位国内生产总值的能耗。我国当前仍以化石能源消费为主,单位 GDP 能源消耗越低,对环境的负面影响越小。

(4) 硫、氮氧化物排放量。企业在燃料燃烧和生产工艺过程中排入大气的二氧化硫和氮氧化物的总质量,反映能源消费对环境的影响。

(5) 烟尘排放量。企业在燃料燃烧和生产工艺过程中排入大气的烟尘及工业粉尘的总质量,反映能源消费对大气的污染情况。

4. 可持续性指标。能源安全状态不仅是对过去和现在既成事实的总结,也包含对未来可持续发展能力的评判。能源安全可持续性是中长期能源安全保障的基础。受能源存量、能源可持续发展潜力、中长期能源消费需求、能源多样性和能源安全保障能力等因素的影响。包含指标如下:

(1) 煤炭剩余可采年限。煤炭已探明技术可采量与当年开采量的比值,反映煤炭的可持续使用能力。

(2) 石油剩余可采年限。石油已探明技术可采量与当年开采量的比值,反映石油的可持续使用能力。

(3) 天然气剩余可采年限。天然气已探明技术可采量与当年开采量的比值,反映天然气的可持续使用能力。

(4) 中国创新指数。由创新环境、创新投入、创新产出和创新绩效四个方面组成,指数从 2005 年开始计算,基数为 100,反映我国的综合创新能力与科技进步能力。良好的创新环境和较高的技术创新能力对能源勘探、转化、使用、排放治理、可再生能源发展等方面具有正向促进作用,能够综合提高我国能源可持续发展能力。

(5) 能源加工转换效率。一定时期内能源经过加工、转换后,产出的各种能源产品的数量与同期内投入加工转换的各种能源数量的比率,反映能源行业整体工艺、技术及管理水平。

(6) 产业结构。第三产业结构占比,反映未来能源消费需求和能源结构。

(7) 地质勘查与科研投入。反映我国资源勘查与科研投入水平。

(8) 能源消费弹性系数。一定时期能源消费平均增长率与同期国民生产总值平均增长率的比值,反映能源消费与经济增长之间的关系。

(9) 人口自然增长率。一定时期人口自然增加数与同时期平均总人口数之比,反映中长期能源消费需求趋势,过高的人口自然增长率代表未来将消耗更多的能源,对能源可持续性带来负面影响。

(10) 能源供给多样性。以香农—维纳能源供给多样性指数表示,反映一次能源供给多样性,供给多样性指数高代表能源供给更加均衡,同时均衡的能源供给有助于降低单一能源断供的风险。

(11) 国防保障能力。国防支出占国内生产总值比值。长期来看,能源安全离不开强大国防能力的保障。

### 三、研究方法及数据来源

#### (一) 研究方法

本文利用熵权—TOPSIS 距离函数模型对我国能源安全评价进行量化建模,该模型能充分体现评价期内不同指标间的差异性,同时能对能源安全的阶段性特征和趋势性变化产生良好的反馈和拟合。模型主要包括四个方面的内容:一是对评价指标的相关数据进行标准化处理,以使不同单位的指标可以相

互比较;二是利用熵权法对各指标赋予权重;三是根据 TOPSISI 距离函数法测算中国能源安全水平系数并进行敏感性分析;四是通过灰色关联分析与中国能源安全评价关联较大的指标因素。

表 1 中国能源安全评价指标体系

维度层	基础指标		指标属性	数据来源	
可得性	自我保障能力	A1	能源自给率	正指标	《中国能源统计年鉴》
		A2	能源行业固定资产投资占比	正指标	国家统计局
		A3	能源行业对外直接投资存量	正指标	国家统计局
	进口风险	A4	石油进口集中度	负指标	国家海关总署
		A5	地缘政治风险	负指标	由笔者计算,基础数据来自世界银行《全球治理指数报告》
	进口贸易	A6	国际石油市场供给能力	正指标	《BP 世界能源统计年鉴》
		A7	外汇储备	正指标	国家统计局
经济性	经济承载力	B1	石油进口经济承载力	负指标	由笔者计算而得,基础数据来自中国石油和化学工业联合会
		B2	天然气进口经济承载力	负指标	由笔者计算而得,基础数据来自中国石油和化学工业联合会
	能源成本	B3	国内能源使用成本	负指标	国家统计局
	能源价格波动性	B4	国际油气价格波动性	负指标	《BP 世界能源统计年鉴》
清洁性	环境效益	C1	碳强度	负指标	由笔者计算,其中二氧化碳排放总量来自《BP 世界能源统计年鉴》,GDP 数据来自国家统计局
		C2	可再生能源占比	正指标	《中国能源统计年鉴》
		C3	能源消费强度	负指标	由笔者计算,其中能源消费总量和 GDP 数据来自国家统计局
		C4	硫、氮氧化物排放量	负指标	Wind 资讯
		C5	烟尘排放量	负指标	Wind 资讯
可持续性	能源存量	D1	煤炭剩余可采年限	正指标	国家统计局、《中国矿产资源报告》
		D2	石油剩余可采年限	正指标	《BP 世界能源统计年鉴》
		D3	天然气剩余可采年限	正指标	《BP 世界能源统计年鉴》
	能源可持续发展潜力	D4	中国创新指数	正指标	国家统计局
		D5	能源加工转换效率	正指标	国家统计局
		D6	产业结构	正指标	国家统计局
		D7	地质勘查与科研投入	正指标	《中国矿产资源报告》 《中国国土资源公报》
		D8	能源消费弹性系数	负指标	国家统计局
	中长期能源消费需求	D9	人口自然增长率	负指标	国家统计局
	多样性	D10	能源供给多样性	正指标	由笔者计算,基础数据来自《中国统计年鉴》和《新中国六十年统计资料汇编》
	安全保障能力	D11	国防保障能力	正指标	斯德哥尔摩国际和平研究所

