

中国原油进口来源国供应安全的定量评估

祝孔超^{1,2}, 牛叔文^{2,3}, 赵媛^{1,4,5}, 邱欣²

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 3. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000; 4. 南京师范大学金陵女子学院, 南京 210097; 5. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023)

摘要: 原油供给安全在中国国家安全中占有重要地位, 对其定量评估可为防范风险提供政策参考。采用事件数据分析法定量测度中国与21个主要原油进口来源国之间的双边关系, 结果表明: 中国与大多数原油贸易伙伴的关系处于中低水平, 但近十多年总体保持上升趋势, 原油进口存在一定的政治关系风险但趋于下降。选用资源、政治、经济、运输、军事5个方面的11个指标, 通过组合赋权法确定指标权重, 运用集对分析方法评估中国21个原油进口来源国的供应安全度, 并识别主要障碍因子。结果表明: 21国供应安全度存在较大差异。部分中东国家、俄罗斯、委内瑞拉、哈萨克斯坦供应安全度较高, 多数非洲国家和亚太国家供应安全度较低。供应国的原油资源状况、运输风险、政治风险是制约多数国家供应安全的主要障碍因素。为防范风险, 中国需坚持开展多边“能源外交”, 扩大战略石油储备等多方面施策方针。

关键词: 原油供给安全; 双边关系; 集对分析; 障碍度; 风险防范

资源安全是国家安全的重要组成部分^[1]。作为一种重要的战略资源, 石油被视为国家经济的生命线^[2], 石油供给安全又被认为是能源安全体系中最重要的一部分^[3]。中国能源资源禀赋的基本特点是“富煤、少气、贫油”^[4]。截至2017年底, 全国石油剩余技术可采储量为35.42亿t^[5], 仅占全球1.5%。2018年中国原油产量为1.89亿t, 而消费量却高达6.28亿t。自1996年起成为原油净进口国以来, 中国原油对外依存度不断攀升, 2018年已达到73%, 远高于国际公认的50%的安全警戒线。作为全球第一人口大国和第二大经济体, 巨大的原油需求量相对于有限的自给能力就像一把“达摩克利斯之剑”高悬于中国能源和国家安全之上。

除自产以外, 解决原油安全供给问题的途径还有储备、进口和开发替代能源。石油储备是一国紧急应对突发性供应中断的有效举措。国际能源署(IEA)要求每个成员国持有至少相当于90天净进口的石油储备量^[6]。截至2017年年中, 中国储备原油3773万t, 约等于33天的净进口量, 远低于国际标准, 更低于日本等国100天以上的储备水平^[7]。用其他能源, 特别是清洁能源来替代原油、天然气等化石燃料需要一个长期的过程, 短期内还难以通过能源转型彻底摆脱对原油的依赖。因此, 通过进口来满足我国日益增长的原油需求仍将是较长时期内的主要途径。

收稿日期: 2019-05-24; 修订日期: 2020-02-27

基金项目: 中央高校基本科研业务费“一带一路”专项项目(17LZUJBWZX013)

作者简介: 祝孔超(1992-), 男, 河南信阳人, 博士研究生, 研究方向为能源资源安全管理。

E-mail: zhukch17@lzu.edu.cn

通讯作者: 赵媛(1963-), 女, 江苏南京人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为能源地理与区域可持续发展。

E-mail: zhaoyuan@njnu.edu.cn

从国际市场进口原油也面临着一系列问题,主要是我国与相关国家双边关系,国际油价变化,运输通道风险,出口国不稳定的政治经济形势,产油区及运输路途上的复杂地缘政治关系等,多种因素叠加致使中国原油进口面临诸多不确定性风险^[8]。中国通过“一带一路”建设和多边外交活动,与较多产油国保持了较好的双边关系。但石油是一种特殊的战略资源,其贸易活动极易受到地缘政治的影响。在原油资源富集的中东地区,大国势力激烈角逐,加之复杂的民族宗教矛盾和恐怖主义威胁,使得地区政治动乱和局部冲突频发,给原油贸易和油田的开发建设造成了干扰和威胁^[9,10]。一些原油进口大国为保障本国供给安全,与中国展开了激烈的原油竞争^[11]。中国进口原油的80%左右通过海上运输,一些敌对势力忌惮中国的崛起,不断在中国南海制造乱局,强化对海运咽喉要道——“马六甲海峡”的控制,试图扼制中国的发展^[12]。“马六甲海峡”运输风险成为威胁中国原油继“买得到”之后能否“运得回”的重大隐患^[12]。

鉴于石油(原油)在经济社会发展中的重要性和进口的复杂性与风险性,中国石油(原油)安全问题引起了国内外广泛关注,近十多年来有大量相关的文献报道。一些研究从地缘政治视角来评估中国石油安全,并提出相应政策响应^[13-15]。另一些研究基于石油供应链,识别了中国石油进口过程中的风险因子^[2,16-18],为防范风险,提高进口安全水平提供了有益参考。还有学者通过评估指标体系的设计、赋权和计算,定量测度中国在不同时期的石油安全水平或风险程度^[19-21]。多元化指数^[22]、脆弱性指数^[23]、外部供应风险指数^[7]等量化指标和系统动态分析^[18]、资产组合方法^[24,25]、复杂网络理论^[26]、生态网络分析^[27]等多种方法被广泛应用到石油(原油)安全评估之中。这些研究详细阐释了我国石油(原油)安全的基本问题和影响因素,科学地判断了我国石油(原油)安全的现状与面临的挑战,提出了主要研究方法和评价指标,为应对风险提供了有效政策建议,也为后续研究奠定了良好基础。进口来源国供应安全是原油安全的重要组成部分,但目前专门针对中国原油进口来源国供应安全进行定量评估的研究相对较少,适时、多视角的研究仍是必要的。

基于此,本文使用事件数据分析法测度了中国与21个主要原油供应国和6个对马六甲海峡具有重要控制影响力的国家双边关系,并选取资源、政治、经济、运输和军事5个方面的11个指标,用集对分析方法评估中国原油进口来源国的供应安全度,引入障碍度模型识别主要障碍因素。进而,将国家双边关系和供应安全度相组合,针对性地提出分组的原油贸易合作方案和政策建议。本文运用国家双边关系的量化和原油进口来源国供应安全度的集对分析来探讨我国原油进口安全问题,试图丰富这一领域的研究视角和评价方法。研究结果有助于系统掌握21国供给安全水平和薄弱环节,为进口策略制定和调整提供参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 指标体系构建

原油供应安全是一个受多种因素影响的复杂系统,对于供应国而言,影响其供应安全的因素主要有资源、政治、经济、运输、军事5个方面。参考相关文献^[2,7,17,19,23],从以上5个层面选取了11个指标构建了中国原油供应国供给安全评估指标体系(表1)。考虑了影响供应国供给安全的政治、经济、运输、军事风险,同时也考虑了供应国原油供给能力与潜力,因此反映的是供应国综合长期可持续的供给安全度。

表1 中国原油进口来源国供应安全评估指标体系

Table 1 Evaluation indicator system for supply security of China's crude oil suppliers

