

# 中国石油安全体系评价研究 ——基于粗糙集及支持向量机方法

张磊

(广州城市理工学院 管理学院 广东 广州 510800)

**摘要:**中国未来的石油需求对中国石油安全来说至关重要。在基于2015—2020年对我国石油安全数据调查、分析的基础上,结合石油勘探开发等相关文献,按重要性筛选出代表性的核心指标,建立石油安全的评价指标体系,采用粗糙集及支持向量机结合加以研判评价,并从调整能源消费结构等4个角度提出关于提升中国石油安全的建议。

**关键词:**石油安全;粗糙集;支持向量机

**中图分类号:**C939

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-0566(2022)11-0013-07

## Research on the evaluation of China's oil security system: based on Rough Set and Support Vector Machine

ZHANG Lei

(School of Management, Guangzhou City University of Technology, Guangzhou 510800, China)

**Abstract:** China's future oil demand is very important to China's oil security, based on the investigation and analysis of China's oil safety data from 2015 to 2020, combined with oil exploration and development and other related documents, according to the importance of screening the representative core indicators, the establishment of oil safety evaluation index system, with rough set and support vector machine combined evaluation, and from the adjustment of energy consumption structure and other four perspectives on improving China's oil security proposals.

**Key words:** oil security; Rough Set; Support Vector Machine

石油安全是能源安全的核心,不仅关系到国家经济的稳定、健康与持续发展,更关乎国家政治、军事等方面的安全,已经成为我国长期面临的一大战略问题。中国未来的石油需求对中国石油安全来说至关重要,如果石油消耗量与国内石油产量呈现正相关性增长,石油产量的增长速度高于消耗量速度,中国石油安全性将会得到很大的提高;反之,中国石油安全性将处于不安全的状态。从多年的石油勘探情况看,未来中国石油的

石油产量并不会有大的增长,而其消耗量的增长将远远超过石油产量的增长,其间逐渐增大的缺口将严重威胁中国的石油安全。那么如何能够定量地评价中国石油现阶段的安全程度呢?

近年来,国内外学者对石油安全问题进行了大量研究,主要侧重于以下4方面。

一是对石油安全问题的综合研究。石油安全问题是一个系统工程,它涉及政治、军事、外交、经济等诸多的方面。从国际政治视角研究石油主要

收稿日期:2021-12-10 修回日期:2022-09-27

作者简介:张磊(1968—),男,北京人,广州城市理工学院副教授,管理学博士、博士后,研究方向为物流及供应链管理、能源经济管理。

有吴磊<sup>[1]</sup>对石油安全问题进行了综合论述;查道炯<sup>[2]</sup>以国际政治经济形势为背景,论述了中国的石油政治与石油外交等问题;周大地<sup>[3]</sup>提出降低能源需求是保障中国石油安全的重要手段;王家枢<sup>[4]</sup>提出能源多元化战略,主张广开石油进口渠道分散风险,提高进口石油的安全性;周凤起<sup>[5]</sup>提出,从大力节油、加强国内油气资源勘探、开展石油资源的国际化经营、保障运输通道安全、燃料替代和石油储备方面评述我国石油安全对策。但对于中国石油安全维护的系统研究,目前国内研究尚不够深入。

二是国际石油价格波动对中国的石油安全的影响。石油价格波动影响到中国石油需求和来源状况,尤其是中国石油对外依存度的增加,其风险对中国影响也越来越大。胡光辉等<sup>[6]</sup>、胡怀国<sup>[7]</sup>、华民等<sup>[8]</sup>、范英等<sup>[9]</sup>从不同角度论证了原油价格上涨对 GDP 增长率及各行业的影响。

三是对石油储备基地方面的研究。石油储备基地在美、日、德、法等发达国家早已建立,而中国经过多年讨论意见逐渐趋于一致,具体方案也已经付诸实施。因此近年石油储备基地研究的文献较多,主要介绍国际石油储备基地建设的经验、探讨中国石油储备基地储备量问题、选址问题和运营管理问题等方面。张磊等<sup>[10]</sup>充分阐述了美、日、德、法等发达国家行之有效的成功实践,探讨了中国的石油储备模式,为进一步加快国家石油储备基地建设提出了建议和方向;杜连才<sup>[11]</sup>、王新新<sup>[12]</sup>、费明明<sup>[13]</sup>、冯丹等<sup>[14]</sup>、陈海涛<sup>[15]</sup>、陈柳钦<sup>[16]</sup>提出石油储备战略应区分为国家石油储备、企业石油储备、组织机构石油储备,主张分层次实施石油储备战略。