1.对数据进行标准化处理。由于各项指标的计量单位并不统一,因此在利用前需要先进行标准化处理,把指标的绝对值转化为相对值,从而解决各项不同质指标值的同质化比较问题。<sup>[32]</sup> 具体标准化方法如下:选取 m 个对象,n 个指标,则  $x_{ij}$  为第 i 个对象的第 j 个指标的数值( $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ )。对指标体系中的正指标和负指标分别按以下方式进行标准化处理,得到标准化后的无量纲化评价指标数据。

(1) 正指标:

$$x_{ij}^{\cdot} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{mj}\}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{mj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{mj}\}} \quad (1)$$

(2) 负指标:

$$x_{ij}^{\cdot} = \frac{\max\{x_{1j}, \dots, x_{mj}\} - x_{ij}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{mj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{mj}\}} \quad (2)$$

$x_{ij}^{\cdot}$  为第  $i$  个国家的第  $j$  个指标的数值 ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ )。 $\min\{x_{1j}, \dots, x_{mj}\}$  和  $\max\{x_{1j}, \dots, x_{mj}\}$  分别表示矩阵第  $j$  列的最小值和最大值。为了方便起见,归一化后的数据仍记为  $x_{ij}$ 。

2. 能源安全评价指标权重的获取。指标权重采用熵权法确定,熵权法是利用待评价指标数据进行指标权重确定的一种客观确权方法,具有良好的操作性与实用性。相比专家打分法,熵权法增强了评价指标的差异性与辨识度,可以更加客观地反映数据中的隐含信息。<sup>[33]</sup> 该方法借鉴了信息论中信息熵的概念,评价的基本思路是,评价对象某项指标值彼此之间离散程度越大,则该指标越重要,给予的权重越大。对于能源安全评价,如果某一指标值间差异过大,反映出该指标的稳定性较差或者趋势变化幅度较大,使得能源安全问题的不确定性增大。因此,对于这些指标通常需要给予更多的关注,熵权法有利于识别这类指标并给予其相对较大的权重。具体过程如下:

(1) 计算评价对象在评价指标下的特征比重

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (3)$$

(2) 计算指标的熵值

$$e_j = \frac{(-1) \sum_{i=1}^n p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})}{\ln(m)} \quad (4)$$

其中,若  $p_{ij} = 0$ , 则  $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}) = \lim_{p_{ij} \rightarrow 0} \frac{\ln(p_{ij})}{1/p_{ij}} = 0$ , 所以  $e_j \geq 0$ 。

(3) 计算熵冗余度,熵冗余度越大,指标越重要

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

(4) 计算各项指标权值

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

3. 中国能源安全水平测度。根据 TOPSIS 距离函数法对我国能源安全水平进行定量评价,该方法能充分利用原始数据,不受参考序列选择的影响且几何意义直观,多被用于风险决策分析、环境效益评价、成本效益分析及多属性最优方案选择等问题研究。<sup>[34]</sup> TOPSIS 模型的思路是通过构造多属性问题的正理想解和负理想解,以方案靠近正理想解和远离负理想解两个基准作为方案排序的准则来选择最满意方案,<sup>[35]</sup> 即如果方案在最接近正理想解的同时又远离负理想解,则该方案为评价对象中的最优方案,排序最为靠前;反之则为最劣方案,排序最为靠后。具体应用过程如下:

(1) 形成加权判断权重矩阵

$$Y = \sum_{j=1}^n w_j \cdot p_{ij} = (y_{ij})_{m \times n} \quad (7)$$

(2) 确定理想解

理想解分为正理想解和负理想解,正理想解用  $y_j^+$  表示,负理想解用  $y_j^-$  表示,具体公式如下:

$$y_j^+ = \max\{y_{1j}, \dots, y_{mj}\}, y_j^- = \min\{y_{1j}, \dots, y_{mj}\} \quad (8)$$

(3) 确定各指标到理想解的距离

各指标到正理想解的距离用  $d_i^+$  表示,到负理想解的距离用  $d_i^-$  表示,根据欧式距离计算公式有:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2}, d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2} \quad (9)$$

(4) 计算评价对象与理想解的贴近程度

贴近程度越大,对象越优,贴近度的取值范围为 [0,1]。对于能源安全评价而言,贴近度越接近于 1,表明该年能源安全程度越高,反之当贴近程度为 0 时,表示能源安全水平最低。贴近度的计算方式如下:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, (i = 1, 2, 3 \dots m) \tag{10}$$

4.能源安全水平影响因素关联度分析。系统发展过程中,若两个因素变化的趋势具有一致性,即同步变化程度较高,可谓二者关联程度较高,反之则较低。灰色关联分析方法能根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,来衡量各指标和能源安全水平关联程度。该方法是一种多因素统计分析方法,主要用作比较系统中某些项目与其他因素之间相似关联的强弱性,最后将这些因素按影响度排序,可以得到一个分析结果,适合动态历程分析。<sup>[36]</sup> 具体应用过程如下:

(1) 分析目标序列确定

以我国能源安全度为目标序列,以能源安全评价各指标为比较序列。分析我国能源安全水平与各评价指标之间的关联程度。

(2) 计算差序列矩阵

求目标序列与比较序列的差序列矩阵,计算公式为

$$Z = |x_{ij} - c_i| = (\lambda_{ij})_{m \times n} \tag{11}$$

(3) 计算两级最大值和最小值

$$\lambda_{\max} = \max\{\lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \dots, \lambda_{mj}\}, \lambda_{\min} = \min\{\lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \dots, \lambda_{mj}\} \\ m = \max(\lambda_{\max}), n = \max(\lambda_{\min}) \tag{12}$$