一级指标	权重	二级指标	2015年权重		
			熵值权重	AHP权重	组合权重
资源因素 M_1	0.399	原油产量 N_1	0.126	0.113	0.125
		原油储产比 N_2	0.147	0.113	0.135
		原油出口潜力 N_3	0.155	0.113	0.139
政治因素 M_2	0.245	政治风险 N_4	0.098	0.196	0.145
		双边关系 N_5	0.093	0.098	0.100
经济因素 M_3	0.136	对中国原油出口价格 N_6	0.036	0.031	0.035
		对中国原油出口价格方差 N_7	0.038	0.031	0.036
		经济风险 N_8	0.031	0.031	0.032
		金融风险 N_9	0.033	0.031	0.033
运输因素 M_4	0.126	运输风险指数 N_{10}	0.074	0.195	0.126
军事因素 M_5	0.094	军费支出 N_{11}	0.169	0.048	0.094

1.1.1 资源因素

资源因素是影响出口国原油供应安全最基本和最重要的因素之一。出口国原油供给能力与持续性对于进口国长期原油安全非常重要。选取4个指标：(1) 原油产量，反映供应国原油生产能力，产量越大则生产供应能力越强。(2) 储产比，反映供应国原油供应的可持续性，储产比越大则供给持续性越强。(3) 出口潜力，反映长期出口能力大小，以往常用储产比测度。但储产比并不能真实反映一个国家真实的长期出口能力，如一些国家虽拥有高储产比，但由于产量很小或消费量很大，通常不是一个出口大国。可用资源国出口量占全球总出口量的比例对储产比加以修正^[7]，以下式反映出口潜力：

$$PE_{it} = (R_{it}/P_{it}) \times Q_{it} \quad (1)$$

式中： PE_{it} 表示 t 年 i 国的原油出口潜力； R_{it}/P_{it} 表示 t 年 i 国的原油储产比（年）； Q_{it} 表示 t 年 i 国原油出口量占全球的比例（%）。

1.1.2 政治因素

国际石油专家丹尼尔·尤金曾指出，“石油，90%是政治，10%是资源”。政治因素对原油供应安全至关重要，其影响主要体现在供应国政治风险和中国与其双边关系两方面。(1) 政治风险，供应国国内政治动乱、战争、局部冲突将会加大其原油供应的不确定性风险，导致供应减少甚至中断，历史上三次石油危机都源于中东国家动乱或战争。该指标采用PRS集团的国家风险数据^[28]。(2) 双边关系，石油是一种特殊的“政治商品”，在保障国家安全上较其他产业地位更为重要，不同于一般的商品贸易，其交易往往未必遵循经济利益最大化原则，通常更易受到贸易两国双边关系冷暖变化的影响^[29]。友好的双边关系有助于降低原油贸易壁垒与贸易成本，对冲供应国政治风险，促进对供应国能源投资，保障极端情景下原油供应，而冲突型的双边关系可能会导致供应国出于战略遏制目的减少原油供应甚至中断供应。同时友好的国家关系也塑造了一种良好的国家形象和“国家认同”^[30]，更利于开展原油贸易。无论对于进口国还是东道国，他们都更倾向于与政治关系好、政治意识形态矛盾低的国家开展原油贸易以规避风险。随着对外

依存度不断攀高,中国原油进口受到与供应国、运输过境国和其他国家关系的深刻影响。该指标来自本文衡量结果。

1.1.3 经济因素

经济因素对原油供应安全具有重要影响,选取4个指标:(1)对中国原油出口价格,中国原油进口价格越高,则进口成本越高,支付风险越大。(2)对中国原油出口价格方差,以出口价格方差表示供应国原油出口价格的稳定程度,方差越大,价格波动风险越大。(3)经济风险,经济风险越高则经济体系越脆弱,供应越不稳定。(4)金融风险,金融风险越高则金融体系越脆弱,供应越不稳定。

1.1.4 运输因素

运输因素主要表现于在运输过程中由各种因素造成的可能性供应中断。从以下4个方面构建运输风险指数:(1)运输距离,一般而言,运输距离越远,运输过程中的不确定性风险越高。(2)对中国出口份额,供应国对中国出口原油占中国进口份额越大,则中国承担的运输风险越高。(3)海盗袭击风险,中国80%左右的原油通过海上运输,在霍尔木兹海峡、马六甲海峡、印度尼西亚海域等一些重要风险节点,海盗袭击频繁,严重影响了中国原油运输安全。根据国际海事局数据^[31],计算了每个节点的海盗袭击风险并量化了供应国在海运路径上遭受海盗袭击的中断风险概率。(4)马六甲海峡通行风险,中国一半以上的原油运输依赖马六甲海峡,由于特殊的战略位置和航运环境,在非平时期其很可能会成为敌对势力要挟中国的目标。

目前,马六甲海峡由新加坡、马来西亚和印度尼西亚三国共管,美国、日本、印度也以打击海盗为由不断强化对该海峡的控制^[16]。尽管中国通过该海峡运输原油体量巨大,但却缺乏对该航道管理的话语权^[12]。文献[17]以新加坡、马来西亚、印度尼西亚三国的平均军事与政治指数表征马六甲海峡通行风险。借鉴这一做法,本文以中国与对马六甲海峡具有重要控制影响力的6个国家的双边关系作为代理变量表征马六甲海峡被干扰甚至封锁的风险^①。当中国与这些国家关系较好时,相应的风险概率较小,反之亦然。构建的运输风险指数如下:

$$YSFX_{it} = S_{it} \times (D_i/D_{\max}) \times P_{it} \times [9/R_i]^\alpha \quad (2)$$

$$P_{it} = \sum_{k=1}^n p_{lkt} \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n (1 - p_{lmt}) \quad (3)$$

$$R_i = \omega_1 r_{1t} + \omega_2 r_{2t} + \omega_3 r_{3t} + \omega_4 r_{4t} + \omega_5 r_{5t} + \omega_6 r_{6t} \quad (4)$$

式中: $YSFX_{it}$ 表示 t 年供应国 i 的运输风险; S_{it} 表示 t 年供应国 i 占中国原油进口份额(%); D_i 是供应国 i 到中国的运输距离(km); D_{\max} 是最长运输距离(km); P_{it} 是 t 年供应国 i 在运输过程中由海盗袭击造成的可能性中断风险; R_i 是 t 年中国与这6个国家的加权双边关系; α 是哑变量,若通过马六甲海峡, $\alpha=1$, 否则 $\alpha=0$; p_{lkt} 是运输路线 l 第 k 个节点中断的概率; $1 - p_{lmt}$ 是路线 l 第 m 个节点安全的概率; $p_{lkt} \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n (1 - p_{lmt})$ 是运输路线 l 第

k 个节点中断而其他节点安全的概率; ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 、 ω_6 分别代表新加坡、马来西亚、印度尼西亚、美国、印度、日本对马六甲海峡影响和控制的权重系数,咨询多位专

^① 由于管道运输份额较小,且相对风险较小,加之数据获取困难,因此未考虑管道被破坏风险,这实际扩大了陆运国家俄罗斯和哈萨克斯坦的运输风险。

家意见分别设置为0.1、0.1、0.1、0.45、0.15、0.1。

1.1.5 军事因素

军事因素对原油供应安全的影响表现在军事力量的保卫上。如对国家整体安全保卫，对原油基础设施和原油生产、储存、运输、消费等环节的保护。尤其是当发生政治动乱、恐怖袭击、海盗袭击等突发状况时，军队有利于保卫国家安定。由于军事实力不易评估，本文采用军费支出反映供应国的军事实力。一般而言，军费支出越多，表明该国越重视军事投入，军事实力越强。