四是石油供给安全及地缘政治风险。相关研究集中在石油供给安全量化评价、石油进口来源的多样性及石油供给的独立性三个方面。李继尊<sup>[17]</sup>、罗超华等<sup>[18]</sup>分析了供给来源多样性与石油安全风险之间的联系;周冉<sup>[19]</sup>、朱勇等<sup>[20]</sup>认为石油供给安全已经成为石油进口国能源安全策略的重要组成部分,而地缘政治因素直接威胁着全球石油市场的稳定性。

但以上论文视角和立足点相差不多,都是从石油的作用和石油的安全谈起,大多数著作和文章都侧重对石油安全目前问题的考察,形势分析多、深度研究少,短期对策多、长期策略少,定性分析多、定量分析少,且大部分的论著使用的数据缺乏系统性,未能系统建立起石油安全的评价体系。

本文在继承上述研究成果优势的基础上,通过对石油安全文献的查阅,在对中国国内外石油资源定性分析基础上,构建石油安全评价体系,运用粗糙集及支持向量机进行评价。

## 一、原理简介

### (一)粗糙集理论

粗糙集(Rough Set, RS)理论<sup>[21-22]</sup>是一种研究不完全数据、不确定知识的表达、学习、归纳的新型数学工具。它能有效地分析不精确、不一致、不完整等各种不完备的信息,还可以对数据进行分析 and 推理,从中发现隐含的知识,揭示潜在的规律和推理。

假设预测对象为  $W$ ,  $W$  上的一个等价关系为  $R$ , 那么  $k = (W, R)$  称为一个近似空间, 如果  $x, y \in W$  且  $x, y \in R$ , 那么  $x$  和  $y$  在  $k$  上是不可辩的,  $R$  即为一个不可分辨关系; 如果属性集  $P \subseteq R$ , 且  $P \neq \varphi$ , 那么  $IP$  即为  $P$  上的一个不可分辨关系, 记  $ind(P)$ ; 如果属性  $r \in P$ , 且  $ind(P) = ind(P - (r))$ , 那么称  $r$  为  $P$  上可省略的, 即属性  $r$  对于描述特征的作用不大, 属于冗余属性, 省略后不会影响对属性特征的描述。

### (二)支持向量机理论

支持向量机(Support Vector Machines, SVM)理论<sup>[23-26]</sup>是根据统计学习理论提出的一种新的机器学习方法,在解决小样本、非线性及高维模式识别问题中表现出许多特有的优势,已经在模式识别、函数逼近和概率密度估计等方面取得了良好的效果。其回归函数可以表示如下:

$$y_i[(w \cdot x_i) + b] - 1 \geq 0 \quad i = 1, \dots, n$$

此时分类间隔等于  $\|w\|^2$ , 使间隔最大等价于使  $\|w\|^2$  最小。  $K(x_i, x_j)$  满足 Mercer 条件变换到高维空间, 目标函数变换为:

$$Q(\alpha) = \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j)$$

相应的分类函数变为:

$$f(x) = \text{sgn} \left[ (w^* \bullet x) + b^* \right] = \text{sgn} \left[ \sum_{i=1}^n \alpha_i^* y_i K(x_i, x_j) + b^* \right]$$

在支持向量机中应用最广泛的高斯径向基核函数,具有较宽的收敛域,且只含1个参数,易于优化,因此本研究采用径向基核函数  $K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2)$  进行运算。

### (三)粗糙集及支持向量机结合的互补性

粗糙集理论与支持向量机有很强互补性,可结合二者的各自优点来进行信息处理;粗糙集在知识约简、处理不准确和不精确知识时具有优势和潜能,能够减少 SVM 数据维度和降低系统结构复杂性,可以对信息系统进行预处理,支持向量机再对信息系统进行分类、学习,可极大地提高效率<sup>[27-28]</sup>。