(4) 计算关联系数

$$\xi_{ij} = \frac{n + \rho m}{|x_{ij} - c_i| + \rho m} \tag{13}$$

其中,  $\rho \in [0, 1]$  为分辨系数,与分辨力成反比,当  $\rho \leq 0.5463$  时,分辨力最理想,通常取  $\rho = 0.5$ 。<sup>[37]</sup>

(5) 确定关联度

计算每个指标关联系数的平均值,公式如下:

$$\eta_j = \frac{\sum_{i=1}^m \xi_{ij}}{m} \tag{14}$$

(二) 能源安全评价标准

中国能源安全评价尚无统一的评价等级或标准,参考常军乾<sup>[38]</sup>和吴初国等<sup>[39]</sup>的研究方法,以 0.2 为步长,将中国能源安全水平划分为 5 个等级,并以此作为能源安全水平评价依据。(见表 2)

表 2 中国能源安全水平评价等级

安全等级	不安全	预警	一般	较安全	安全
能源安全指数	[0,0.2)	[0.2,0.4)	[0.4,0.6)	[0.6,0.8)	[0.8,1]

本文相关指标数据主要使用 2005—2019 年的统计数据,2020—2024 年的预测数据由笔者利用灰色 GM(1,1)、趋势外推、组合预测等预测方法或模型计算得来。此外,对于个别年份的缺失数据,笔者利用插值法进行补全。

四、结果与分析

(一) 模型结果

1.中国能源安全评价指标权重。根据公式 1~6,得到各基础指标的权重。(见表 3) 其中,权重最大的 5 个指标分别是:煤炭剩余可采年限、石油剩余可采年限、可再生能源占比、硫氮氧化物排放量、能源



供给多样性。

表3 中国能源安全评价指标权重

指标	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2
权重	3.60%	3.84%	4.76%	2.78%	2.49%	3.61%	2.22%	3.09%	3.17%
指标	B3	B4	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2
权重	4.71%	3.99%	1.99%	5.88%	1.93%	5.66%	1.77%	7.23%	5.88%
指标	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
权重	4.63%	3.93%	2.82%	4.12%	2.02%	1.34%	3.27%	5.42%	3.88%

2. 中国能源安全综合水平测算。根据公式7~10,得到2005—2019年中国能源安全水平指数。(见表4)根据估算数据对2020—2024年我国能源安全水平变化进行预测。(见图2)

表4 2005—2019年中国能源安全水平指数

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
d(+)	0.152	0.148	0.149	0.146	0.139	0.146	0.168	0.154	0.146	0.140	0.132	0.102	0.109	0.119	0.115
d(-)	0.127	0.112	0.100	0.092	0.094	0.076	0.062	0.081	0.084	0.092	0.102	0.138	0.139	0.145	0.152
能源安全水平	0.456	0.432	0.401	0.385	0.403	0.344	0.270	0.345	0.365	0.397	0.437	0.574	0.561	0.550	0.570

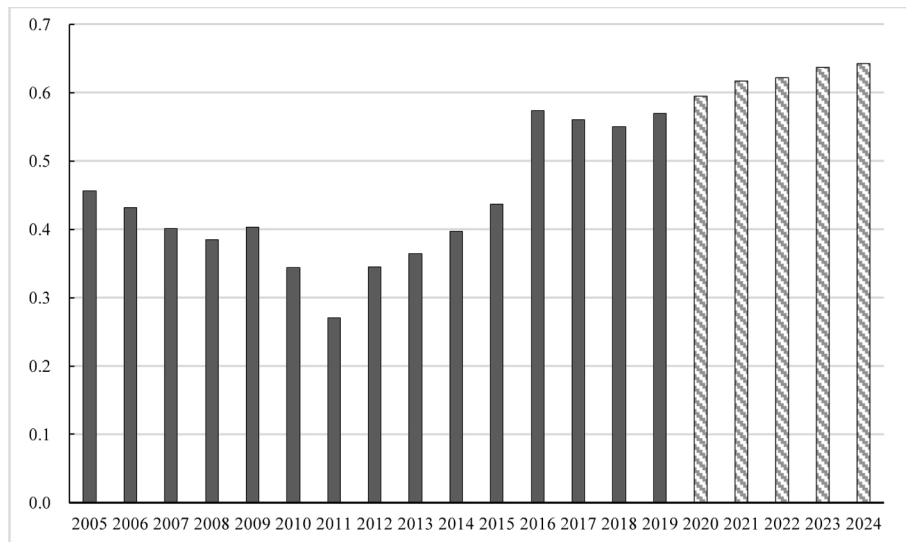


图2 2005—2024年中国能源安全水平变化趋势

注:为便于比较,笔者以2019年能源安全水平为基础,将预测值按比例关系换算处理。

从结果来看,2005—2019年,中国能源安全水平呈现出“V”型变化趋势,整体上2012年之前的能源安全水平处于下降趋势,2012年及以后开始上升,并且2016年开始超过2005年的安全水平。可以预测,2020—2024年我国的能源安全水平虽然变化较小,但是仍将不断提高。