1.2 数据来源

测度双边关系的事件数据主要来自中华人民共和国外交部网站 (<https://www.fmprc.gov.cn/web/>)、人民日报图文数据库等政府和媒体网站。为最大限度保证结果的准确性，从中国与各国建交开始统计，统计事件数据近2万宗，经过反复对比筛选，建立的数据库共包括8711宗事件。供应国原油产量和储产比来自《2017年6月BP世界能源统计回顾》；出口潜力根据《2017年6月BP世界能源统计回顾》和国际能源署数据计算得来；政治风险、经济风险、金融风险来自PRS集团《国家风险国际指南》；原油出口价格及其方差、运输风险指数中运输份额根据《中国海关统计年鉴》数据计算得来；海盗袭击概率根据国际海事局数据计算得来；军费开支来自斯德哥尔摩国际和平研究所。本文选取了21个样本国，多数年份中国从这些国家进口原油都达到了进口总量的90%以上（只有2014年为89.87%），基本可以代表中国原油总体供应安全度。

1.3 研究方法

国家双边关系和出口国供应安全程度都是影响原油贸易安全的重要因素，二者有联系但又相对独立。这里先分别进行评估，然后将这两部分内容结合起来讨论对策响应。

1.3.1 国家双边关系测度

国家间双边关系具有多维性和模糊性，成为实现量化分析的难点。近半个多世纪以来，一些学者基于事件数据分析，把双边关系中的事件转化为可以定量处理的数值，实现了从定性分析向定量测度的转变^[32-35]。本文根据阎学通等^[35]改进的事件数据分析法定量测度国家关系。主要思路是建立一个大规模的事件数据库，然后把数据库中复杂的政治行为分解为一系列构成单元，如评论、访问、回报、抗议、提出要求、发出威胁、采取军事行动等等，接着按照确定的事件分值基准赋值表^[36]对它们进行一一赋值，并通过事件影响力公式将事件分值转化为影响双边关系的变化值，最后得出双边关系的月度值和年度值。事件影响力计算公式如下：

$$I = \begin{cases} \frac{N - P_0}{N} I_0 & I_0 \geq 0 \text{时} \\ \frac{N + P_0}{N} I_0 & I_0 < 0 \text{时} \end{cases} \quad (5)$$

式中： I 表示事件在两国关系位于 P_0 时的分值； N 表示两国关系变化范围的绝对值（取值9，图1）； P_0 表示事件发生时两国关系的初始值，取值范围为 $[-9, 9]$ ； I_0 表示事件在事件分值表中的分值。

1.3.2 集对分析模型

集对分析是一种针对确定性和不确定性问题进行同异反定量分析的理论^[37]，包含系统分析的辩证思想。与其他模型相比，该方法可以同时考虑信息的确定性和不确定问题，计

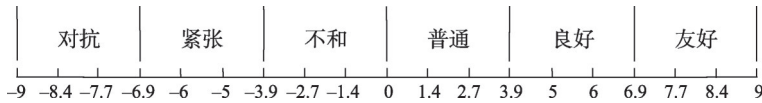


图1 国家双边关系数值标准

Fig. 1 The numerical standard of bilateral relations

算结果更加贴近实际。原油供给安全影响因素众多且关系复杂，一些因素是常态可控的，一些因素受历史与现实、内部与外部等不确定性和随机性因素的影响，具有典型的不确定性特征，适用于复杂系统确定性与不确定性分析的集对分析法可以有效解决这一问题。

集对分析的核心思想是分析集对中的确定性和不确定性因素，把具有某种联系的集合 E 和集合 U 看成一个集对 H ，在某个具体问题 Q 的背景下，对集对 H 的特性展开分析，从而得到 N 个特性，其中有 S 个为集合 E 和集合 U 所共有， P 个相对立，其余有 $F=N-S-P$ 个关系不确定，则两个集合的联系度 μ 为：

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j = a + bi + cj \tag{6}$$

式中： a 、 b 、 c 分别称为集合 E 和集合 U 在问题 Q 下的同一度、差异度和对立度，且满足 $a+b+c=1$ ； i 和 j 是差异度和对立度的标记和系数，其中 i 取值为 $[-1, 1]$ ， j 取值恒为 -1 。

根据集对分析思想，构造中国原油进口来源国供应安全度评估模型，设供应国供应安全度问题为 $Q = \{E, G, W, D\}$ ，有 m 个评价方案 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ ($m = 21$)，每个评价方案有 n 个指标 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ($n = 11$)；指标权重 $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p, \dots, \omega_n\}$ ，评估指标值记为 d_{kp} ($k = 1, 2, \dots, m; p = 1, 2, \dots, n$)，则问题 Q 的评价矩阵 D 为：

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \tag{7}$$

在同一空间内进行对比确定各评价方案中的最优评价指标组成最优评价集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 和最劣评价指标构成的最劣评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。根据集合 $\{U_p, V_p\}$ ，计算矩阵 D 中 d_{kp} 的同一度 a_{kp} 和对立度 c_{kp} 如下：

$$\text{当指标 } d_{kp} \text{ 对评价结果起正向作用时: } \begin{cases} a_{kp} = \frac{d_{kp}}{U_p + V_p} \\ c_{kp} = \frac{U_p V_p}{d_{kp}(U_p + V_p)} \end{cases} \tag{8}$$

$$\text{当指标 } d_{kp} \text{ 对评价结果起负向作用时: } \begin{cases} a_{kp} = \frac{U_p V_p}{d_{kp}(U_p + V_p)} \\ c_{kp} = \frac{d_{kp}}{U_p + V_p} \end{cases} \tag{9}$$

$$\text{集对 } \{E_k, U\} \text{ 在区间 } [U, V] \text{ 上的联系度 } \mu \text{ 为: } \begin{cases} \mu_{(E_k, U)} = a_k + b_{ki} + c_{kj} \\ a_k = \sum \omega_p a_{kp} \\ c_k = \sum \omega_p c_{kp} \end{cases} \tag{10}$$

$$\text{则方案 } E_k \text{ 与最优方案的贴近度 } r_k \text{ 可定义为: } r_k = \frac{a_k}{a_k + c_k} \tag{11}$$

式中： r_k 反映了被评价方案与最优方案集 U 的关联程度， r_k 值越大，表明被评价方案越接近最优方案，从而可以确定各评价方案的优劣次序。在本文中 r_k 即表示进口来源国的供应安全度 S 。

1.3.3 指标权重

指标权重是影响评估结果的重要因素。使用熵值法（EVM）和咨询多位专家意见的层次分析法（AHP）相结合的组合赋权法确定权重，该方法可以克服单纯依赖数据的熵值法客观权重偏差和完全依赖主观意志的层次分析法的主观性，以达到主客观统一。设由熵值法得到的客观权重为 ω_{aj} ，层次分析法得到主观权重为 ω_{bj} ，求各指标的最终权重 ω_j ，三者应尽可能接近，根据最小信息熵原理可得：

$$F = \sum_{j=1}^m \omega_j (\ln \omega_j - \ln \omega_{aj}) + \sum_{j=1}^m \omega_j (\ln \omega_j - \ln \omega_{bj}) \quad (12)$$

