



# 经济理论与经济管理

工作论文系列

Working Paper Series

## 美国购油策略分析及对中国的启示

易靖韬 苏惠雯 黄筠庭

ETBMWP2022056

2022. 10. 19

\* 本刊编辑部推出工作论文项目，将“拟用稿”而尚未发表的稿件，以工作论文的方式在官网呈现，旨在及时传播学术成果，传递学术动态。

本刊所展示的工作论文，与正式刊发版可能会存在差异。如若工作论文被发现存在问题，则仍有被退稿的可能。各位读者如有任何问题，请及时联系本刊编辑部，期待与您共同努力、改进完善。

联系人：李老师；联系电话：010-62515330

# 美国购油策略分析及对中国的启示<sup>\*</sup>

易靖韬 苏惠雯 黄筠庭

**[提 要]** 美国页岩油革命改变了美国原油贸易格局,使得美国进口原油品质趋于重质化,且地域来源趋于集中化。本文通过挖掘页岩油革命后美国原油进口策略转变的内在原因,提出美国国内页岩油需求与对加拿大原油进口之间存在互补效应,而与对欧佩克原油进口之间存在替代效应,并通过协整检验和格兰杰因果关系检验分析了美国页岩油需求和对各国原油进口的互动关系。本文的研究结果对中国的页岩油战略和中美原油贸易关系均有重要的政策启示。

**[关键词]** 页岩油革命;原油进口;美国原油独立

## 一、引言

能源是国民经济的血液,是农业生产、工业制造、电力供应和交通运输等经济活动运行的重要支撑。20世纪中期以来,原油在世界能源消费中占据重要地位(Wu & Chen, 2019)。尽管新能源技术的开发、掌握和规模利用发展迅速,2020年原油仍占全球一次能源消费总量的31.21%<sup>①</sup>,比重高于其他能源。中国作为全球第一大原油进口国和第二大石油消费国,原油消费结构中的进口原油份额逐年上升,2020年已达73%。而作为全球第一大石油消费国的美国,利用页岩油革命开发浪潮的机会窗口,在短短数年内提高了本土原油产量,摆脱对原油进口的高度依赖,实现“能源独立”(李扬和徐洪峰,2017)。由此,美国原油进口策略的发展历程对于我国原油进口依存度问题以及能源安全和经济可持续发展将有重要的启示作用。

2010年美国页岩油产量仅为84万桶/日,只

占美国原油总产量的15.34%;2020年美国页岩油产量为737万桶/日,达到美国原油总产量的65.39%。这一期间,美国对进口原油的依赖程度大幅下降,并在2017年超越沙特阿拉伯成为世界最大石油生产国,美国正是通过页岩油资源的大规模开发,从而决定性地实现了原油独立,重构世界石油市场(Ji & Fan, 2016; Mănescu & Nuño, 2015)。

2015年12月,美国解除了自1975年起实施的原油出口禁令。在此背景下,美国原油出口规模高速增长,2020年成为世界最大石油出口国。2015—2020年,美国原油出口量从47万桶/日提升至321万桶/日,增长近5倍;而原油进口量从736万桶/日降低至588万桶/日,缩减仅约为20%。由此可见,美国在原油出口急剧增加的同时仍保持为数可观的原油进口。但是,美国进口原油产品性质和来源地布局发生了较大变化。美国对加拿大重质原油的进口份额大幅增长,2020年占总进口量的61.21%,较2010年增长了1.86倍;而欧佩克(Organization of Petroleum Exporting

\* 易靖韬、苏惠雯(通讯作者)、黄筠庭,中国人民大学商学院,邮政编码:100872,电子信箱: huiwen.su@ruc.edu.cn。本文得到国家自然科学基金项目(71873136)的资助。感谢匿名审稿人提出的修改意见,笔者已做了相应修改,本文文责自负。

① BP. Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Countries, 简称 OPEC) 原油占比由 49.42% 降至 13.87%。那么, 美国为何在页岩油革命后同时大量进口原油? 页岩油革命又如何推动美国原油进口来源地结构的调整?