## (二) 中国能源安全状况评价

1. 能源安全等级评价。2005—2022年,我国能源安全水平处于先下降后上升状态,根据评价等级表,能源安全等级情况如表5所示。2008、2010、2011、2012、2013和2014年为预警等级年份,较安全级别将出现在2021年及以后,其余年份则为一般等级。在预警年份中,国际油气价格多处于历史高位水平且当年价格波动性较大,同时预警年份内我国化石能源已探明技术可采量较低,人口自然增长率较高。整体来看,自2007年开始,受国际能源价格大幅上涨的影响,能源经济性不断降低。此外,在化石能源探明量未有明显增长的情况下,我国能源开采仍保持高速增长,使得能源可持续性有所下降。两者叠加导致我国能源安全水平不断降低。2011年之后,随着经济发展进入新常态,高质量发展和绿色发

展被摆在了更加重要的位置上,我国能源清洁性和可持续性不断提高,加之国际油价在达到高点后逐步回落,各方有利因素共同推动我国能源安全水平不断提高。

表 5 2005—2024 年中国能源安全等级

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
安全等级	一般	一般	一般	预警	一般	预警	预警	预警	预警	预警
年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
安全等级	一般	一般	一般	一般	一般	一般	较安全	较安全	较安全	较安全

(三) 能源安全维度层分析

1. 可得性。2005—2019 年,能源可得性水平波动较小,即区间内可得性水平基本保持一致。(见图 3) 其中,能源自给率、能源行业固定资产投资比例及外汇储备量下降对能源可得性产生了负向影响。能源行业对外投资存量增加、国际石油市场供给能力提升及石油进口集中度降低,对我国能源可得性产生了正面影响。

2. 经济性。2005—2019 年,我国能源安全经济性水平波动较大。(见图 4) 其中,2008、2011 和 2018 三年的经济性明显低于其他年份。能源经济性主要受国际能源价格变动和我国经济发展水平的影响,在评价期内虽然我国经济增长较为稳定,但是由于国际金融危机和地缘政治等因素,国际油气价格出现剧烈波动,加之我国在国际油气贸易方面的议价话语权较弱、国际油气价格上涨及短期内的剧烈波动对我国能源安全水平影响较大。具体来看,2005 年至 2019 年国际油价大致经历了一个“先增长、后下跌,再增长、再下跌、再增长”的过程,若以布伦特原油价格表示,2008、2010、2018 年国际油价分别达到了 97 美元/桶、111 美元/桶、71 美元/桶,同年波动分别为 34.7%、39.8%、44.1%,这三年也是能源经济性水平较之前大幅下降的年份。在国际油价处于相对较低的位置或油气价格波动性较小的年份,能源经济性普遍较高。此外,虽然我国的油气进口额逐年增大,但是进口额占 GDP 的比重不断下降,反映出我国能源进口经济承载力不断增强,这有助于我国能源安全水平的提升。

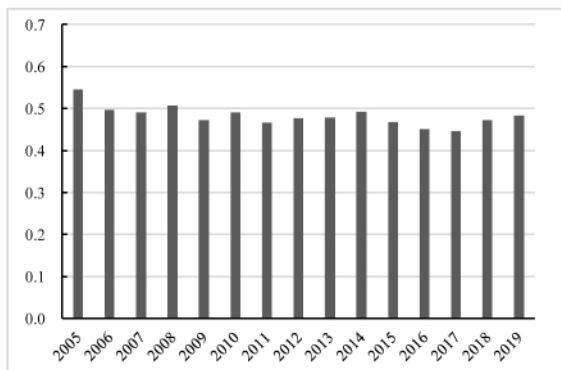


图 3 2005—2019 年中国能源安全可得性水平

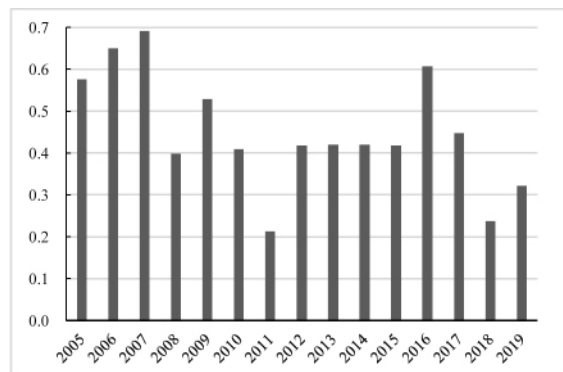


图 4 2005—2019 年中国能源安全经济性水平

3. 清洁性。2005—2019 年,我国能源清洁性水平稳步提高,(见图 5) 主要原因在于能源结构中可再生能源占比不断增加,单位 GDP 能耗持续降低,同时单位产值下温室气体排放量持续下降,大气污染物排放进一步缩减,能源应用对环境的友好性不断增强。2016 年较 2015 年能源清洁性水平出现大幅提高,究其原因,2016 年我国以去产能为主要任务,稳步推进供给侧结构性改革,优化了产业布局,淘汰了落后产能和高污染产能,使得环境质量出现了大幅改善。如,2015 年硫、氮氧化物和烟尘的排放量分别为 2089 万吨和 1538 万吨,2016 年仅排放 1246 万吨和 1011 万吨,下降幅度接近 40%。

4. 可持续性。2005—2019 年,我国能源可持续性整体呈现“先下降、后上升”的态势。(见图 6) 其中,2005—2011 年能源的可持续性有所下降,2012—2019 年持续上升,预计未来我国能源可持续水平仍有较大提升空间。从化石能源采储比变化来看,煤炭和石油的采储比自 2005 年开始持续下降,到 2011

年到达最低点。此后,随着能源进口替代量增大,能源消费增速放缓,加之“十二五”和“十三五”期间能源矿产新增探明储量获得突破等因素,2012—2019 年我国化石能源的采储比有所回升,促进了能源可持续水平的提高。从产业及社会发展角度来看,随着国家创新能力和能源加工转换效率的提高,进行同等经济活动所需消耗的化石能源量不断降低。同时,第三产业占比提升、人口自然增长率下降、可再生能源开发应用技术的不断成熟均有利于我国能源的可持续发展。