式中： $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ ， ω_j 大于0，利用拉格朗日乘法，求得最优解即第 j 项指标的最终组合权重 ω_j 为：

$$\omega_j = \sqrt{\omega_{aj} \omega_{bj}} / \sum_{j=1}^m \sqrt{\omega_{aj} \omega_{bj}} \quad (13)$$

1.3.4 障碍因素分析

为进一步揭示制约各国供应安全的关键因子，在供应安全度评估的基础上，引入障碍度模型识别各原油进口来源国供应安全度提高的主要障碍因素，为掌握各国供应安全的薄弱环节提供参考。障碍度计算公式如下：

$$Q_{ij} = (\omega_j u_{ij}) / \sum_{j=1}^n (\omega_j u_{ij}) \quad (14)$$

式中： Q_{ij} 为 i 年指标 j 的障碍度； ω_j 为因子贡献度，即指标权重； u_{ij} 为指标偏离度，代表各指标与系统发展目标之间的差距， $u_{ij} = 1 - x'_{ij}$ ， x'_{ij} 为单项评价指标的标准化值。

2 结果分析

2.1 国家双边关系

根据事件数据和式（5），计算得到2000—2018年中国与这25个^②国家双边关系的月度值和年度值。从与供应国双边关系看，中国与这21个国家双边关系整体不高，但总体呈上升趋势（图2），原油进口存在一定政治风险但趋于下降。2018年中国与俄罗斯双边关系最好，其次为哈萨克斯坦，与利比亚双边关系最差。根据国家关系数值标准（图1），可将2018年中国与这21国双边关系分为四类（表2）。可以看出中国与大多数国家关系为良好水平类型，友好关系类型国家较少。

双边关系发展与原油贸易合作相辅相成，高水平双边关系能促进原油贸易深入发展，同时原油贸易又会推动双边关系向更高水平发展。以中国原油进口前列的俄罗斯、沙特阿拉伯、安哥拉、伊拉克为例，分析中国与这些国家双边关系与原油贸易合作的发展历程。

^② 马来西亚和印度尼西亚既是主要原油供应国，也是对马六甲海峡具有重要控制影响力国家，去除重复2国，因此只有25个国家。中国与俄罗斯、澳大利亚、越南、印度尼西亚、美国、印度、日本双边关系采用的是清华大学《中国与大国关系数据库》的研究成果，与其他国家双边关系来自本文测度结果。为尽量保证结果的可比性，本文统计了长时间序列的大量事件数据，并对事件数据进行了反复对比筛选、补充验证。

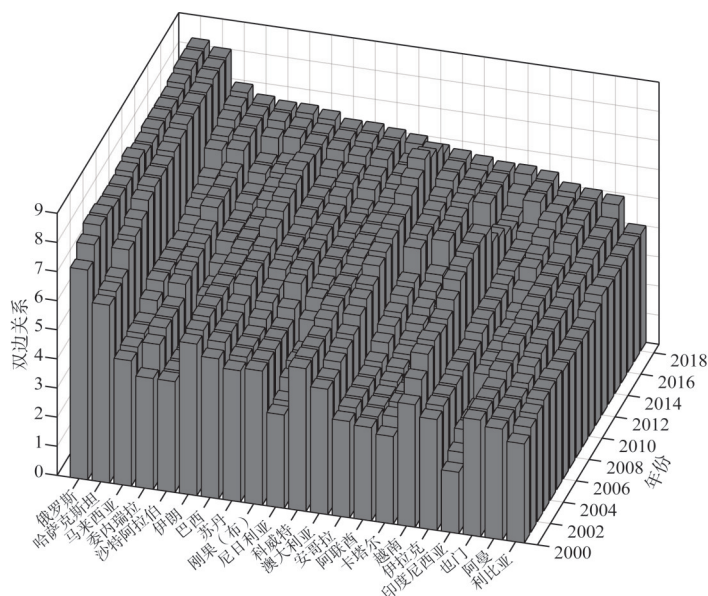


图2 中国与21个主要原油进口来源国的双边关系

Fig. 2 The bilateral relations between China and its 21 major crude oil suppliers

表2 2018年中国与21个主要原油供应国双边关系类型划分

Table 2 Type classification of bilateral relations between China and its 21 major crude oil suppliers in 2018

关系类型	分值标准	国家
中水平友好	$7.7 \leq \text{双边关系} < 8.4$	俄罗斯 (8.2)、哈萨克斯坦 (8)
高水平良好	$6 \leq \text{双边关系} < 6.9$	马来西亚 (6.8)、委内瑞拉 (6.6)、沙特阿拉伯 (6.5)、伊朗 (6.5)、巴西 (6.4) 苏丹 (6.2)、刚果(布) (6.2)、尼日利亚 (6.1)
中水平良好	$5 \leq \text{双边关系} < 6$	科威特 (6)、澳大利亚 (5.8)、安哥拉 (5.7)、阿联酋 (5.6)、卡塔尔 (5.5) 越南 (5.5)、伊拉克 (5.4)、印度尼西亚 (5.1)、也门 (5)
低水平良好	$3.9 \leq \text{双边关系} < 5$	阿曼 (4.9)、利比亚 (4)

中国与俄罗斯早在1996年就建立了“战略协作伙伴关系”，2019年提升为“新时代全面战略协作伙伴关系”。高水平的双边关系有力地促进了两国长期性、战略性能源合作。2011年和2018年中俄原油管道一线和二线工程相继建成，极大地提升了俄罗斯对中国原油输送能力，自2016年起，俄罗斯超越沙特阿拉伯成为中国最大的原油供应国。中国与沙特阿拉伯在能源领域的大规模合作始于2003年，2008年双方建立“战略性友好关系”，2016年提升为“全面战略伙伴关系”。中沙关系的提升促进了双方能源贸易合作不断深入，除从沙特阿拉伯大量进口原油外，中国还与沙特阿拉伯共建石油冶炼项目。

位于西南非洲的安哥拉原油资源较为丰富，但缺乏资金技术。为实现互利共赢，2004年中安创建了著名“以资源还贷款”的“安哥拉模式”，此后安哥拉对华原油出口大幅增长。2010年中安建立“战略伙伴关系”之后，两国能源贸易合作更加全面深入，2017年成为对华出口原油超过5000万t的第三大供应国。中国与伊拉克石油贸易和双边关系深受伊拉克国内形势影响。1990年海湾危机爆发，中国与伊拉克石油贸易中断。

1996年的“石油换食品”计划为中伊石油合作提供了机会。2003年伊拉克战争爆发，中伊双边关系受到影响，双边石油贸易也被迫停止。2008年伊拉克形势好转，石油产业恢复重建，中伊石油关系改善，此后一年伊拉克对华原油出口增长了700%。

从运输的相关方来看，中国与这6个国家关系水平差异较大。与马来西亚和新加坡关系较好，总体波动上升，而与日本、美国、印度存在大国竞争，关系复杂且波动较大（图3）。十多年来，与日本的关系在低位剧烈波动，从2010年开始关系快速变冷，2014年跌至谷底-4.9，之后略有和缓。与美国关系频繁波动，多数年份为普通水平，从2013年开始下降，一路走低。受贸易战的负面影响，2018年双边关系跌至-3.7的谷底。与印度关系在2000—2016年总体波动上升，但受洞朗对峙事件影响，之后急剧下降。中国与这6个国家关系整体不高，与一些国家关系波动剧烈，近些年快速变冷，原油运输面临较高风险，大国关系是影响中国原油进口安全的重要因素。