粗糙集与支持向量机结合在很多领域得到推广,但在石油安全方面应用较少。石油安全评价是一项复杂的系统工程,影响因素更多,从中确定的指标也具有多样性,评价的主观性的影响较多,指标之间非线性关系复杂,大样本指标数据收集也存在困难,难以准确衡量指标间交互对评价结果的影响,而最终无法客观评价石油安全。

粗糙集不需依靠任何附加信息和先验知识,仅从数据集本身出发,即可揭示数据间存在的规律,有效地刻画出数据中的关键因素支持向量机能够在最小化结构风险情况下将非线性分类问题转变为线性问题,对于解决小样本,非线性评价问题具有独特优势。基于 RS-SVM 的评价模型,不仅可以减少因 RS 属性约简造成的重要信息丢失,还有助于提高 SVM 模型的评价精度和效率。因此,本文将 RS-SVM 引入石油安全评价,利用 RS 进行评价指标约简,并通过 SVM 对非线性数据分类处理,为科学评价石油安全提供方法参考将两者相结合来解决问题是有益的尝试。

## 二、石油安全评价体系的构建

按照评价指标的选取应符合科学性、代表性、动态性、客观性、系统性的原则,检索了 CNKI 数据库、万方数据库、中国石油商务网,选择出现频

率高的指标,并借鉴国内外文献中的石油及能源安全评价指标,提取出石油的资源禀赋、供给保障、消费需求、地缘政治风险4个主层因素及12个次层因素,为影响石油安全的指标,构建出石油安全评价初始指标集,见表1。

表1 中国石油安全评价初始指标集

| 目标层    | 准则层    | 指标层      | 编号              |
|--------|--------|----------|-----------------|
| 石油安全程度 | 石油资源禀赋 | 储采率      | C <sub>1</sub>  |
|        |        | 采收率      | C <sub>2</sub>  |
|        |        | 战略石油储备率  | C <sub>3</sub>  |
|        | 石油供给保障 | 国际石油安全程度 | C <sub>4</sub>  |
|        |        | 石油价格波动率  | C <sub>5</sub>  |
|        |        | 能源可替代率   | C <sub>6</sub>  |
|        | 石油消费需求 | 石油消费增长速度 | C <sub>7</sub>  |
|        |        | 石油占能源比重  | C <sub>8</sub>  |
|        |        | 石油消耗强度   | C <sub>9</sub>  |
|        | 地缘政治风险 | 石油进口集中度  | C <sub>10</sub> |
|        |        | 石油对外依存度  | C <sub>11</sub> |
|        |        | 运输风险性    | C <sub>12</sub> |

国家石油安全,其资源禀赋即自身拥有的地质石油资源储备量是关键,而随着经济的发展,石油消费需求的增加,石油资源不足问题凸显,就需要拓宽供给渠道来保障石油安全,而进口石油成为解决问题的重要策略,这就涉及复杂的进口石油的地缘政治风险问题。因此,这4个方面交织在一起,构成影响石油安全的主要因素。

目标层——石油安全程度,是石油安全状况高低的综合指标。

准则层——资源禀赋、供给保障、消费需求、地缘政治风险共4个准则层,用以表征这4个方面的安全状况。

指标层——指标体系中主要具有代表性的指标有以下12个。

(1)储采率。石油资源的储采率是石油剩余可采储量支持现有石油生产水平的能力,通常表现为可开采年限。储采率越高,则供给就越安全。

储采率 = 年底剩余石油采储量 / 当年石油产量 × 100%

(2)采收率。石油的采收率是指油田油井注水后所重新抽吸后石油所占比例。石油的采收率越高,则油井的产油效率越高,石油的产量也就越高。

采收率 = 单井年石油产量 / 单井年注水后的重新抽吸量 × 100%

(3) 战略石油储备率。战略石油储备率大小, 用战略储备量可消费的时间来表示。储备率越大, 则储备可供国内在非常时期消费的时间就越长, 对国内市场的稳定作用越明显, 安全程度就越高; 反之就越低。