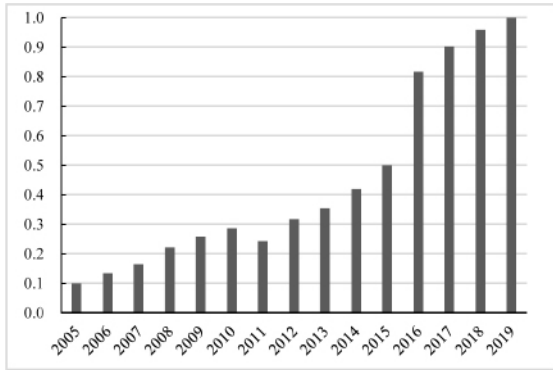


图 5 2005—2019 年中国能源安全清洁性水平

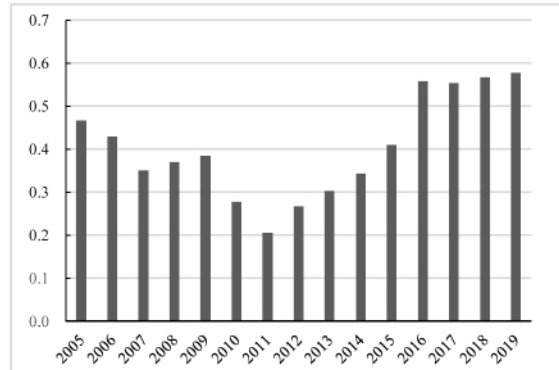


图 6 2005—2019 年中国能源安全可持续性水平

综合看,在评价期内我国能源安全的可得性水平较为稳定,经济性水平波动较大,清洁性自 2005 年至今持续得到改善并且趋势明显,可持续性在经历阶段性下降后自 2011 年开始逐年提高。2011 年以来,各维度层围成的四边形的面积不断增大,尤其是清洁性和可持续性不断提高。(见图 7)

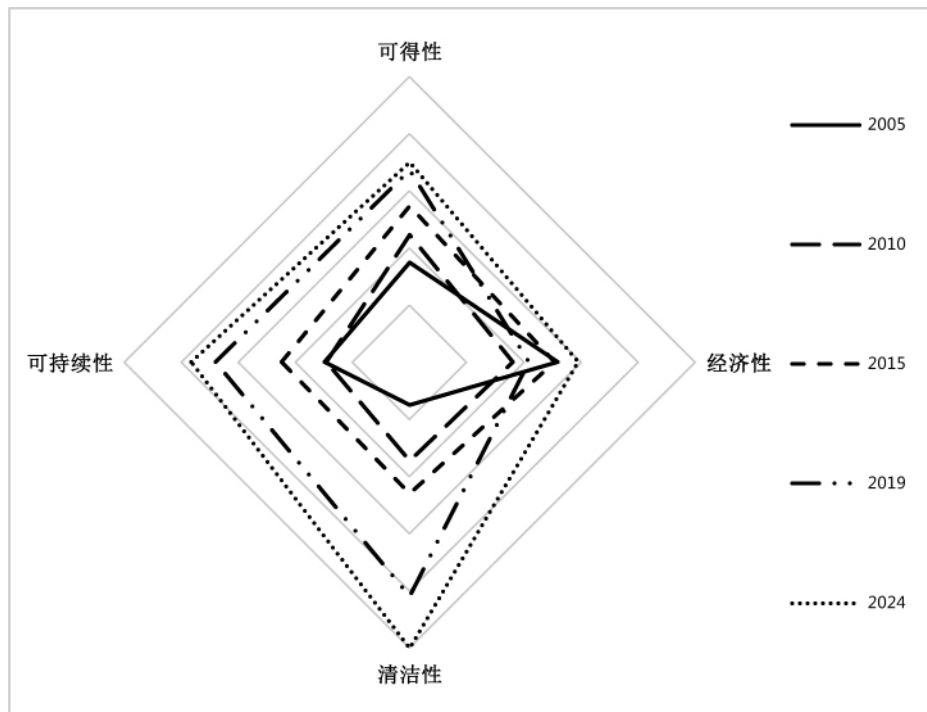


图 7 2005—2024 年维度层能源安全水平雷达图

#### (四) 敏感性分析

敏感性分析是一种定量描述模型输入变量对输出变量影响程度的分析方法。对能源安全评价指标体系进行敏感性分析,有助于识别不同影响因素组合对能源安全水平的影响方向和影响程度。以 2005—2019 年我国能源安全水平及各指标权重为基础,假设各指标权重不发生改变,按照能源安全维度分类,在 2019 年基础上对各影响因素组合分别以 -15%、-10%、-5%、5%、10%、15% 的变化率调整,

进行能源安全维度敏感度分析,其中指标属性为正的数据进行正向处理,指标属性为负的数据进行反向处理。

整体看,能源安全可持续性和可得性的敏感度要高于经济性和清洁性。(见图 8)对可持续性指标而言,能源安全的负向变化敏感度明显大于正向变化,约为同等变化水平下正向敏感度的 2 倍。即相比对于能源安全可持续性的正向加强,需要更多关注对能源安全可持续性产生负面影响的因素,同等影响下,负向影响产生的效果将是正向影响的 2 倍之多;对于可得性指标而言,能源安全的正向变化敏感度远大于负向变化,在 5% 变化量水平下,正向敏感度约为负向敏感度的 8 倍,能源安全可得性水平的小幅度提升将对整体能源安全水平产生较大、积极的影响;对经济性指标而言,整体敏感度较低且同等变化量下正负向敏感度之间差距很小;对于清洁性指标而言,整体敏感度最小且正向变化敏感度为 0,即清洁性是能源安全的保健性因素。在评价期内,2019 年能源清洁性水平处于历史最好状态,对能源安全发挥了保障性贡献。