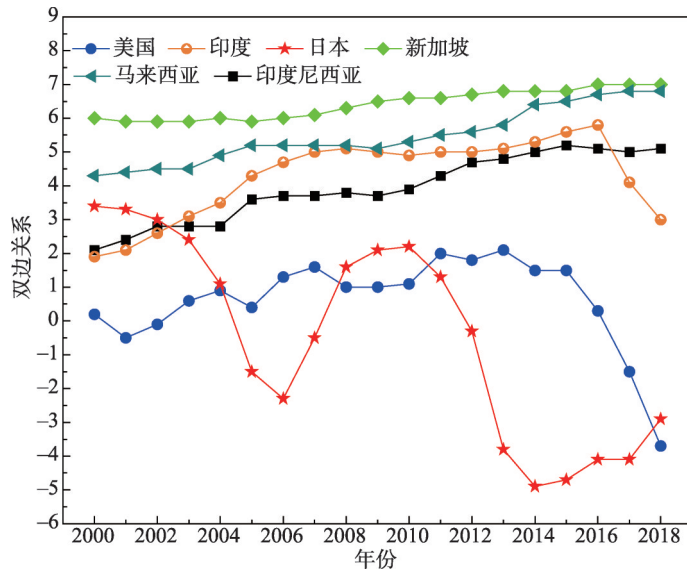


图3 中国与对马六甲海峡具有重要影响力6个国家双边关系

Fig. 3 The bilateral relations between China and six countries with great influences on the Strait of Malacca

2.2 供应安全度分析

运用式(6)~式(11)集对分析方法和式(12)组合权重方法，计算得到21个评价方案的贴适度 r_k ， r_k 值越大，则供应安全度越高。结果表明，近十几年21国供应安全度有高有低，一些国家波动变化较大（图4）。以2015年21国供应安全度的均值 M 和标准差 SD ，将这些国家分为4种安全类型（表3、表4）。据表4可知，21个供应国中，高安全型国家有4个，中高安全型国家有8个，中低安全型国家有5个，低安全型国家有4个。从数量上看，较多国家为中低供应安全型，中国原油进口面临较高供应风险。从分布上看，中东多数国家以及俄罗斯、委内瑞拉、哈萨克斯坦供应安全度较高，非洲和亚太多数国家供应安全度较低。

2.2.1 高安全型国家

高供应安全型国家包括沙特阿拉伯、俄罗斯、阿联酋、科威特。这类国家多项指标都具有明显优势。沙特阿拉伯贴适度为0.749，供应安全度最高，是值得信赖的进口伙

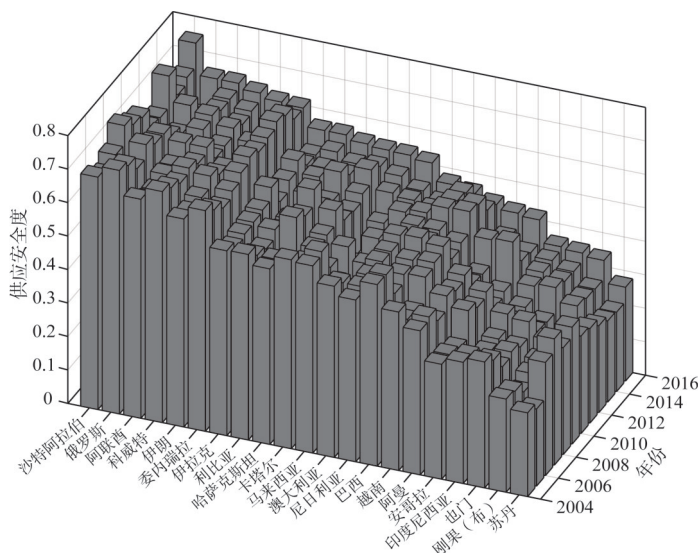


图4 21个原油进口来源国供应安全度

Fig. 4 The supply security level of China's 21 crude oil suppliers

表3 2015年21国供应安全类型划分标准

Table 3 Classification standard of supply security type in China's 21 countries in 2015

划分标准	$0 < S \leq M - SD$	$M - SD < S \leq M$	$M < S \leq M + SD$	$M + SD < S$
安全类型	低安全型	中低安全型	中高安全型	高安全型

注：表中 S 为供应安全度， M 为供应安全度均值（0.517）， SD 为供应安全度标准差（0.121）。

表4 2015年中国21个原油进口来源国供应安全类型划分

Table 4 Security type classification for China's 21 major crude oil suppliers in 2015

安全类型	分值标准	国家
高安全型	$0.638 < \text{安全度}$	沙特阿拉伯 (0.749)、俄罗斯 (0.655)、阿联酋 (0.650)、科威特 (0.639)
中高安全型	$0.517 < \text{安全度} \leq 0.638$	伊朗 (0.625)、委内瑞拉 (0.620)、伊拉克 (0.566)、利比亚 (0.566) 哈萨克斯坦 (0.552)、卡塔尔 (0.546)、马来西亚 (0.544)、澳大利亚 (0.534)
中低安全型	$0.396 < \text{安全度} \leq 0.517$	尼日利亚 (0.482)、巴西 (0.469)、越南 (0.449)、阿曼 (0.436) 安哥拉 (0.429)
低安全型	$0 < \text{安全度} \leq 0.396$	印度尼西亚 (0.362)、也门 (0.356)、刚果(布) (0.347)、苏丹 (0.280)

伴。其原油产量最大（5.7亿t），储产比64年，位居第8，出口潜力第2（11.2），仅次于最高的委内瑞拉（14.2），军费开支最大（902.6亿美元）。不仅资源持续供给能力强，且政治、经济、金融和军事风险低。俄罗斯贴度为0.655，供应安全度第2。其原油产量为5.4亿t，资源供给能力强，仅次于沙特阿拉伯，出口潜力较高（3），双边关系评分最高（8.1），军费支出第2（645.9亿美元），但存在一定的政治、经济、金融风险，且储产比较低（25年），长期出口可持续性较差。阿联酋和科威特各项指标较为均衡，尽管没有特别突出的优势指标，但也无明显劣势，供应安全度分别位居第三和第四。

2.2.2 中高安全型国家

中高供应安全型国家包括伊朗、委内瑞拉、利比亚、伊拉克、哈萨克斯坦、卡塔尔、马来西亚、澳大利亚。这类国家虽有一些突出的优势指标，但也存在明显劣势指标，供应安全度居中等水平。伊朗、委内瑞拉、伊拉克原油资源条件较好，三国原油产量在1亿t以上，储产比在100年以上，出口潜力在3以上，特别是委内瑞拉储产比排名第2（301.9年），出口潜力最大（14.2），对中国原油出口价格最低（193.9美元/t）。但三国也存在一些薄弱指标，主要是政治形势不稳，经济和金融风险也较高。哈萨克斯坦与中国双边关系水平较高（7.9），位居第2，对中国出口原油价格较低（234.1美元/t），倒数第3。但其原油产量、储产比和出口潜力相对较低，原油出口的能力和可持续性较差。利比亚储产比最高（325.2年），出口潜力较高（2.2），但由于内战不断，政治风险较高（52），排名第6，经济风险最高（17.1），双边关系最低（4），对中国出口原油价格较高（272.9美元/t），排名第3，价格波动较大（50737.4），排名第4。卡塔尔、马来西亚、澳大利亚虽政治、经济、金融风险和运输风险较低，但原油产量相对不高，储产比和出口潜力低，且其他指标无明显优势，供应安全度居中高安全型末端。