战略石油储备率 = 战略石油储备总量 / 国内每天石油消费量  $\times 100\%$

(4) 国际石油安全程度。石油进口国与产油国之间的政治、经济关系越好, 石油的国外供给就越稳定, 安全程度就越高。

(5) 石油进口集中度。反映石油进口来源地的集中程度, 进口集中度高, 表明石油进口来源太集中, 不利于分散风险。

石油进口集中度 = 本国年进口石油最多的前三位国家的石油净进口量之和 / 本国年净进口石油总量  $\times 100\%$

(6) 能源可替代率。可用很高、高、一般、低、很低五个等级来划分能源可转换与替代程度。与国外发达国家相比, 中国的能源可转换与替代程度仍相对较低。

(7) 石油消费增长速度。  
石油消费增长速度 = 年石油消费量增长量 / 上一年石油消费量  $\times 100\%$

其速度越快, 对石油需求量越大, 石油安全程度越低。促进国民经济增长中重要性越高, 石油的需求量大, 石油安全风险高。

(8) 石油占能源比重。石油在本国能源消费中所占比重越大, 说明石油作为能源在促进国民经济增长中的重要性越高, 石油的需求量大, 石油安全风险高。

石油占能源消费中比重 = 本国年石油消费量 / 本国年能源消费量  $\times 100\%$

(9) 石油消耗强度。是指单位实际国内生产总值所消耗石油的数量。石油消耗强度越小, 石油安全状况就越好。

石油消耗强度 = 一国年石油消耗总量 / 该国当年实际国内生产总值  $\times 100\%$

(10) 石油进口集中度。反映石油进口来源地的集中程度, 进口集中度高, 表明石油进口来源太

集中, 不利于分散风险。

石油进口集中度 = 本国年进口石油最多的前三位国家的石油净进口量之和 / 本国年净进口石油总量  $\times 100\%$

(11) 石油对外依存度。反映本国石油消费量对净进口石油的依赖程度, 同时也是国内石油自给率的逆指标。对外依存度越高则安全程度越低。对外依存度 = 石油年净进口量 / 本国年消费量  $\times 100\%$ 。

(12) 运输风险性。指与运输的距离、运输线的安全状况运输方式以及运输国对石油运输线的安全保障能力强弱有关。

借鉴吴初国等<sup>[29]</sup>、张磊等<sup>[30]</sup>关于石油安全等级划分标准, 本文将石油安全标准划分为 5 个等级, 见表 2。

| 表 2 中国石油安全评价等级标准 |      |            |
|------------------|------|------------|
| 安全等级             | 安全程度 | 安全等级区间     |
| I                | 高度安全 | [1.0, 0.8) |
| II               | 基本安全 | [0.8, 0.6) |
| III              | 不安全  | [0.6, 0.4) |
| IV               | 很不安全 | [0.4, 0.2) |
| V                | 极不安全 | [0.2, 0.0) |

### 三、基于粗糙集及支持向量机中国石油安全的评价模型

#### (一) 中国石油安全评价数据准备

将评价指标集作为决策表中的条件属性, 12 个评价指标用  $\{C_1, C_2, \dots, C_{12}\}$  表示, 取其样本数据做属性约简处理, 再进行样本分类。本文研究的时间区间为 2015—2020 年, 数据来源于《中国能源统计年鉴 2020》及《BP 世界能源统计年鉴 2020》整理所得<sup>[31]</sup>。

#### (二) 粗糙集数据约简

应用粗糙集计算分析工具对评价指标集约简单步骤如下。

(1) 根据粗糙集理论对研究数据建立决策表。

决策表决策属性有: 可靠性评价等级 {高度安全、基本安全、不安全、很不安全、极不安全} 为单一决策属性用  $\{d\}$  表示。建立信息系统  $S = \{U, R, V, f\}$ ,  $U = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ,  $R = C \cup D$ ,  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{12}\}$  和  $D\{d\}$  分别为条件属性和决策属性。

(2) 对数据进行预处理, 数据预处理包括决策

表数据补齐、决策表离散化。

(3) 选取算法进行约简,一般使用方法: Genetic 算法和 Johnson's 算法。

(三)SVM 进行样本分类

使用粗糙集对石油安全评价指标样本数据属性约简后,保留了石油安全评价的核心属性,减少了计算量,简化了计算过程,进而根据约减后的核属性对评价指标进行多层分类。

(1)选取核函数与参数。目前有 3 类用得较多的内积核函数,一般选择核函数时首先考虑径向基函数,主要基于其参数比较少、数值差异较小。

(2)样本训练。利用 SVM 多分类方法进行对样本数据进行分类,建立 1 个 2 级支持向量机分类器来区分 2 种评价等级 ( { 高度安全、基本安全、不安全、很不安全、极不安全 } )。