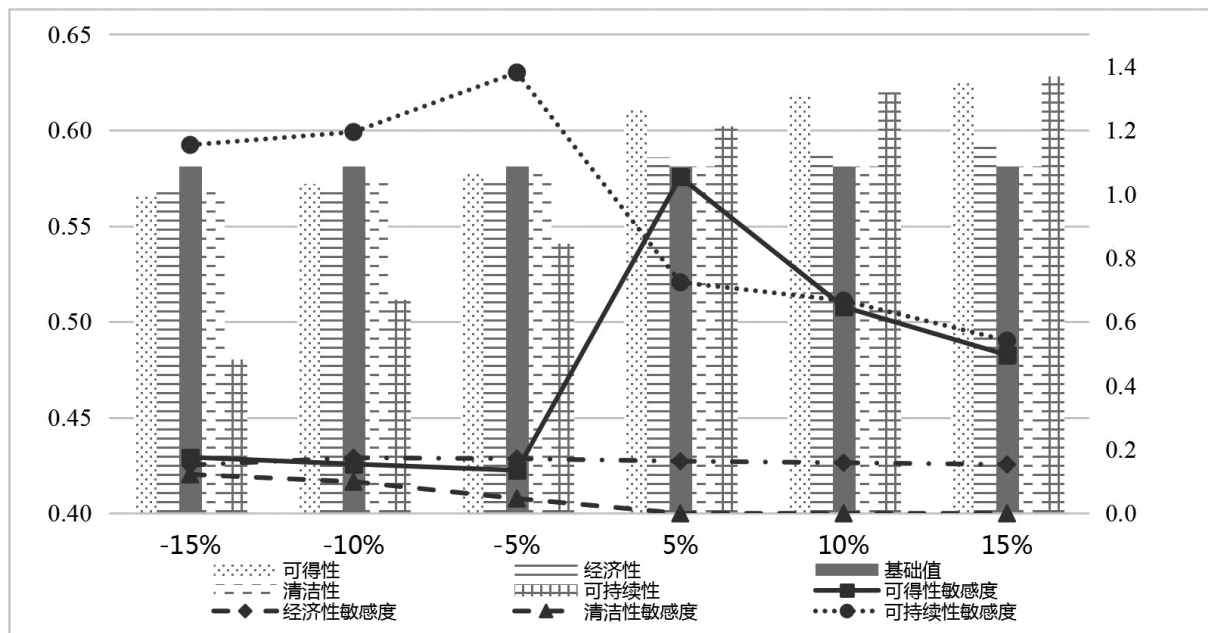


图 8 中国能源安全维度层敏感性分析及变化趋势

(五) 能源安全灰色关联分析

根据灰色关联分析结果,与能源安全水平变化趋势关联度最高的五个指标分别是: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。(见表 6)从实际来看,第一,人口自然增长率对能源可持续发展能力提出了挑战。能源为人们提供生活的基本动力,当前的新生人口量决定着未来的能源需求量,过快的人口增长会使未来能源需求的压力进一步增大。第二,石油进口集中度反映了中国石油进口的市场集中性风险。石油进口市场越集中,相关石油出口国断供和价格上涨带来的风险及损失就越大,对能源安全越不利。第三,中国创新指数反映我国的创新能力变化情况。创新有助于科技进步,促使资源利用效率提高。对于能源行业,创新可以带来更为先进且高效的能源勘探、开采、使用,以及节能和储能技术。第四,石油进口经济承载力反映中国石油进口的经济可承受能力。当前,我国石油消费 70% 以上依靠进口,石油进口占国内生产总值的比重过大,表明我国能源进口代价较高,同时应对油价上涨冲击的能力较弱,若国际油价大幅上涨将对我国经济稳定发展带来挑战。第五,产业结构可预测一个国家未来的能源消费需求 and 消费结构状况。产业结构优化有助于能源利用效率的提高。如,根据中国石油经济研究院数据,2018 第二产业万元产值能耗约为第三产业的 3.4 倍,即第三产业占比每提升一个百分点,同等经济产量下可以降低约 1800 万吨标准煤的能源消耗。<sup>[40]</sup>

表6 中国能源安全水平与各影响因素的关联度

指标	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2
关联度	0.682	0.706	0.754	0.818	0.731	0.714	0.717	0.803	0.707
指标	B3	B4	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2
关联度	0.746	0.727	0.742	0.767	0.741	0.764	0.744	0.687	0.744
指标	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
关联度	0.772	0.818	0.711	0.786	0.744	0.733	0.825	0.767	0.775

## 五、结论与建议

### (一) 结论

本文通过构建中国能源安全评价指标体系,从能源的可得性、经济性、清洁性和可持续性四个维度对我国2005—2019年的能源安全水平进行评价,并对2020—2024年的能源安全水平给出预测。研究表明在评价期内,我国能源安全水平整体呈现先下降后上升的趋势,能源安全水平有望在2021年及以后达到较安全等级水平。此外,通过灰色关联分析,发现人口自然增长率、石油进口集中度、中国创新指数、石油进口经济承载力、产业结构是与我国能源安全关联性最高的五个因素。

### (二) 建议

我国能源安全对能源的可得性和可持续性较为敏感。为此,进一步提高我国能源安全水平,建议重点采取以下措施:

