DOI:10.13216/j.cnki.upcjess.2018.06.0004

国际油价波动背景下中国石油安全评价研究

刘浩旻,张在旭
(中国石油大学(华东) 经济管理学院,山东 青岛 266580)

摘要:为保障国家石油安全,结合中国的实际情况,构建国际油价波动背景下中国石油安全评价指标体系,确定了供给、消费、贸易、地缘政治及生态 5 个基本指标及 15 个具体指标,并运用四元集成及熵技术模型对中国 1996—2017 年石油安全状况进行评价。评价结果显示:2011—2013 年石油安全状态处于“较危险”状态,2014—2017 年石油安全状态恢复至“一般”状态。

关键词:油价波动;石油安全评价;四元集成及熵技术模型
中图分类号:F407.22　**文献标识码:**A　**文章编号:**1673-5595(2018)06-0021-08

一、引言

石油安全是国家能源安全战略的核心,是指无论国际油价如何变化,都能保证石油连续供给满足国家政治、经济、社会及生态等多方面的需要。近年来国际油价剧烈波动,特别是从 2014 年下半年开始国际油价加速下跌,对中国的经济及石油安全等各方面产生了很大影响。[1] 随着中国经济发展进入新常态,大力推行替代能源,石油需求增速放缓,但中国石油对外依存度在 2017 年仍达到 67.4%,因此中国石油安全面临着诸多挑战:一是国内石油总体进入低品位资源勘探开发的新阶段,产量大幅增长难度大;二是原油进口主要集中在中东等地缘政治不稳定地区,海上运输过于依赖马六甲海峡,陆上跨国管道存在突发事件等风险;三是石油储备规模及应急响应水平、国际石油合作质量还不能完全适应近年来国际油价波动幅度加大、频率加快的市场格局。面对全球能源格局深刻调整、国际油价剧烈波动的复杂外部环境,本文运用四元集成及熵技术模型对中国石油安全状况进行评价,对保障和提升中国石油安全程度有重要意义。

二、文献综述

近年来,国内外学者对石油安全评价问题进行了大量的研究,可分为如下两个主要方面:一是石油安全评价指标的研究。学者们主要从资源禀赋、供给保障、需求消费等层面来构建石油安全评价指标体系,但从影响中国石油安全的主导因素来看,研究各有侧重。Chang 等对中国能源安全评价指标进行了更新,主要包括资源可利用性、技术适应性、社会接受度和资源承受能力,摆脱了以往固定评价框架。[2] Kanchana 等针对东盟 9 国,对石油安全评价界定在供给、社会及环境三个方面,并选取了 35 个指标对石油安全状况进行了评价分析。[3] 何贤杰等从国内资源保障能力、国内生产供给能力、国际市场供给能力、国家应急调控能力、国际安全控制能力等 6 个方面对石油安全进行了定量评价。[4] 刘健等基于非传统安全视角,从经济安全、社会安全和环境安全三方面,选取石油自给率、战略储备规模等 21 个指标,对中国石油安全状况进行实证分析,并与国际水平进行比较。[5] 周新军认为随着信息技术的不断发展,以及全球能源生态环境保护的不断推行,能源安全范畴将不断进行扩充,这对当前阶段石油安全

收稿日期: 2018-05-18
基金项目: 国家社会科学基金项目(14BJL045);山东省社会科学规划项目和山东社会科学院创新工程项目(17CCXJ07);山东省软科学研究项目(2017RKE28009);青岛社会科学规划项目(QDSKL1801036)
作者简介: 刘浩旻(1991—),女,山东昌邑人,中国石油大学(华东)经济管理学院博士研究生,研究方向为管理科学与应用;张在旭(1959—),男,山东潍坊人,中国石油大学(华东)经济管理学院教授,博士,博士生导师,研究方向为管理科学理论与应用。

界定提供了依据。[6] 二是石油安全评价方法的研究。对于石油安全评价方法的研究类型繁多,比如 Eta-Macrom 模型、Wharton 模型、投入产出模型等。李桂东等运用熵值法对中国石油安全进行了综合评价,并利用 GM(1,1)模型对未来 5 年石油安全水平进行了预测。[7] 郭伟等运用因子分析法与 3 西格玛法则对中国的能源安全进行了评价。[8] 范秋芳等运用 BP 神经网络、层次分析法和模糊综合评价模型对中国石油安全进行了评价和预警。[9-10] 吕军等基于熵值法(EM)、粒子群算法(PSO)和支持向量机(SVM)的嵌套模型对中国石油安全进行评价及情景预测。[11]