(3)样本测试。在样本训练完成后,将测试样本数据输入训练好的 2 级支持向量机分类器。根据输出结果,可以区分出不同样本评价等级。

四、实证分析

(1)样本数据选取。在此利用数据作为学习样本,见表 3;表 3 中  $C_1 - C_{12}$  分别为石油安全 12 项评价指标。

(2)RS 约简。用 Genetic Algorithm 及 Johnson's Algorithm 对预处理后决策表属性约简,取二者的交集得到约简结果。

(3)SVM 分类。使用粗糙集计算分析工具 Rosetta 对评价指标样本数据属性进行约简,保留 4 个核属性,进而对石油安全进行多层分类。将样本集划分为训练和测试样本集,随机抽取表 3 中 11 个样本为训练样本集,用于构造多层 SVM 模型;其余 3 个样本作为测试样本集,用于检验模型泛化能力,见表 3。

在 MATLAB 6.5 环境下使用 LS - SVMlab 1.5 计算工具包进行计算分析,径向基函数作为核函数,对训练集 11 条记录进行训练。训练完成后把 3 条测试样本数据输入训练好的 2 级 SVM 分类器,分类结果见表 4。

由表 4 结果可以看出,我国未来石油安全状况依旧较为严峻,仍旧处于等级Ⅳ区间;未来我国石油安全依旧面临着诸多挑战,国际原油价格反弹、石油对外依存度持续升高以及运输风险增高的状况,在未来将加剧中国石油安全的风险。

上述结果显示,中国石油安全已处于低安全状态,有必要采取措施防范和应对石油安全风险的发生。

表 3 评价模型样本数据

| 编号 | 储采率 | 采收率 | 战略储备率 | 国际石油安全程度 | 石油价格波动率 | 能源可替代率 | 石油消费增长速度 | 石油占能源比重 | 石油消耗强度 | 石油进口集中度 | 石油对外依存度 | 运输风险性 |
|----|-----|-----|-------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|---------|---------|-------|
| 1  | 4.1 | 33  | 2.1   | 41       | 65      | 1      | 21       | 13      | 13     | 4       | 7       | 2     |
| 2  | 3.5 | 32  | 2.3   | 39       | 63      | 1      | 22       | 15      | 17     | 4       | 6       | 2     |
| 3  | 3.7 | 41  | 2.2   | 42       | 66      | 2      | 23       | 15      | 19     | 3       | 8       | 2     |
| 4  | 4.2 | 37  | 2.1   | 38       | 67      | 1      | 21       | 15      | 19     | 4       | 6       | 2     |
| 5  | 4.2 | 34  | 2.2   | 39       | 59      | 1      | 25       | 15      | 16     | 4       | 6       | 2     |
| 6  | 3.4 | 45  | 2.1   | 41       | 57      | 1      | 27       | 16      | 15     | 3       | 8       | 2     |
| 7  | 3.2 | 52  | 2.2   | 36       | 64      | 1      | 24       | 16      | 13     | 4       | 7       | 2     |
| 8  | 3.4 | 48  | 2.1   | 37       | 66      | 1      | 27       | 16      | 17     | 4       | 8       | 2     |
| 9  | 4.8 | 47  | 3.1   | 41       | 62      | 2      | 24       | 17      | 21     | 3       | 6       | 2     |
| 10 | 5.5 | 44  | 3.3   | 42       | 54      | 1      | 25       | 19      | 23     | 4       | 4       | 2     |
| 11 | 4.7 | 42  | 3.4   | 39       | 56      | 1      | 24       | 17      | 22     | 3       | 5       | 2     |
| 12 | 4.8 | 41  | 3.3   | 38       | 65      | 1      | 22       | 19      | 23     | 3       | 5       | 2     |
| 13 | 4.8 | 42  | 3.5   | 41       | 61      | 2      | 21       | 17      | 23     | 4       | 7       | 2     |
| 14 | 4.9 | 41  | 3.3   | 46       | 63      | 1      | 22       | 21      | 21     | 3       | 7       | 2     |