梳理已有文献发现, 学者们对于页岩油革命的研究主要围绕着页岩油革命发生原因 (Alquist & Guénette, 2014)、页岩油储量和生产规模预测 (McGlade, 2012; Wang *et al.*, 2015)、其他主要石油生产国应对策略 (Al Rousan *et al.*, 2018; Ansari, 2017) 以及页岩油革命对原油价格和经济增长的影响 (Kim, 2018; Monge *et al.*, 2017; Solarin *et al.*, 2020; Su *et al.*, 2020)。然而, 目前对页岩油革命后美国进口原油策略的实证分析仍处于空白状态。鉴于全球原油市场一体化程度不断加深 (Ji & Fan, 2016), 原油及原油密集型产品跨地区流动的国际经济效应显著 (Wu & Chen, 2019), 厘清美国在实现能源独立过程中的购油策略转变显得尤为重要, 也可为中国原油贸易政策提供一定的经验借鉴。因此, 本文首先在第二部分描述页岩油革命以及对相关文献进行回顾和评述; 然后在第三部分从来源国和原油品质的角度分别讨论页岩油革命后美国原油进口地域选择策略转变, 提出美国市场上页岩油需求和对加拿大原油进口的互补效应及页岩油需求和对欧佩克原油进口的替代效应; 接着在第四部分通过实证分析来检验互补效应和替代效应假说, 进一步考察美国页岩油需求与对各国原油进口之间的互动关系; 最后本文讨论了美国购油策略转变对中国的政策启示。

## 二、页岩油革命背景与文献综述

### (一) 页岩油革命

页岩油 (shale oil) 是非传统原油的子类, 又称为致密油 (tight oil), 是指传统原油在页岩中熟

成后移栖到孔隙率非常细小的致密储集层, 因流动性非常低无法进一步汇排, 所以无法以传统钻井方式大量采收。页岩油在早期依照传统油井的开采方法, 每一生产井平均每日仅能生产 4 到 5 桶原油, 开采价值不高。2005 年水平钻井 (horizontal drilling) 和水力压裂 (hydraulic fracturing) 结合的非常规石油开发技术取得突破性进展, 使页岩油大规模产业化开发成为可能。与此同时, 原油价格受伊拉克战争影响, 在 2004 年 9 月一举冲破维持 20 年之久的 40 美元/桶大关后节节上升, 2005 年 6 月突破 60 美元/桶, 从此揭开高油价的时代。2008 年的全球金融危机虽然将油价从每桶 145 美元拉回到 50 美元以下, 但不到一年的时间油价又回到 95 美元的水平, 百美元以上的高油价一直延续到 2014 年 8 月。

在开采关键技术突破和高位油价的双重驱动下, 美国爆发页岩油革命, 也即美国境内页岩油产量爆炸式增长, 由 2005 年 41 万桶/日逐渐上升至 2010 年 84 万桶/日, 而后产量急剧上升 2019 年达 784 万桶/日, 平均年增长率为 127%。此外, 美国页岩油开采集中在少数几个地区, 目前以北达科他州巴肯和德州鹰滩储油层的开发规模最大, 这两个区块的产量约占美国页岩油总产量的 85%。据美国能源信息署 (Energy Information Administration, 简称 EIA) 2015 年统计<sup>①</sup>, 全球页岩油储量约 4 189 亿桶, 储量前三大国家为美国 (18.67%)、俄罗斯 (17.81%) 和中国 (7.69%)。然而受限于开采技术的发展, 目前全球只有美国实现页岩油的规模化开采。

相较于传统原油, 页岩油具有投资成本少、资金回收快、短期内可大量生产及机动性高的特点, 这些特点使美国页岩油得以大规模开发且产量高速增长, 同时又使页岩油生产可根据市场条件变化进行灵活调整。此外, 页岩油的油品性质与传统轻质

<sup>①</sup> EIA. <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>

原油或凝结油相似，API 值高密度小且硫含量低<sup>①</sup>。随着页岩油产量大幅提升，全球原油品质结构呈轻质化趋势（石洪宇等，2020），而美国对轻质低硫原油的进口需求量降低，原油进口品质趋于重质化（徐舜华等，2014）。