2.2.3 中低安全型国家

中低度供应安全型国家包括尼日利亚、巴西、越南、阿曼、安哥拉。这类国家各项指标排名偏下，劣势指标明显。安哥拉近年来虽是中国第三大原油供应大国，但其供应安全度并不高。其储产比仅有18.1年，出口潜力也仅有0.74，长期供应的持续性差。对中国原油出口价格较高（254.8美元/t），同时政治、经济、金融风险较高，运输风险最高（0.018）。尼日利亚在原油资源方面表现较优，原油产量、储产比和出口潜力相对较高，但其对中国出口原油价格最高（290.1美元/t），政治、经济、金融风险较高，军费支出低（1.8亿美元），倒数第4。巴西虽原油产量较大（1.3亿t），但其储产比只有13.1年，出口潜力仅为0.24，且具有一定的经济和金融风险。越南和阿曼不仅原油产量小，储产比低，出口潜力小，且与中国双边关系水平较低，无其他突出指标，供应安全度处于中低安全型末端。

2.2.4 低安全型国家

低供应安全型国家包括印度尼西亚、也门、刚果（布）、苏丹。这类国家无明显优势指标，多项指标排名靠后。总体表现为原油产量小，储产比和出口潜力低，且除印度尼西亚外，其他三国由于政治动乱、经济脆弱，多项风险因素较高。苏丹贴近度为0.28，供应安全度最低。该国自2011年国家分裂之后原油产量大幅下降，2015年产量仅0.05亿t，倒数第2，出口潜力仅0.02，倒数第1，按如此低的产量也仅可开采38年。由于政治动荡、经济凋敝，政治、经济、金融风险高。也门和刚果（布）的情况与苏丹类似，原油持续供给能力有限，政治经济乱局使得其政治、经济、金融风险较高。印度尼西亚虽政局较为稳定，政治、经济、金融风险较低，运输风险也低，但其原油产量仅0.41亿t，且自身经济发展消耗原油日益增加，可出口原油数量趋于减少，2015年对中国出口原油仅0.016亿t，储产比仅12.1年，倒数第1，出口潜力仅为0.09，倒数第2。

2.3 障碍因素分析

根据式（14），计算得到2015年21国指标层障碍因子，筛选出障碍度前5的指标（表5）。运输风险是沙特阿拉伯、阿联酋、科威特、伊朗、利比亚、尼日利亚的第一障

表5 21国供应安全度主要障碍因子

Table 5 The main obstacle factors of supply security level for China's 21 suppliers

国家	1		2		3		4		5	
	障碍因素	障碍度	障碍因素	障碍度	障碍因素	障碍度	障碍因素	障碍度	障碍因素	障碍度
沙特阿拉伯	N_{10}	28.9	N_2	26.2	N_5	13	N_4	12.4	N_3	6.7
俄罗斯	N_2	23.1	N_3	22.2	N_{10}	19.6	N_4	15	N_{11}	4.8
阿联酋	N_{10}	19.8	N_2	17	N_3	15	N_1	13.6	N_{11}	11
科威特	N_{10}	19.3	N_2	15.4	N_3	14.7	N_1	14.3	N_{11}	13.6
伊朗	N_{10}	18.2	N_3	15.7	N_2	12.9	N_1	12.4	N_4	11.7
委内瑞拉	N_4	24.1	N_1	22.7	N_{10}	18.2	N_{11}	18	N_5	6.9
利比亚	N_{10}	16.7	N_1	16	N_3	15.5	N_5	13.3	N_4	12.6
伊拉克	N_4	18.6	N_{10}	16.9	N_2	13.3	N_{11}	11.5	N_5	11.3
哈萨克斯坦	N_3	18.1	N_2	17.8	N_{10}	17	N_1	15.5	N_{11}	13.3
卡塔尔	N_3	18.5	N_{10}	17.5	N_2	16.8	N_1	15	N_{11}	12.8
马来西亚	N_3	18.8	N_2	18.2	N_{10}	17.1	N_1	16.1	N_{11}	12.2
澳大利亚	N_3	19.4	N_2	17.9	N_{10}	17.8	N_1	17.2	N_{11}	9.8
尼日利亚	N_{10}	15.3	N_2	14.7	N_4	14.4	N_3	14.3	N_1	12.2
巴西	N_3	18.5	N_2	18.2	N_{10}	17	N_1	13	N_{11}	9.1
越南	N_3	16.7	N_{10}	15.3	N_2	15.2	N_1	14.8	N_{11}	10.9
阿曼	N_3	17.4	N_2	17	N_{10}	15.9	N_1	14.6	N_5	11.2
安哥拉	N_2	16.3	N_3	16.2	N_{10}	15.2	N_1	13	N_4	11.5
印度尼西亚	N_3	17.1	N_2	16.7	N_{10}	15.6	N_1	14.4	N_4	10.7
也门	N_3	16.6	N_4	15.8	N_{10}	15.1	N_1	15	N_{11}	11
刚果(布)	N_3	17.1	N_2	16.5	N_{10}	15.5	N_1	15.2	N_{11}	11.6
苏丹	N_4	16.2	N_3	15.5	N_{10}	14.1	N_1	13.9	N_2	13.8

碍因素, 这些国家位于中东和非洲, 运输风险高。储产比是俄罗斯和安哥拉的第一障碍因素, 也是沙特阿拉伯、阿联酋、科威特等国第二障碍因素, 这些国家储产比相对较低, 长期供给的可持续性为主要障碍因素。出口潜力是哈萨克斯坦、卡塔尔、马来西亚、澳大利亚、巴西、越南、阿曼、印度尼西亚、也门、刚果(布)的最大障碍因素, 这些国家由于原油出口量小或储产比低或二者都低, 导致出口潜力小, 出口潜力成为最大障碍因子。政治风险是伊拉克、苏丹、委内瑞拉的第一障碍因素, 也是伊朗、利比亚、尼日利亚、安哥拉、也门等国的主要障碍因素, 这些国家大多政治局势不稳定, 政治风险是威胁其供应安全的第一或主要障碍因素。双边关系、原油产量、军费投入也是一些国家的主要障碍因素。

2.4 国家双边关系和出口国供应安全度组合分析

将中国与21国双边关系和21国供应安全度评分作为横轴和纵轴, 建立二维坐标系, 各国在坐标系中的分布能够反映中国与这些国家原油贸易的综合安全水平(图5)。从理论上说, 样本点离坐标原点的距离越远, 综合安全水平越高。例如, 伊拉克在纵轴得分上与利比亚相等, 但在横轴得分较高。同时, 其在横轴得分与越南相等, 但在纵轴得分较高。因此, 伊拉克的综合安全水平优于利比亚和越南。因此, 虚线上的10国综合安