表 4 测试样本分类结果表

| 分类器  | 训练样本输入                                 | 期望输出                                             | 评价样本   | 计算结果   | 分类结果        |
|------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|--------|--------|-------------|
| SVM1 | { 1,2,3,4,5,6,7,8,9, 10,11,12, 13,14 } | { 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1 } | { 14 } | { -1 } | { Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ } |
| SVM2 | { 3, 4, 6, 9 }                         | { -1, -1, -1, -1 }                               | { 14 } | { -1 } | { Ⅳ }       |

## 五、结论与建议

本文结合粗糙集及支持向量机,利用数学工具 Matlab 和 Rosetta 对模型进行实际计算分析,该模型具有较高的精度,可较好地应用于石油安全评价,得到较准确预测率,其中的安全评价指标体系亦可作为评价中国石油安全状况量化依据的参考。

从评价结果来看,在评价期内中国石油安全状况总体上处于较低层次,面临的石油安全风险因素较多。其中的国际原油价格波动、对外依存度、海运风险、地缘政治风险不断上升,严重制约着我国石油的供给安全。

本文通过构建石油安全评价指标体系,使用 RS-SVM 模型模拟石油安全非线性演化规律的基础上,对中国石油安全状况进行了初步探讨,提出以下建议。

(1)降低石油对外依存度,优化能源结构,加快开发新能源。国际油价的攀升及其剧烈波动对中国石油安全带来更多不利影响,推广太阳能、风能、地热能、潮汐能、生物质能、可燃冰等清洁能源,形成能源消费的多元化,减少对现有石油资源的消耗。在新能源的开发方面,政府建立专门的新能源技术研究机构来主导技术研发,降低企业研发风险。在加大电动轿车的推广的同时,加快对电池技术的研发突破。

(2)加大国外石油开发力度,积极参与国际市场,以减少进口渠道单一的风险,争取国际石油定价话语权。实施“走出去”战略,一是广开国际货源,实行石油进口多元化战略,将产油国的地区冲突和政治动荡对中国石油进口的影响降到最低点,这是中国利用国外石油资源的主要渠道;二是鼓励中国石油公司遵循国际石油行业资本运作的规律,到国外进行石油开发,这对于中国利用海外石油资源非常重要。

(3)建立石油期货市场,利用金融工具规避国际油价波动给中国石油安全带来的风险。中国应建立和发展本国的石油金融市场,积极参与国际石油贸易规则制定,加强石油期货、现货、衍生品、美元交易市场的交流互动,规避国际油价波动带

来的风险。

(4)建立多元石油供应格局,降低石油进口集中度。积极开展石油输出国石油企业的合作,扩大来自非洲、拉美、中亚、俄罗斯及其他周边国家和地区的油气资源,以分散石油进口过于集中所带领的国际风险。

(5)积极开展国际合作,改善优化地缘政治环境。加强国际合作,建立和密切与产出国石油企业的交往合作,谨慎应对全球油气地缘政治和能源安全形势,形成以国家利益和可持续发展为核心的能源外交体系,参与构建全球能源安全体系。

(6)建立本国的石油运输船队,逐步掌握石油进口海上运输主动权。逐步壮大本国石油运输船队建设,减少国际船舶租赁,以提高石油海上运输安全;同时加强军事护航能力,保障国家海上石油运输通道的安全。

(7)完善和壮大国家战略石油储备体系。建立由政府统一领导、统一决策、统一调度的战略石油储备体制,并分级管理,不断完善相关法律、法规,同时借鉴国外民间储油的经验,以保障国家石油储备体系不断完善和壮大。

(8)深化石油安全预警与评价研究,建立相应的评价机制。近年来,石油安全问题相关研究成果较多,但系统性研究仍不足,体系不够完善。应结合实际深化石油安全系统评价研究,密切各类理论方法之间的联系,优化过程,并建立相应的机制,使评价更科学、合理、准确。

## 参考文献:

- [1]吴磊. 中国石油安全[M]. 北京:中国社会科学出版社,2003:12-73.
- [2]查道炯. 全球能源治理:中国贡献的路径[J]. 全球化,2018(4):38-51.
- [3]周大地. 中国能源状况和新能源产业发展向与亮点[J]. 中国经贸导刊,2017(1):39-40.
- [4]王家枢. 中国石油安全与地缘政治[J]. 资源产业,2004(1):3-7.
- [5]周凤起. 对中国石油供应安全的再思考[J]. 国际石油经济,2005(1):34-38.
- [6]胡光辉,孟艳莉,张玉柯. 国际石油价格波动对中国外贸的影响:理论综述与实证分析[J]. 贵州财经大学学报,2013(5):104-110.