## （二）文献综述与评述

与本文密切相关的研究，一类是有关原油生产冲击的文献，而美国页岩油革命成为近年来的研究热点。页岩油革命爆发初期的研究多聚焦于：（1）美国页岩油储量估计和产能增长的可持续性分析（Energy Information Administration, 2013, 2014）；（2）美国页岩油革命发生的起因和必要条件（Alquist & Guénette, 2014）。随着美国页岩油在全球市场中的渗透程度不断加深，学者越来越多地关注技术进步带来的美国页岩油生产冲击对全球原油供给格局乃至全球经济的影响，这一类研究与本文研究直接相关，相关研究结论可供借鉴。

第一，学者们基于美国页岩油产量高速增长的现象，分析页岩油革命对石油价格的影响。Monge *et al.*（2017）的研究发现，页岩油革命前美国原油产量和 WTI 原油价格同向变动，而页岩油革命后原油产量和 WTI 原油价格呈现负相关关系。Bataa & Park（2017）的实证表明，美国页岩油革命对 2014 年 4 月—2016 年 2 月油价骤降 73% 的解释程度为 25%。Mănescu & Nuño（2015）和 Mohaddes & Raissi（2019）也得到美国页岩油产量增长导致原油价格下降的相同结论。

第二，学者们认为页岩油革命影响国际宏观经济发展。Mănescu & Nuño（2015）的研究发现，2010—2018 年期间，美国页岩油供给增长将使原油输入国国内生产总值（GDP）提升 0.2%。Mohaddes & Raissi（2019）同样发现美国页岩油增产带来的原油价格冲击推动全球经济增长 0.16—0.37%，并进一步指出这种影响具有较大的国别差异。

第三，全球原油贸易格局也是学者研究的一个热点。Ansari（2017）认为 2014—2016 年油价暴跌是欧佩克应对美国页岩油革命冲击，捍卫市场地位和检验美国页岩油产业弹性的战略所致。Ji & Fan（2016）发现页岩油革命后欧佩克失去了单一垄断地位，世界原油市场结构逐渐走向一体化，其中美国、安哥拉和沙特阿拉伯在贸易网络中占据最强的中心位置。程承等（2017）则认为国际原油供应格局趋向美国、欧佩克和俄罗斯三足鼎立的局面。目前对页岩油革命和原油贸易的研究主要关注美国原油供应，宋磊和张建华（2016）是少见的关于美国原油进口形势的研究，但是他们的研究主要是事实梳理，缺乏数据支撑，且对于美国国内页岩油需求的考虑有所忽视。

与本文研究相关的另一类研究关注能源进口策略与国家能源安全的关系，比如进口来源地多元化（Lesbirel, 2004; Wu *et al.*, 2007）；对外依存度（Le Coq & Paltseva, 2009）；安全价格（Lefèvre, 2010）；进口国家政治风险、经济体量和运输风险（Cohen *et al.*, 2011）。Kruyt *et al.*（2009）对能源安全相关因素进行了归纳总结，并将其划分为四个维度，即可获得性（Availability）、可到达性（Accessibility）、可负担性（Affordability）和可承受性（Acceptability），分别对应地理距离、地缘政治、经济因素和生态环境相关要素。此外，学者还从政治博弈角度探讨页岩油革命影响下的美国能源独立政策（李扬和徐洪峰，2017）和能源权力（富景筠，2019）。这一类关于能源进口策略和能源安全的研究可以为本文探讨美国购油策略转变提供分析框架。

当前研究聚焦于美国页岩油革命对全球宏观经济与原油贸易格局的影响，对美国本身原油贸易的关注不多，不能很好地解释美国当前原油进口“重加拿大轻欧佩克”的市场格局。在当前中美政治经

<sup>①</sup> API 度和硫含量是衡量原油品质的常用指标，其中 API 度由美国石油协会（American Petroleum Institute）制定，用来表示石油密度。原油依 API 高低分为轻油、中质油、重油及超重油等；而硫含量低于 0.5% 称为甜油，高于 0.5% 则称为酸油。 $API\ gravity = 141.5 / specific\ gravity - 131.5$ ；API 原油通常在 10 到 45 度之间，高于 45 则可以归类为凝结油。轻质原油通常在 31.1—45 API 范围内，包括大多数最有价值的原油，例如布兰特原油和西德克萨斯中间基原油。中质原油在 22.3—31.1 API 范围内，重原油在 10—22.3 API 范围内。低于 10 API 的任何东西都将被视为超重原油。