1.将能源可获得性作为预防能源风险的重要内容。近些年,国际能源格局变得更加复杂,在我国经济发展和能源转型面临重要关口之时,需要提高能源可获得性水平,同时树立底线思维以有效应对各种突发能源安全事件。具体而言,首先,进一步推进油气上游领域的市场化改革,通过上游矿业权开、放退出机制改革,激发油气上游探采企业活力,加大探采开发力度,从而提高我国能源的自给自足保障水平。其次,拓宽能源进口渠道,降低油气进口集中和地缘政治风险对我国能源安全的影响。同时,需要优化我国能源行业对外投资结构,随着“一带一路”合作不断推进,鼓励民营企业“走出去”参与国际能源合作与竞争。最后,进一步推进国家能源应急储备体系及设施建设,建成多元互补、快速响应的能源储备系统,预防能源供给的突发中断事件,保障极端风险下能源稳定可得。

2.处理好能源短期安全与长期安全的关系。当前,虽然我国油气对外依存度不断升高,但是不应将油气对外依存度作为衡量能源安全的唯一指标。油气作为不可再生能源,在一定勘探开采技术水平下可采储量有限,过分强调国内油气自给自足,不合理地加大国内油气开采力度将会使我国油气资源可采年限加速降低,从中长期来看,将加快化石能源枯竭进程,不利于未来的能源安全。因此,需要处理好能源短期安全与长期安全之间的关系,根据我国能源禀赋、国内能源成本、国际能源价格和地缘政治形势等因素进行综合考量,实现能源自给和进口补充的最佳平衡。如,相比国内能源经济成本,在国际化石能源价格合理的情况下提高化石能源进口,有利于保障中国化石能源存量,增加化石能源的可采年限,延缓化石能源枯竭进程,提高未来时期中国能源安全水平。

3.把“稳价格”“降成本”作为提高能源安全保障的重要途径。国际油气价格过高或短期内价格大幅波动均会对我国能源安全经济性产生负面影响,不利于我国能源经济成本降低和能源价格稳定。作为世界最大能源进口国,我国在国际油气议价方面的话语权仍然较弱。当前,受新冠肺炎疫情影响,全球能源需求整体降低,国际油气价格出现大幅下降。我国应该充分利用国际低油气价的窗口期,加大油气进口和储备力度,通过中长期合同、积极参与全球能源价格体系治理,破解油气进口的“亚洲溢价”魔咒。此外,可以把握疫情后国际能源贸易低迷的机会,通过组建“买方联盟”等手段,积极推动能源商品的人民币结算体系,使我国能够以更加合理、稳定的价格进口国际油气,一定程度上避免国际油气价格大幅波动对中国能源安全经济性的冲击。

4. 坚定推进能源清洁化、可持续发展。从分析结果来看,能源安全对可持续性和清洁性的负向敏感性远大于正向敏感性,因此,对我国而言能源可持续性和清洁性是能源安全的保障性因素。近年来,国家制定的一系列清洁和可持续能源发展政策效果逐步显现,经济转型下中国创新水平和能源利用效率的提升使得能源可持续发展能力持续增强,我国能源安全水平不断提高。未来需要通过可再生能源的进一步发展进行“开源”,以通过提高能源加工利用效率进行“节流”,使我国能源的可持续发展能力再上一个台阶。具体而言,应该继续坚持高质量发展,落实创新驱动发展战略,不断提高国家整体创新水平和国民综合创新能力,加大可再生能源技术研发力度,提高能源供给和应用多样性。同时,借助数字信息技术及人工智能等现代科技手段,降低综合用能成本,提高能源的利用效率和调度灵活性,实现不同能源在不同地域和不同单位之间的互联互通。