总之,关于石油安全评价的相关研究很多,由于中国经济、政治以及生态保护意识等都在发生变化,面临的世界能源格局也在调整,因此,中国石油安全的界定以及评价需要进一步完善。本文尝试运用四元集成及熵技术模型对中国石油安全状况进行评价,这是石油安全评价方法上的一个新尝试,意在为石油安全评价提供一条新的研究思路和方法。

三、四元集成及熵技术模型的基本原理

四元集成法(DHGF)是将德尔斐法(Delphi)、层次分析法(Analytic Hierarchy Process)、灰色聚类法(Gray clustering)、模糊评判法(Fuzzy Evaluating)的成功之处组合运用,将实践经验和科学理论相结合的从定性到定量的数学方法。DHGF 方法可以较好地解决在评价过程中指标体系建立不合理和过程复杂操作性差的问题,但在如何减弱专家主观因素方面还不能做到完全合理化,故引入熵技术对其进行修正。其基本步骤如下:

(一)构建指标体系并确定权重

指标体系构建后,通过层次分析法获得一个指标权重,熵值法获得一个指标权重,然后通过组合赋权法获得最终的指标权重。

1. 层次分析法

通过专家对指标体系进行重要性评估,获得判断矩阵,其中包含一维指标权重和二维指标权重两部分。专家确定第 i 个指标与第 j 个指标相对重要程度记为 a_{ij},则第 j 个指标与第 i 个指标相对重要程度记为$\frac{1}{a_{ij}}$,$1\leqslant a_{ij}\leqslant 9$,数值越大说明 i 比 j 越重要。判断矩阵形成后需进行一致性检验,然后在一致性检验通过的基础上计算指标权数:

$$\overline{W}_i=\sum_{j=1}^{m}\frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^{m}a_{kj}}$$

$$W_i=\frac{\overline{W}_i}{\sum_{j=1}^{m}\overline{W}_j}$$

式中,a_{ij}表示判断矩阵的元素,$1\leqslant i,j\leqslant m$。最后得出指标权重:

$$W_{1i}=[W_1,W_2,W_3,\cdots,W_m]$$

其中,$0<W_i<1$,且$\sum_{i=1}^{m}W_i=1$。

2. 熵值法

熵值法是根据原始指标数据确定权重的一种方法,运算过程没有主观因素干扰,是一种客观赋权法。

首先,通过对指标数据矩阵 $\boldsymbol{X}=(x_{ij})_{m\times n}(1\leqslant i\leqslant m,1\leqslant j\leqslant n)$ 进行 0 ~ 1 的标准化处理得到标准化矩阵

$$\boldsymbol{X}'=(x'_{ij})_{m\times n}$$

$$\boldsymbol{x}'_{ij}=\frac{x_{ij}-\min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\}-\min\{x_{ij}\}},\ 1\leqslant i\leqslant m,1\leqslant j\leqslant n \quad (1)$$

然后再进行归一化处理,其结果即每个指标出现概率为:

$$p_{ij}=\frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}x'_{ij}},\ 1\leqslant i\leqslant m,1\leqslant j\leqslant n \quad (2)$$

根据如下公式

$$e_i=-\sum_{j=1}^{n}p_{ij}\ln p_{ij},\ 1\leqslant i\leqslant m \quad (3)$$

可计算第 i 个评价指标条件熵值。当 p_{ij}值太过集中时,需要对条件熵值进行归一化处理。根据公式

$$e_i=-\frac{1}{\ln n}\sum_{j=1}^{n}p_{ij}\ln p_{ij},\ 1\leqslant i\leqslant m \quad (4)$$

计算出第 i 个指标熵值,并根据公式

$$g_i=1-e_i,\ 1\leqslant i\leqslant m \quad (5)$$

得出第 i 个指标的差异系数,其中差异系数与熵值大小成反比。

最后,根据公式

$$W_{2i}=\frac{g_i}{\sum_{i=1}^{m}g_i} \quad (6)$$

确定指标熵值法权重。

3. 组合赋权法

通过求得的层次分析法权重 W_{1i}与熵值法权重 W_{2i}运用公式

$$\overline{W}_i=\frac{W_{1i}W_{2i}}{\sum_{i=1}^{m}W_{1i}W_{2i}},\ i=1,2,3,\cdots,m \quad (7)$$

计算得出指标权重的最终结果。

(二)用灰色聚类分析计算评价权矩阵

1. 确定指标数据矩阵

根据构建的指标体系,搜集原始指标数据,整理计算得出的指标数据并以此作为指标数据样本,得到指标数据矩阵:

$$\boldsymbol{X}=(x_{ij})_{m\times n}=\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix},\ 1\leqslant i\leqslant m, 1\leqslant j\leqslant n$$