## 易靖韬等：美国购油策略分析及对中国的启示

济关系紧张且贸易谈判有所反复的背景下，鉴于原油在国际贸易中的重要地位，本文关注美国原油进口地域多元化策略转变，厘清其策略转变的内在逻辑，可为中国今后调整原油贸易政策或应对中美贸易不平衡问题提供有价值的参考。

### 三、美国原油进口地域多元化策略转变

本节对比考察页岩油革命前后美国原油进口前十大国家，从数量和品质两方面进行统计分析，归纳美国原油进口策略转变的原因，为下文实证分析美国页岩油需求与对不同来源国原油进口之间的相互关系提供依据。

2009—2019年，虽然美国页岩油产量激增，原油出口量迅速增加，但美国原油进口量并未出现断崖式下跌而是稳步缩减，2019年仍占全球进口总额的14.95%，居世界第二。但是，美国进口原油的来源地结构和产品性质结构却发生显著变化（见图1和表1）。美国从加拿大进口原油份额大幅增加，而欧佩克成员国占比下降，进一步利用赫芬达尔—赫施曼指数（HHI）计算美国原油进口地域多元化程度（ $Diversification = \sum_{i=1}^N \left( \frac{Import_i}{TotalImport} \right)^2$ ， $N$ 为进口来源国数量， $Import_i$ 为源自 $i$ 国的原油进口量， $TotalImport$ 为美国原油总进口量），发现多元化程度从2009年0.34降低至2019年0.10，可见美国原油进口来源的集中度趋高。从进口原油品质看，页岩油革命后美国转向进口重质原油，尤其是对加拿大油砂的进口量持续增长（宋磊和张建华，2016）。

尽管传统投资组合理论认为多元化投资的方式可以减轻投资组合风险（Markowitz, 1952），且该理论被广泛应用于原油进口风险评估的研究中（Cohen *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2007），但现实是美国为提升能源安全，在加大本国原油开发的同时提高了原油进口来源集中度。为解释美国原油进口的“逆多元化之谜”，接下来本文基于 Kruyt *et al.*（2009）提出的能源供应安全的可获得性、可

达性和可负担性这三个方面对美国原油进口策略转变按来源国进行分析，并通过剖析美国进口原油的性质变化探究原油进口“独重加拿大油砂”的原因。

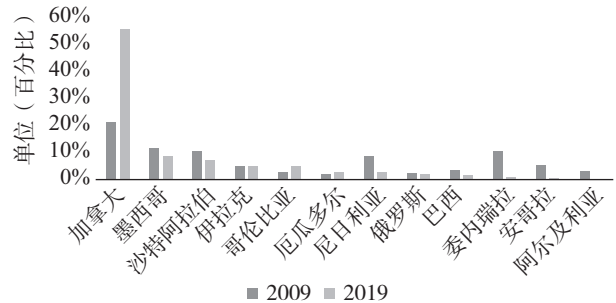


图1 2009和2019年美国十大原油进口来源国

说明：条形图为各国占该年度总进口比例。美国在2009年和2019年分别进口32.9亿桶和24.8亿桶原油。

资料来源：美国能源信息署（EIA）公布的2009—2019年统计数据。

#### （一）进口原油来源国转变：转向重点国家

首先，可获得性方面也即地理距离相关因素。加拿大和墨西哥作为美国的邻国，2009—2019年期间都是美国最主要的原油来源国之一。加拿大凭借重质油砂产量的快速提高，逐步挤压传统产油国在美国原油进口市场的份额。在美墨加三国协议（USMCA）下，国家间的原油、汽油、煤油类喷气燃料和其他精炼产品等均实行零关税，并且大部分加拿大重质原油通过管道运输流向美国中西部及墨西哥湾沿岸的炼油厂，这使加拿大成为美国第一大原油来源国，2019年占进口总量的56%。