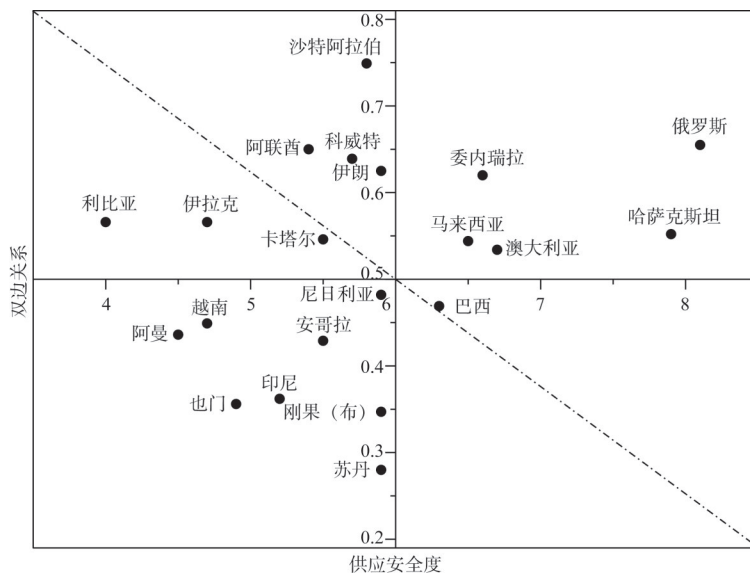


图5 国家双边关系和出口国供应安全二维分布

Fig. 5 Two-dimensional distribution of bilateral relations and exporting supply security level

全优于下面的11国，也是我国最主要的进口来源国。分四个象限具体分析，第一象限的国家二维得分都较高，需巩固现有贸易合作方式。第二、三象限的国家双边关系不高，需进一步改善提升。第三、四象限的国家供应安全度偏低，需针对突出的障碍性因素采取对策。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 中国与21个主要原油进口来源国双边关系总体处于中低水平，但呈现向好趋势，存在进一步改善提升的潜力。与美国、印度、日本关系水平不高，且波动较大，大国关系成为影响中国原油进口安全的重要因素。

(2) 21个主要原油进口来源国供应安全度差异较大，可分为高、中高、中低和低四个安全等级。21国中有较多国家供应安全度不高，处于中、低供应安全水平。中国进口原油较大比例来自风险高的国家，原油进口存在较高供应风险。沙特阿拉伯、俄罗斯、委内瑞拉、哈萨克斯坦等国供应安全度较高。

(3) 供应国运输风险、储产比、出口潜力、政治风险是制约多数国家供应安全的主要障碍因素，双边关系、原油产量、军费支出也是部分国家的主要障碍因素。

(4) 基于中国原油安全问题的重要性、复杂性、长期性和不确定性来建立能源安全体系。应坚持积极开展多边“能源外交”，扩大战略石油储备，建立供应中断应急预案等多种途径防范风险。

3.2 讨论

(1) 影响一国原油供给安全的因素众多且动态变化复杂、不确定性强且难以定量。本文基于已有研究，对国家双边关系、进口来源国供给安全度的定量评估做了一些初步探讨。虽说明了一些问题，但仍有许多问题需进一步探讨。例如，一些区外大国在资源

开发、运输路径控制、价格和地缘政治等方面的博弈,会影响中国原油供应安全,尚未找到合适方法测度。此外,中国与一些原油进口大国的原油竞争,同样影响原油供应安全。未来拟计算中国与主要原油进口国原油竞争强度,并预测原油进口大国的未来原油需求量,从进口数量竞争和进口空间重叠竞争等方面分析原油竞争对中国原油进口安全的影响。

(2) 中国人口规模和经济总量巨大,原油需求还将继续增长,由于国内原油储量和产量相对有限,原油的高度对外依赖将持续较长时间。多种风险因素同时出现不利变化将产生叠加效应,会对中国原油安全构成严重威胁。为此,中国应在原油安全保证上留有更多余地、备选多种防范风险方案。

(3) 主要政策建议是:通过“一带一路”建设和多边外交,改善与进口来源国、运输通道国、原油进口大国和区外一些大国等多种能源安全主体双边关系,营造良好的国际环境;系统研判各国供应风险与进口收益,适时调整进口策略。适当增加从高供应安全度国家的进口份额,开拓新兴进口来源国,促进进口多元化;在深化与非洲国家能源合作的大背景下^[38]要防范其原油供应安全度较低的风险;积极参与高运输风险节点“马六甲海峡”的安全管理,开拓陆路通道,逐步降低对“马六甲海峡”的依赖;加大战略石油储备,力争早日达到甚至超过90天的国际水平。

参考文献(References):

- [1] 沈镭,张红丽,钟帅,等. 新时代下中国自然资源安全的战略思考. 自然资源学报, 2018, 33(5): 721-734. [SHEN L, ZHANG H L, ZHONG S, et al. Strategic thinking on the security of natural resources of China in the New Era. Journal of Natural Resources, 2018, 33(5): 721-734.]
- [2] SUN X L, LIU C, CHEN X W, et al. Modeling systemic risk of crude oil imports: Case of China's global oil supply chain. Energy, 2017, 121: 449-465.
- [3] GAO D, LI Z, LIU P, et al. A coordinated energy security model taking strategic petroleum reserve and alternative fuels into consideration. Energy, 2018, 145: 171-181.
- [4] LEUNG G C K. China's energy security: Perception and reality. Energy Policy, 2011, 39(3): 1330-1337.
- [5] 中国石油新闻中心. 2017年全国石油天然气资源勘查开采情况通报. <http://news.cnpc.com.cn/system/2018/07/18/001698306.shtml>, (2018-07-18)/(2019-04-05). [China Petroleum News Center. Notice on the exploration and exploitation of national petroleum and natural gas resources in 2017. <http://news.cnpc.com.cn/system/2018/07/18/001698306.shtml>, (2018-07-18)/(2019-04-05).]
- [6] International Energy Agency (IEA). Ensuring the uninterrupted availability of energy sources at an affordable price. <https://www.iea.org/areas-of-work/ensuring-energy-security>, (2019-08-10)/(2019-04-05).
- [7] YANG Y Y, LI J P, SUN X L, et al. Measuring external oil supply risk: A modified diversification index with country risk and potential oil exports. Energy, 2014, 68: 930-938.
- [8] 程中海,南楠,张亚如. 中国石油进口贸易的时空格局、发展困境与趋势展望. 经济地理, 2019, 39(2): 1-11. [CHENG Z H, NAN N, ZHANG Y R. The spatio-temporal pattern, development predicament and trend of China's petroleum import trade. Economic Geography, 2019, 39(2): 1-11.]
- [9] DOWNS E S. China's Quest for Energy Security. Santa Monica: Rand Corporation, 2000: 1-40.
- [10] ODGAARD O, DELMAN J. China's energy security and its challenges towards 2035. Energy Policy, 2014, 71: 107-117.
- [11] SUN X L, LI J P, WU D S, et al. Energy geopolitics and Chinese strategic decision of the energy-supply security: A multiple-attribute analysis. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 2011, 18: 151-160.
- [12] ZHANG Z X. China's energy security, the Malacca dilemma and responses. Energy Policy, 2011, 39(12): 7612-7615.
- [13] 李岩,王礼茂. 从地缘政治角度看中国石油进口运输安全. 资源科学, 2008, 30(12): 1784-1790. [LI Y, WANG L M. The security of China's oil-importing transportation from the perspective of geopolitics. Resources Science, 2008, 30