2. 确定评价等级

评价等级的确定是根据评价对象确定的。$V=[V_1,V_2,\cdots,V_s]$表示安全程度等级的大小,其中 s 表示等级个数。

3. 确定评估灰类

灰类是在评价等级的基础上运用白化权函数确定的。假设 x_i 指标 k 子类的白化权函数为 $f_i^k(\cdot)$,则 $x_i^k(1)$、$x_i^k(2)$、$x_i^k(3)$、$x_i^k(4)$ 为指标数据不同等级的转折点。因此,典型白化权函数可记为 $f_i^k=[x_i^k(1),x_i^k(2),x_i^k(3),x_i^k(4)]$,通常有以下三种表现形式:

一是上限测度白化权函数:无第三、第四个转折点 $x_i^k(3)$、$x_i^k(4)$,则 $f_i^k(\cdot)$ 记为 $f_i^k=[x_i^k(1),x_i^k(2),-,-]$,并表示为

$$f_i^k(x_{ij})=\begin{cases} 0,\ x_{ij}\in(-\infty,x_i^k(1)) \\ \dfrac{x_{ij}-x_i^k(1)}{x_i^k(2)-x_i^k(1)},\ x_{ij}\in[x_i^k(1),x_i^k(2)] \\ 1,\ x_{ij}\in(x_i^k(2),\infty) \end{cases}$$

二是中间测度白化权函数:第二和第三个转折点重合,则 $f_i^k(\cdot)$ 记为 $f_i^k=[x_i^k(1),x_i^k(2),-,x_i^k(4)]$,并表示为

$$f_i^k(x_{ij})=\begin{cases} 0,\ x_{ij}\notin(x_i^k(1),x_i^k(4)) \\ \dfrac{x_{ij}-x_i^k(1)}{x_i^k(2)-x_i^k(1)},\ x_{ij}\in[x_i^k(1),x_i^k(2)] \\ \dfrac{x_i^k(4)-x_{ij}}{x_i^k(4)-x_i^k(2)},\ x_{ij}\in(x_i^k(2),x_i^k(4)] \end{cases}$$

三是下限测度白化权函数:无第一、第二个转折点 $x_i^k(1)$、$x_i^k(2)$,则 $f_i^k(\cdot)$ 记为 $f_i^k=[-,-,x_i^k(3),x_i^k(4)]$,并表示为

$$f_i^k(x_{ij})=\begin{cases} 1,\ x_{ij}\in[0,x_i^k(3)) \\ \dfrac{x_i^k(4)-x_{ij}}{x_i^k(4)-x_i^k(3)},\ x_{ij}\in[x_i^k(3),x_i^k(4)] \\ 0,\ x_{ij}\notin(0,x_i^k(4)) \end{cases}$$

4. 计算灰色统计数

将指标数据带入上述白化权函数中,得出 x_{ij} 在第 k 个评价等级中的权值 $f_i^k(x_{ij})(1\leqslant k\leqslant s)$,然后根据式(8)计算得出指标数据矩阵的灰色统计数 n_{ik} 以及总灰色统计数 n_i:

$$n_{ik}=\sum_{j=1}^{n}f_i^k(x_{ij}),\ n_i=\sum_{k=1}^{s}n_{ik} \tag{8}$$

5. 计算模糊评价权矩阵

根据公式 $r_{ik}=\dfrac{n_{ik}}{n_i}$,计算得出第 i 个指标属于第 k 个评价等级中的灰色权值,进而得出指标模糊评价权矩阵

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1s} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{ms} \end{bmatrix} \tag{9}$$

(三)利用模糊综合评判得出评价结果

1. 计算模糊综合评价矩阵

根据上述求出的指标权重 $\overline{W_i}$ 和指标模糊评价权矩阵 $\boldsymbol{R}$ 相乘,可得到模糊综合评价矩阵 $\boldsymbol{C}$:

$$\boldsymbol{C}=[C_1,C_2,\cdots,C_s]=\overline{W_i}\cdot\boldsymbol{R}=$$

$$[\overline{W_1},\overline{W_2},\cdots,\overline{W_m}]\cdot\begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1s} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{ms} \end{bmatrix}$$

其中,对 $\boldsymbol{C}$ 归一化处理满足 $\sum_{k=1}^{s}C_k=1$。

2. 得出最终评价结果

计算得出每一年的评价等级矩阵 $\boldsymbol{Z}$,即 $\boldsymbol{Z}=[z_1,z_2,\cdots,z_s]$。然后根据最大隶属度原理求出最终的评价结果。