- [7]胡怀国. 石油价格波动及其宏观经济影响——兼论供求冲击的不同后果[M]. 北京:经济科学出版社,2010:13-34.
- [8]华民,刘佳,吴华丽. 国际石油价格暴涨急跌的逻辑和中国的应对[J]. 世界经济与政治论坛,2010(1):14-26.
- [9]范英,焦建玲. 石油价格:理论与实证[M]. 北京:科学出版社,2008:5-17.
- [10]张磊,郑丕谔,王中权. 中国石油业的安全形势分析与发展策略选择[J]. 现代财经,2007,27(3):62-66.
- [11]杜连才. 中国石油储备重点问题分析[J]. 技术纵横,2013(9):147-148.
- [12]王新新. 我国石油储备发展的审视与对策分析[J]. 技术经济与管理研究,2013(2):102-106.
- [13]费明明. 中美战略石油储备的比较研究[J]. 中国科技论坛,2011(2):143-147.
- [14]冯丹,耿波,王红. 从美日两国战略石油储备体系看我国石油储备发展[J]. 能源技术与管理,2009(2):127-129.
- [15]陈海涛. 中国战略石油储备方式综合评价及决策[J]. 学术交流,2010(4):103-106.
- [16]陈柳钦. 保障国家石油安全需完善石油储备体系[J]. 战略纵横,2012(9):14-21.
- [17]李继尊. 关于中国石油安全的思考[J]. 管理世界,2014(8):1-3.
- [18]罗超华,张彤,张文琴,等. 石油进口来源多元化和来源风险的相关关系[J]. 西南石油大学学报(社会科学版),2013(4):7-10.
- [19]周冉. 中国“外源性”能源安全威胁研究——基于非传统安全视角的识别、评估与应对[J]. 世界经济与政治论坛,2017(1):75-97.
- [20]朱勇,王宇奇. 中石化原油供应链绩效评价指标体系构建[J]. 科技与管理,2015(3):50-58.
- [21]周小勇,吴玉萍. 基于RS-SVM的移动旅游服务质量评价模型研究[J]. 生产力研究,2021(7):103-107.
- [22]汪莹,蒋高鹏. RS-SVM组合模型下煤矿安全风险预测[J]. 中国矿业大学学报,2017(4):423-429.
- [23]VAPNIK V. 统计学习理论的本质[M]. 张学工,译. 北京:清华大学出版社,2000:56-112.
- [24]张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J]. 自动化学报,2000,26(1):32-42.
- [25]杨帆,谈飞,崔祥. 基于RS和SVM的建筑企业信用风险评估研究[J]. 武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2016(1):33-36.
- [26]张志霞. 基于RS-SVM的无线传感器网络入侵检测模型研究[J]. 智能计算机与应用,2019(3):319-320,323.
- [27]张盘,胡瑾秋,王倩琳. 基于RS和SVM的化工过程高精度故障诊断方法[J]. 石油学报(石油加工),2017(4):777-784.
- [28]于宪煜,胡友健,牛瑞卿. 基于RS-SVM模型的滑坡易发性评价因子选择方法研究[J]. 地理与地理信息科学,2016(3):23-28.
- [29]吴初国,刘增洁,崔荣国. 能源安全状况的定量评价方法[J]. 国土资源情报,2011(1):40-44.
- [30]张磊,郑丕谔,王中权,等. 基于支持向量机的中国石油安全分析[J]. 工业工程,2010,13(4):40-47,52.
- [31]中国能源报. BP世界能源展望2019中文版[EB/OL]. [2019-04-10]. [http://www. Sohu. com/a/306996244\\_408441](http://www.Sohu.com/a/306996244_408441).

(本文责编:辛 城)