#### 参考文献:

- [1] 中共中央文献研究室. 习近平关于社会主义社会建设论述摘编 [M]. 北京: 中央文献出版社, 2017.
- [2] IEA. What is Energy Security? [EB/OL]. [2020-06-06]. Paris: IEA, 2018-02-20, <https://www.iea.org/topics/energy-security>.
- [3] George W. B.. National Energy Policy: Report of the National Energy Policy Development Group [R]. Washington D. C: The White House, 2001.
- [4] Winzer C.. Conceptualizing Energy Security [J]. Energy Policy, 2012(46): 36-48.
- [5] 史丹. 能源安全与能源安全措施 [J]. 国有资产研究, 1998(5): 56-57.
- [6] 张雷. 论中国能源安全 [J]. 国际石油经济, 2001(3): 10-14+48.
- [7] 张宇燕, 管清友. 世界能源格局与中国的能源安全 [J]. 世界经济, 2007(9): 17-30.
- [8] 黄晓勇. 2019年世界能源蓝皮书 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019.
- [9] 周云亨, 方恺, 叶瑞克. 能源安全观演进与中国能源转型 [J]. 东北亚论坛, 2018(6): 80-91+126.
- [10] 杜祥琬. 能源革命: 为了可持续发展的未来 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014(7): 1-4.
- [11] Ang B. W., Choong W. L., Ng T. S., et al. Energy Security: Definitions, Dimensions and Indexes [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2015(2): 1077-1093.
- [12] Radovanovic M., Filipovic S., Pavlovic D., et al. Energy Security Measurement - A Sustainable Approach [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2017(2): 1020-1032.
- [13] 林伯强, 牟敦国. 能源价格对宏观经济的影响——基于可计算一般均衡 (CGE) 的分析 [J]. 经济研究, 2008(11): 88-101.
- [14] Kester J.. Energy, Environment and Global Health [J]. International Affairs, 2019(1): 230-231.
- [15] 何雪垒. 我国能源环境安全制约因素及相关建议 [J]. 环境保护, 2018(9): 46-49.
- [16] 吕连宏, 张保留, 谢雪松, 等. 中国能源生态安全影响评估与政策建议 [J]. 环境科学研究, 2018(11): 1819-1826.
- [17] Blum H., Legey L. F.. The Challenging Economics of Energy Security: Ensuring Energy Benefits in Support to Sustainable Development [J]. Energy Economics, 2012(6): 1982-1989.
- [18] 方叶兵, 王礼茂, 屈秋实, 等. 中国能源地缘政治研究进展 [J]. 资源科学, 2017(6): 1037-1047.
- [19] 王强, 陈俊华. 基于供给安全的我国石油进口来源地风险评价 [J]. 世界地理研究, 2014(1): 37-44.
- [20] 刘金光. 论宗教因素对我国能源战略的影响及对策 [J]. 四川大学学报(哲学社会科学版), 2013(4): 31-40.
- [21] 尤获. 基于突变理论的跨境能源管道脆弱性评价研究 [J]. 工业技术经济, 2019(7): 30-37.
- [22] 王礼茂. 资源安全的影响因素与评估指标 [J]. 自然资源学报, 2002(4): 401-408.
- [23] 李根, 张光明, 朱莹莹, 等. 基于改进 AHP-FCE 的新常态下中国能源安全评价 [J]. 生态经济, 2016(10): 27-31.
- [24] 史丹. 中国对能源转型的引领、风险演化及应对思路 [J]. 中国能源, 2017(11): 19-23+13.
- [25] 郭明晶, 卜炎, 陈从喜, 等. 中国天然气安全评价及影响因素分析 [J]. 资源科学, 2018(12): 2425-2437.
- [26] 薛静静, 沈镭, 刘立涛, 等. 中国能源供给安全综合评价及障碍因素分析 [J]. 地理研究, 2014(5): 842-852.
- [27] Gasser P.. A Review on Energy Security Indices to Compare Country Performances [J]. Energy Policy, 2020(4): 31-48.
- [28] Valdes J. Arbitrariness in Multidimensional Energy Security Indicators [J]. Ecological Economics, 2018: 263-273.
- [29] Prambudia Y., Nakano M.. Integrated Simulation Model for Energy Security Evaluation [J]. Energies, 2012(12): 5086-5110.
- [30] 龙如银, 杨家慧. 国家矿产资源安全研究现状及展望 [J]. 资源科学, 2018(3): 465-476.
- [31] 彭张林, 张爱萍, 王素凤, 等. 综合评价指标体系的设计原则与构建流程 [J]. 科研管理, 2017(S1): 209-215.

- [32] 刘学之, 杨泽宇, 沈凤武, 等. 基于 S 型曲线的指标非线性标准化研究 [J]. 统计与信息论坛, 2018(2): 17-21.
- [33] 胡剑波, 吴杭剑, 胡 潇. 基于 PSR 模型的我国能源安全评价指标体系构建 [J]. 统计与决策, 2016(8): 62-64.
- [34] 孙贵艳, 王 胜. 基于熵权 TOPSIS 法的我国区域能源安全评价研究 [J]. 资源开发与市场, 2019(8): 1025-1030.
- [35] 孙 涵, 聂飞飞, 胡雪原. 基于熵权 TOPSIS 法的中国区域能源安全评价及差异分析 [J]. 资源科学, 2018(3): 477-485.
- [36] 罗 党, 刘思峰. 灰色关联决策方法研究 [J]. 中国管理科学, 2005(1): 102-107.
- [37] 龙如银, 方文倩. 健康城市评价体系设计及实证研究 [J]. 生态经济, 2019(6): 84-90.
- [38] 常军乾. 我国能源安全评价体系及对策研究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2010.
- [39] 吴初国, 何贤杰, 盛昌明, 等. 能源安全综合评价方法探讨 [J]. 自然资源学报, 2011(6): 964-970.
- [40] 中国石油经济技术研究院. 2050 年世界与中国能源展望 [R]. 北京: 中国石油天然气集团, 2019.

(责任编辑: 金光敏)

## Influencing Factors, Evaluation and Outlook of Primary Energy Security in China

Shi Dan, Xue Qin-yuan

(Institute of Industrial Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100006)

(Department of Industrial Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488)

**Abstract:** Energy security is indispensable for stable socio-economic development, and its importance has become even more pronounced considering the significant changes in the external political and economic environment that China is facing. Based on China's basic national conditions, the study builds an index system for evaluating China's primary energy security in four dimensions: energy availability, economy, cleanliness, and sustainability. The entropy weight method - TOPSIS distance function model is used to quantitatively measure and evaluate China's energy security level from 2005 to 2024, and the gray correlation analysis is used to explore the influencing factors that are highly related to China's energy security. The study shows that from 2005 to 2019, there are six years in which energy security is at an early warning level. Overall, China's energy security level shows a decreasing trend before increasing, and there is still room for further improvement from 2020 to 2024. Through the correlation analysis of the energy security level and its influencing factors, it is found that the natural population growth rate, oil import concentration, China's innovation index, oil import economic carrying capacity, and industrial structure are the five factors with the highest correlation with the energy security level. Finally, based on the results of the analysis and the existing weaknesses, four targeted recommendations are made. The availability of energy should be regarded as an important part of the prevention of energy risks; the relationship between short-term energy security and long-term security should be handled "price stabilization" and "cost reduction" should be taken as important ways to improve energy security; and we should firmly promote clean and sustainable energy development.

**Keywords:** Energy Security; Oil Import Concentration; China's Innovation Index; Industrial Structure; Index System

# 经济学人

马号年题



张晓山 中国社会科学院研究员



肖金成 中国宏观经济研究院研究员



史丹 中国社会科学院研究员



白暴力 北京师范大学教授