四、基于四元集成及熵技术模型的中国石油安全评价实证分析

(一)石油安全评价指标体系的构建及安全等级划分

1. 石油安全评价指标体系的构建

据前人的研究成果,结合当前国际和国内的实际情况,按照科学性、系统性、代表性、可操作性的原则,从供给、消费、贸易、地缘政治及生态 5 个方面构建 15 个指标,其中定量指标 12 个,定性指标 3 个,见表 1。定量指标数据主要来自《BP 世界能源统计》《IEA 能源统计报告》《中国统计年鉴》。定性指标采用专家评分法,专家主要来自石油安全相关研究的专家学者以及在石油行业工作的业内人员。

表 1 石油安全评价指标

基本指标	具体指标	指标注释
供给安全	石油储采比	石油剩余可采储量/石油生产量
	石油产量	单位:百万吨
	石油探明储量程度	已探明储量+未开发探明储量+基本探明储量
消费安全	石油消费增长率	石油消费增长量/上一年石油消费量
	石油消费增长弹性	石油消费增长率/GDP 增长率
	石油占一次能源消费比	石油消费量/一次能源消费总量
贸易安全	石油价格	单位:美元/桶
	石油价格波动率	(石油最高价-石油最低价)/石油平均价
	对外依存度	石油年净进口量/本国年消费量
	进口集中度	本国进口石油最多的前 3 位或前 5 位国家的石油净进口量之和/本国净进口石油总量
地缘政治安全	地缘政治格局	地缘政治格局稳定性
	运输通道安全性	运输通道稳定性、多元化
生态安全	石油消费碳排放强度	石油消费对我国碳排放影响程度
	可再生资源占能源消费比	可再生能源消费量/总能源消费量
	能源转换率	被有效利用的能量/消耗总能量

2. 石油安全等级的划分

依据美国运筹学家 T. L. Saaty 的 1 ~ 9 标度法,将石油安全各评价指标分为 A 级、B 级、C 级、D 级、E 级 5 个等级,分别代表安全、较安全、一般、较危险、危险,分值由 9 ~ 1 代表安全程度递减。石油安全各个单项评价指标的安全等级的确定主要依据国际通用标准、国内外经济和石油经济发展现状以及专家意见,具体如表 2 所示。

表 2 石油安全指标等级与分值

基础指标	具体指标	指标等级与分值				
		A 级(9 分)	B 级(7 分)	C 级(5 分)	D 级(3 分)	E 级(1 分)
供给安全	石油储采比 R_{11}	≥40	25 ~ 40	12 ~ 25	5 ~ 12	0 ~ 5
	石油产量 R_{12}	≥400	300 ~ 400	200 ~ 300	100 ~ 200	0 ~ 100
	石油探明储量程度 R_{13}	≤30	30 ~ 45	45 ~ 55	55 ~ 75	≥75
消费安全	石油消费增长率 R_{21}	≤0	0 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 16	≥16
	石油消费增长弹性 R_{22}	≤0. 4	0. 4 ~ 0. 6	0. 6 ~ 0. 8	0. 8 ~ 1. 0	≥1. 0
	石油占一次资源消费比 R_{23}	0 ~ 10	10 ~ 24	24 ~ 26	26 ~ 50	50 ~ 100
贸易安全	石油价格 R_{31}	≤20	20 ~ 33	33 ~ 37	37 ~ 80	≥80
	石油价格波动率 R_{32}	20 ~ 10	10 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 80	≥80
	对外依存度 R_{33}	0 ~ 10	10 ~ 29	29 ~ 31	31 ~ 60	≥60
	进口集中度 R_{34}	0 ~ 20	20 ~ 48	48 ~ 52	52 ~ 80	80 ~ 100
地缘政治安全	地缘政治格局 R_{41}	非常稳定	稳定	较稳定	危险	非常危险
	运输通道安全性 R_{42}	非常安全	安全	较安全	危险	非常危险
生态安全	石油消费碳排放强度 R_{51}	很低	低	一般	高	很高
	可再生资源占能源消费比 R_{52}	≥25	25 ~ 15	15 ~ 10	5 ~ 10	0 ~ 5
	能源转换率 R_{53}	≥90	75 ~ 90	60 ~ 75	40 ~ 60	0 ~ 40

(二)确定石油安全评价指标权重

1. 层次分析法确定石油安全评价指标权重

由表 1 可以看出,构建的石油安全评价指标体系包含 5 个一级评价指标和 15 个二级评价指标。将石油安全程度设置为目标层 A,将石油供给安全、消费安全、贸易安全、地缘政治安全及生态安全 5 个一级指标设为 R,将直接影响一级指标的 15 个二级指标设为 X。