- (12): 1784-1790.]
- [14] 郎一环, 王礼茂. 石油地缘政治格局的演变态势及中国的政策响应. 资源科学, 2008, 30(12): 1778-1783. [LANG Y H, WANG L M. Evolution of petroleum geopolitical patterns and China's policy response. Resources Science, 2008, 30(12): 1778-1783.]
- [15] ZHAO S S. China's global search for energy security: Cooperation and competition in Asia-Pacific. Journal of Contemporary China, 2008, 17(55): 207-227.
- [16] ZHAO C F, CHEN B. China's oil security from the supply chain perspective: A review. Applied Energy, 2014, 136: 269-279.
- [17] ZHANG H Y, JI Q, FAN Y. An evaluation framework for oil import security based on the supply chain with a case study focused on China. Energy Economics, 2013, 38: 87-95.
- [18] PAN L Y, LIU P, LI Z. A system dynamic analysis of China's oil supply chain: Over-capacity and energy security issues. Applied Energy, 2017, 188: 508-520.
- [19] 何贤杰, 吴初国, 刘增洁, 等. 石油安全指标体系与综合评价. 自然资源学报, 2006, 21(2): 245-251. [HE X J, WU C G, LIU Z J, et al. Indicator system and comprehensive appraisal for petroleum security. Journal of Natural Resources, 2006, 21(2): 245-251.]
- [20] LU J, WANG Y. A safety assessment of China's crude oil import based on G1 method. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 96: 1738-1744.
- [21] SUN M, GAO C X, SHEN B. Quantifying China's oil import risks and the impact on the national economy. Energy Policy, 2014, 67: 605-611.
- [22] 张阿玲, 王翠萍. 用H方法分析我国的石油供应安全. 中国软科学, 2002, (11): 110-113. [ZHANG A L, WANG C P. An analysis of oil supply security in China with H method. China Soft Science, 2002, (11): 110-113.]
- [23] GUPTA E. Oil vulnerability index of oil-importing countries. Energy Policy, 2008, 36(3): 1195-1211.
- [24] WU G, LIU L C, WEI Y M. Comparison of China's oil import risk: Results based on portfolio theory and a diversification index approach. Energy Policy, 2009, 37(9): 3557-3565.
- [25] GE F L, FAN Y. Quantifying the risk to crude oil imports in China: An improved portfolio approach. Energy Economics, 2013, 40: 72-80.
- [26] 刘立涛, 沈镭, 刘晓洁, 等. 基于复杂网络理论的中国石油流动格局及供应安全分析. 资源科学, 2017, 39(8): 1431-1443. [LIU L T, SHEN L, LIU X J, et al. Spatial-temporal features of China's oil trade network and supply security simulation. Resources Science, 2017, 39(8): 1431-1443.]
- [27] SU M R, ZHANG M Q, LU W W, et al. ENA-based evaluation of energy supply security: Comparison between the Chinese crude oil and natural gas supply systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 72: 888-899.
- [28] The PRS Group. The International Country Risk Guide. <http://www.prsgroup.com>, (2018-12-01)/(2019-04-12).
- [29] 杜映昕, 郭美新, 余心玓. 国家间政治关系对行业贸易的影响: 基于中国的经验研究. 经济学报, 2017, 4(1): 13-40. [DU Y X, GUO M X, YU X D. The heterogeneous effect of political relations on trade: An empirical research based on Chinese sectoral data. China Journal of Economics, 2017, 4(1): 13-40.]
- [30] 张建红, 姜建刚. 双边政治关系对中国对外直接投资的影响研究. 世界经济与政治, 2012, (12): 135-157, 162. [ZHANG J H, JIANG J G. The impact of bilateral political relationship on China's outward foreign direct investment. World Economics and Politics, 2012, (12): 135-157, 162.]
- [31] International Maritime Bureau (IMB). ICC IMB Piracy and Armed Robbery Against Ships-2018 Annual Report. <https://www.icc-ccs.org/>, (2018-01-01)/(2019-04-12).
- [32] MCCLELLAND C. World Event/ Interaction Survey (WEIS) Project, 1966-1978 (ICPSR). <http://www.icpsr.umich.edu/icpsrweb/ICPSR/studies/5211>, (2006-01-18)/(2019-04-15).
- [33] MERRITT R, MUNCASTER R G, ZINNES D A. International Event Data Development: DDIR Phase. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1994: 1-35.
- [34] SCHRODT P A, GERNER D. Analyzing International Event Data: A Handbook of Computer Based Techniques. <http://eventdata.psu.edu/papers.dir/automated.html>, (2012-03-22)/(2019-04-15).
- [35] 阎学通, 周方银. 国家双边关系的定量衡量. 中国社会科学, 2004, (6): 90-103. [YAN X T, ZHOU F Y. A quantitative measurement of international bilateral political relations. Social Sciences in China, 2004, (6): 90-103.]

- [36] 阎学通, 齐皓, 吴文兵, 等. 中国与周边中等国家关系. 北京: 社会科学文献出版社, 2015: 1-316. [YAN X T, QI H, WU W B, et al. The Relations Between China and its Neighbouring Middle Powers. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2015: 1-316.]
- [37] 赵克勤. 集对分析及其初步应用. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000: 9-29. [ZHAO K Q. Set Pair Analysis and its Preliminary Application. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2000: 9-29.]
- [38] 曹小曙. 《非洲资源开发与中非能源合作安全研究》丛书书评. 自然资源学报, 2019, 34(3): 671-672. [CAO X S. Book review of *Resource Development in Africa and Security Research of China-Africa Energy Cooperation*. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 671-672.]

Quantitative evaluation on supply security of the sources of crude oil imports for China

ZHU Kong-chao^{1,2}, NIU Shu-wen^{2,3}, ZHAO Yuan^{1,4,5}, QIU Xin²

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023;

2. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

3. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), Lanzhou University,

Lanzhou 730000, China; 4. Jinling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 5. Jiangsu

Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application,

Nanjing 210023, China)

Abstract: The security of crude oil supply plays an important role in China's national security, so quantitative assessment for it can provide some policy references for risk prevention. The event data analysis model was employed to quantitatively measure the bilateral relations between China and 21 major crude oil suppliers. The results show that the relations between China and most of its crude oil trading partners are at medium and low levels, but the overall trend has been rising in recent more than ten years, which indicates that crude oil import has a certain risk of political relations but tends to decline. Eleven indexes from five aspects of resources, politics, economy, transportation and military were selected, and the weights of the indexes were determined by combination weighting method. The set pair analysis model was used to evaluate the supply security degree of 21 source countries of China's crude oil import and then the main obstacle factors were identified. The results show that there are significant differences in the supply security degrees of the 21 countries. Some of the Middle East countries, Russia, Venezuela and Kazakhstan have a high degree of supply security, while most African and Asia-Pacific countries have a low degree of supply security. Crude oil resource status, transportation risks and political risks of the suppliers are the main obstacles to the supply security of most suppliers. To prevent risks, China should take policy measures such as pursuing multilateral energy diplomacy and expanding strategic petroleum reserves.

Keywords: crude oil supply security; bilateral relationship; set pair analysis; obstacle degree; risk prevention