根据层次分析法的基本原理,依据专家对石油安全评价指标体系各具体指标重要性的评估,可获得 R 层、X 层评价指标判断矩阵,运用 yaahp 层次分析软件获得 R 层基础指标权重和 X 层具体指标权重,详见表 3。

表 3 层次分析法计算的各指标权重

基础指标	基础指标权重	具体指标	具体指标权重 W_{1i}
供给安全	0. 2893	石油储采比	0. 1561
		石油产量	0. 0473
		石油探明储量程度	0. 0859
消费安全	0. 0483	石油消费增长率	0. 0276
		石油消费增长弹性	0. 0138
		石油占一次能源消费比	0. 0069
贸易安全	0. 1365	石油价格	0. 0190
		石油价格波动率	0. 0393
		对外依存度	0. 0678
		进口集中度	0. 0104
地缘政治安全	0. 4526	地缘政治格局	0. 1509
		运输通道安全性	0. 3017
生态安全	0. 0733	石油消费碳排放强度	0. 0458
		可再生能源占能源消费比	0. 0100
		能源转换率	0. 0175

2. 熵值法确定石油安全评价指标权重

(1)标准化数据

把整理计算得出的 1996、2000、2005、2011—2017 年各指标数据对决策矩阵(见表 4)$\boldsymbol{X}=(x_{ij})_{m\times n}$做标准化处理,再进行归一化处理,得到标准化矩阵(见表 5)。

表 4　1996—2017 年石油安全评价指标数据

指标	1996	2000	2005	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
石油储采比	14.48	15.07	13	11.7	12	12.2	12.2	11.9	11.9	12
石油产量	149	162.6	181.4	203.0	202.9	207.5	210.0	211.4	212.6	210.5
石油探明储量程度	23.2	28.5	32.03	34.6	32.7	29.8	26.5	23.1	24.5	25.7
石油消费增长率	12.77	6.48	6.6	10.4	4.93	5.01	4.64	3.89	4.4	5
石油消费增长弹性	1.45	0.8	0.67	1	0.54	0.56	0.6	0.53	0.64	0.75
石油占一次能源消费比	20.4	24.6	20.9	17.6	17.7	17.7	17.8	17.5	18.6	18.8
石油价格	17.02	28.5	54.52	79.5	111.26	111.67	108.66	98.95	52.39	42.25
石油价格波动率	7.6	58.6	42.5	28.5	39.9	0.37	2.7	8.93	47.05	19.35
对外依存度	18.33	31.13	42.9	55.2	56.4	58.4	59.5	60.6	65.4	67.4
进口集中度	74.05	59.21	61.01	61.06	57.74	59	58.5	58.6	58.39	59.2
地缘政治格局	4	3	3	3	3	3	4	4	5	5
运输通道安全性	1	3	3	3	3	3	4	4	4	4
石油消费碳排放强度	1	1	3	3	3	3	3	5	5	5
可再生能源占能源消费比	6.1	6.7	7.1	9	9.1	9.4	9.7	10.3	10.4	10.6
能源转换率	65.5	69.4	71.1	72.5	72.2	72.7	73	73.5	74.3	75.1

数据来源:《中国统计年鉴(2017)》《BP Slatistical Review of Word Energy 2018》《能源统计 2017》。

表 5　石油安全评价指标数据标准化

指标	1996	2000	2005	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
石油储采比	0.824	1.000	0.385	0.000	0.089	0.148	0.148	0.059	0.059	0.089
石油产量	0.000	0.213	0.509	0.849	0.848	0.919	0.959	0.981	1.000	0.967
石油探明储量程度	0.008	0.469	0.776	1.000	0.834	0.582	0.295	0.000	0.121	0.226
石油消费增长率	1.000	0.291	0.305	0.733	0.117	0.126	0.084	0.000	0.057	0.125
石油消费增长弹性	1.000	0.293	0.152	0.510	0.010	0.032	0.076	0.000	0.119	0.239
石油占一次能源消费比	0.408	1.000	0.478	0.014	0.028	0.028	0.042	0.000	0.154	0.181
石油价格	0.000	0.121	0.396	0.660	0.995	1.000	0.968	0.865	0.373	0.266
石油价格波动率	0.373	1.000	0.847	0.715	0.823	0.448	0.419	0.360	0.000	0.262
对外依存度	0.000	0.298	0.573	0.850	0.860	0.888	0.934	0.960	0.986	1.000
进口集中度	1.000	0.090	0.200	0.203	0.000	0.077	0.046	0.052	0.039	0.089
地缘政治格局	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	1.000	1.000
运输通道安全性	0.000	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	1.000	1.000	1.000	1.000
石油消费碳排放强度	0.000	0.000	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	1.000	1.000	1.000
可再生能源占能源消费比	0.000	0.133	0.222	0.644	0.666	0.733	0.800	0.933	0.955	1.000
能源转换率	0.000	0.406	0.583	0.729	0.697	0.750	0.781	0.833	0.916	1.000

数据来源:根据表 4 数据计算所得。

(2)计算熵值法权值

根据式(2)~(6),运用 matlab 软件计算石油安全评价指标的熵值法权重值 W_{2i},结果见表 6。

3. 计算综合权重

基于表 3 中根据层次分析法求得的石油安全评价指标各具体指标权重 W_{1i}及表 6 中运用熵值法求得的石油安全评价具体指标权重 W_{2i},再根据式(7)可获得石油安全综合评价指标权重$\overline{W_i}$,结果见表 6。根据四元集成及熵技术模型基本原理确定石油安全评价指标权重后,再用灰色聚类分析研究石油安全模糊评价权矩阵。

表 6　熵值法计算石油安全评价指标权重及综合权重值

指标	熵值法权重 W_{2i}	综合权重$\overline{W_i}$
石油储采比	0.1058	0.2952
石油产量	0.0165	0.0140
石油探明储量程度	0.0732	0.1124
石油消费增长率	0.1041	0.0514
石油消费增长弹性	0.1165	0.0287
石油占一次能源消费比	0.1199	0.0148
石油价格	0.0464	0.0158
石油价格波动率	0.0433	0.0304
对外依存度	0.0131	0.0159
进口集中度	0.1343	0.0250
地缘政治格局	0.1051	0.2833
运输通道安全性	0.0106	0.0572
石油消费碳排放强度	0.0521	0.0427
可再生能源占能源消费比	0.0382	0.0068
能源转换率	0.0208	0.0065

(三)灰色聚类分析确定石油安全模糊评价权矩阵

1. 石油安全评价指标数据矩阵的构建

将表 4 中的石油安全原始指标数据,记为指标数据矩阵 $\boldsymbol{X}=(x_{ij})_{m\times n}(1\leqslant i\leqslant m;1\leqslant j\leqslant n;m=1,2,\cdots,15;n=1,2,\cdots,10)$。

2. 石油安全评价等级的确定

将中国石油安全等级划分为 5 个灰类,分别为:A 级、B 级、C 级、D 级、E 级,代表的安全程度分别为:安全,较安全,一般,较危险,危险。各指标分类的划分如表 2。

3. 石油安全评价灰类的确定

石油安全评价灰类是在石油安全评价等级的基础上运用白化权函数确定的。$f_i^k(\cdot)$ $(i=1,2,3,\cdots,15;k=1,2,3,4,5)$ 为典型的白化权函数,其中 $x_i^k(1)$、$x_i^k(2)$、$x_i^k(3)$、$x_i^k(4)$ 为 $f_i^k(\cdot)$ 的转折点。因此,典型的白化权函数就记为 $f_i^k[x_i^k(1),x_i^k(2),x_i^k(3),x_i^k(4)]$。在此定义下,$x_i$ 指标的 k 子类白化权函数对 $f_i^k(\cdot)$ $(i=1,2,3,\cdots,15;k=1,2,3,4,5)$ 的具体形式如下:

$f_1^1=[-,-,0,5]$,$f_1^2=[0,5,-,12]$,$f_1^3=[5,12,-,25]$,$f_1^4=[12,25,-,40]$,$f_1^5=[25,40,-,-]$,$f_2^1=[-,-,0,100]$,$f_2^2=[0,100,-,200]$,$f_2^3=[100,200,-,300]$,$f_2^4=[200,300,-,400]$,$f_2^5=[300,400,-,-]$,$\cdots$,$f_{14}^1=[-,-,0,5]$,$f_{14}^2=[0,5,-,10]$,$f_{14}^3=[5,10,-,15]$,$f_{14}^4=[10,15,-,25]$,$f_{14}^5=[15,25,-,-]$,$f_{15}^1=[-,-,0,40]$,$f_{15}^2=[0,40,-,60]$,$f_{15}^3=[40,60,-,75]$,$f_{15}^4=[60,75,-,90]$,$f_{15}^5=[75,90,-,-]$。

以石油储采比评价指标为例,构造的白化权函数具体表达式为:

$$f_1^1(x)=\begin{cases}0,\ x>5\\ \dfrac{5-x}{5},\ 0<x<5\\ 1,\ x<0\end{cases}$$

$$f_1^2(s)=\begin{cases}0,\ x<0,\ x>12\\ \dfrac{x}{5},\ 0<x\leqslant 5\\ \dfrac{12-x}{7},\ 5<x\leqslant 12\end{cases}$$

$$f_1^3(x)=\begin{cases}0,\ x<5,\ x>25\\ \dfrac{x-5}{7},\ 5<x\leqslant 12\\ \dfrac{25-x}{13},\ 12<x\leqslant 25\end{cases}$$

$$f_1^4(x)=\begin{cases}0,\ x<12,\ x>40\\ \dfrac{x-12}{13},\ 12<x\leqslant 25\\ \dfrac{40-x}{15},\ 25<x\leqslant 40\end{cases}$$

$$f_1^5(x)=\begin{cases}0,\ x<25\\ \dfrac{x-25}{15},\ 25<x\leqslant 40\\ 1,\ x>40\end{cases}$$

其余指标白化权函数亦可同样获得。

4. 灰色统计数及模糊评价权矩阵的确定

将石油安全评价指标数据矩阵 $\boldsymbol{X}=(x_{ij})_{m\times n}$ 各个数据带入到相应的白化权函数中,运用式(8)计算得出各指标的灰色统计数,见表 7。然后,根据表 7 中的灰色统计数及式(9),可得出石油安全模糊评价权矩阵 $\boldsymbol{R}$。

表 7　石油安全评价指标灰色统计数

指标	n_{i1}	n_{i2}	n_{i3}	n_{i4}	n_{i5}
石油储采比	0.000	0.072	9.483	0.534	0.000
石油产量	0.000	1.074	8.347	0.579	0.000
石油探明储量程度	0.000	0.000	0.622	8.421	0.956
石油消费增长率	10.000	0.981	2.466	1.973	6.572
石油消费增长弹性	8.000	6.550	3.150	3.150	10.000
石油占一次能源消费比	10.000	0.000	6.050	3.798	6.500
石油价格	0.149	1.197	0.654	9.124	5.876
石油价格波动率	9.473	2.463	0.435	2.133	6.058
对外依存度	3.217	5.308	0.828	4.438	10.000
进口集中度	6.901	3.099	0.000	0.000	10.000
地缘政治格局	0.000	2.500	6.500	1.000	0.000
运输通道安全性	0.500	3.000	6.500	0.000	0.000
石油消费碳排放强度	1.000	3.500	4.000	1.500	0.000
可再生能源占能源消费比	0.000	2.580	7.160	0.260	0.000
能源转换率	0.000	0.000	2.053	7.940	0.007

$$R=\begin{bmatrix} 0 & 0.0071 & 0.9399 & 0.0529 & 0 \\ 0 & 0.1074 & 0.8347 & 0.0579 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0622 & 0.8422 & 0.0952 \\ 0.4547 & 0.0446 & 0.1121 & 0.0897 & 0.2988 \\ 0.2593 & 0.2123 & 0.1021 & 0.1021 & 0.3241 \\ 0.3795 & 0 & 0.2296 & 0.1441 & 0.2467 \\ 0.0088 & 0.0704 & 0.0385 & 0.5367 & 0.4458 \\ 0.4607 & 0.1198 & 0.0212 & 0.1037 & 0.3456 \\ 0.1625 & 0.2682 & 0.0418 & 0.0221 & 0.5053 \\ 0.3451 & 0.1550 & 0 & 0 & 0.5000 \\ 0 & 0.2500 & 0.6500 & 0.1000 & 0 \\ 0.0500 & 0.3000 & 0.6500 & 0 & 0 \\ 0.1000 & 0.3500 & 0.4000 & 0.1500 & 0 \\ 0 & 0.2580 & 0.7160 & 0.0260 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2053 & 0.7940 & 0.0007 \end{bmatrix}$$

(四)运用模糊评价法计算得出最终评价结果

根据模糊评价矩阵 $\boldsymbol{C}=[C_1, C_2, C_3, C_4, C_5]=\overline{W_i}\cdot\boldsymbol{R}$,计算并进行归一化处理得出石油安全模糊评价矩阵 $\boldsymbol{C}=[0.0685\ \ 0.1288\ \ 0.5546\ \ 0.1754\ \ 0.0727]$。将 1996—2017 年石油安全评价指标标准化数据与石油安全等级灰色统计数相乘,并进行归一化处理,由最大隶属度原则可得出 1996—2017 年中国石油安全状态,见表 8。

由表 8 看出,1996—2017 年间中国石油安全程度处于波动状态。1996—2013 年石油安全状态逐渐下降,在这期间随着中国经济的快速发展,石油需求增长速度加快,石油供需缺口逐渐扩大,对外依存度逐年上升,油价不断攀升,2014 年国际油价一直居高不下,油价在 110 美元/桶左右徘徊,地缘政治风险不断恶化,生态环境也没有得到很好的改善。2014 年后,国际油价大幅度降低,由 110 多美元/桶降到 50 ~ 70 美元/桶,至今一直处于低价徘徊状态,对石油上游产业产生很大影响,但进口成本相对下降。近年来中国石油对外依存度一直居高不下,2017 年中国石油对外依存度达到 67.4%,对于中国来讲石油安全主要是石油的供给安全问题,因此油价对于中国石油安全的影响是比较大的,相对于 2014 年以前的高油价时代,2014 年后的低油价时期,我国海外的石油供应地区和渠道都有所增加,因此我国的石油安全形势有所放缓。由于中国经济发展步入了新常态,石油消费增速趋缓,更加注重能源结构调整,推进能源绿色低碳发展,因此,2014—2017 年石油安全状态呈现“一般”状态。

表 8　1996—2017 年中国石油安全等级

年份	A 级	B 级	C 级	D 级	E 级	安全程度
1996	0.3107	0.1229	0.1846	0.0810	0.3009	安全
2000	0.2607	0.0911	0.2555	0.1733	0.2195	安全
2005	0.2072	0.1214	0.2223	0.2282	0.2207	安全
2011	0.1852	0.1431	0.1987	0.2378	0.2352	较危险
2012	0.1295	0.1422	0.2297	0.2877	0.2109	较危险
2013	0.1080	0.1476	0.2565	0.2789	0.2089	较危险
2014	0.0997	0.1642	0.2996	0.2440	0.1925	一般
2015	0.0857	0.1857	0.3272	0.2259	0.1756	一般
2016	0.0805	0.1916	0.3718	0.2049	0.1512	一般
2017	0.1133	0.1843	0.3405	0.1972	0.1648	一般

五、余论

本文重点是将四元集成及熵技术模型应用到中国石油安全评价,这只是作了一个大胆的尝试,为我国石油安全评价提供一条新的研究思路和方法。随着我国石油工业的不断发展,构建的石油安全评价指标体系也有待于进一步完善和发展,愿本文中应用的思路与相关研究能够为该领域的进一步研究提供一定的借鉴。

本文研究基于的数据是 1996—2017 年,2018 年的中美贸易战对中国石油安全也带来了影响,后期笔者将做进一步的研究。

参考文献:

[1] 李治国,齐素素,韩程.成品油现行定价机制与成品油市场平衡关联研究[J].中国石油大学学报(社会科学版),2017,33(4):7-14.

[2] Chang Y, Yao L. Energy Security and Climate Change in ASEAN: Implications and Policies[G]// Energy and Non-Traditional Security (NTS) in Asia. Springer Berlin Heidelberg, 2014:31-46.

[3] Kanchana K, Unesaki H. Assessing Energy Security Using Indicator-Based Analysis: The Case of ASEAN Member Countries [J]. Social Sciences, 2014,26(4):1269-1315.

[4] 何贤杰,刘增洁,吴初国,等. 中国石油安全评价及建议[J]. 地质通报,2006(Z2):1108-1104.
[5] 刘建,卢波. 非传统安全视角下中国石油安全的测度及国际比较研究[J]. 国际经贸探索,2016(7):15-29.
[6] 周新军. 能源安全问题研究:一个文献综述[J]. 当代经济管理,2017(1):1-5.
[7] 李桂东,马广兴,何双. 基于混沌理论的中国石油安全评价及预测[J]. 能源与节能,2011(11):11-14.
[8] 郭伟,张宇,张彤. 基于因子分析和 3 西格玛法则的中国能源安全评价[J]. 西安工程大学学报,2013(5):648-654.
[9] 范秋芳. 基于 BP 神经网络的中国石油安全预警研究[J]. 运筹与管理,2007(5):100-104.
[10] 范秋芳,赵亚丽. 基于层次分析法和模糊综合评价模型的中国石油安全预警研究[J]. 中外能源,2014,19(2):8-12.
[11] 吕军,王德运. 中国石油安全评价及情景预测[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2017(3):86-96.

责任编辑:张岩林

Research on Petroleum Security Evaluation in China under the Background of International Oil Price Fluctuation

LIU Haomin, ZHANG Zaixu

(*School of Economics and Management*, *China University of Petroleum*(*East China*), *Qingdao*, *Shandong* 266580, *China*)

Abstract: In order to guarantee the national petroleum security, this paper establishes the evaluation index system of petroleum security in China under the background of international oil price fluctuation, which accords with the actual situation in China. It determines 5 basic indexes of supply, consumption, trade, geopolitics, ecology and 15 specific indexes, and applies the DHGF and entropy technology model to evaluate China's petroleum security situation from 1996 to 2017.

Key words: oil price fluctuation; petroleum security evaluation; DHGF and entropy technology model