墨西哥和加拿大一样享有地理临近和零关税的优势，除了向加拿大进口重质原油外，美国墨西哥湾沿岸的炼油厂还从墨西哥进口重质原油，同时将这些精炼产品部分出口回墨西哥<sup>①</sup>。1980年代后，墨西哥出口至美国的原油量稳定增长，并在2004年达到5.85亿桶的峰值。但2016年之后，由于美国页岩油的产量高速增长，美国已减少从墨西哥进口轻质油，如依斯莫斯和奥尔梅卡。因此，美国从墨西哥进口原油量略有下降，且主要进口产品为重质原油玛雅。

<sup>①</sup> Sommers M. USMCA approval essential to economic progress, energy security. America Petroleum Institute. <https://www.api.org/news-policy-and-issues/blog/2019/10/23/usmca-approval-essential-to-economic-progress-energy-security>, 2019-10-23.

表 1 美国原油进口主要来源国及其原油性质与占比

国家	主要油品名	API	原油属性	2009 占比	2019 占比
加拿大	油砂	<10	超重质油	22%	56%
墨西哥	玛雅（主要）	22.1	重质油	12%	9%
	依斯莫斯	32	轻质油		
	奥尔梅卡	39.8	轻质油		
巴西	马林	20.6	重质油	3%	2%
厄瓜多尔	澳瑞特	24	中质油	2%	3%
	纳波	19	重质油		
哥伦比亚	卡斯蒂利亚	18.8	重质油	3%	5%
委内瑞拉*	马瑞	16	重质油	11%	1%
沙特阿拉伯*	沙特轻油	33.4	轻质油	11%	7%
	沙特重油	28	中质油		
伊拉克*	巴士拉重油（主要）	24.03	中质油	5%	5%
	巴士拉轻油	29.88	中质油		
	基尔库克	34.2	轻质油		
尼日利亚*	伯尼轻油	37	轻质油	9%	3%
	夸伊博	36.4	轻质油		
	费卡多斯	31	轻质油		
安哥拉*	卡宾达	32.5	轻质油	5%	<0.5%
	吉拉索	31.6	轻质油		
	索约	33.5	轻质油		
	南巴	38.7	轻质油		
阿尔及利亚*	萨哈兰	44	轻质油	3%	<0.5%
	阿尔及利亚原油	25.4	中质油		
俄罗斯	乌拉尔	30.6	中质油	3%	2%

注：\*表示属于欧佩克成员国。

其次，可到达性方面也即地缘政治因素。委内瑞拉虽曾是美国重质原油主要的供应国家之一，但其国内政治经济不稳定且美国持续对委内瑞拉石油产业强化制裁，导致委内瑞拉原油出口量大减。在美国制裁委内瑞拉经济期间，中南美洲的厄瓜多尔和哥伦比亚重质高硫原油成为委内瑞拉原油的替代品，在美国进口原油中的份额增加。

伊拉克是仅次于沙特阿拉伯的欧佩克第二大原油生产国，美国进口伊拉克原油量相对稳定。2009

年，美国从伊拉克进口 1.64 亿桶原油（占进口总量的 5%），2018 年增加到 1.81 亿桶（占进口总量的 7%）。美国增加原油进口量是基于政治考量，为伊拉克提供利用贸易来发展其经济并摆脱贫困的机会，以协助伊拉克从“伊斯兰国”极端恐怖组织（ISIS）中解放出来。此外，巴士拉重油也较符合美国对重质原油的需求。

最后，可负担性方面也即经济因素。尽管美国已逐渐摆脱对中东原油的依赖，但沙特阿拉伯仍稳

## 易靖韬等：美国购油策略分析及对中国的启示

居美国第三大原油进口来源国，2019年占进口总量的7%，每天向美国市场提供近五十万桶原油。美国无法完全摆脱对沙特阿拉伯原油的依赖，主要原因是德克萨斯州莫蒂瓦（Motiva Enterprises LLC）是由沙特阿美（Saudi Aramco）在美国合资建设的炼油公司，主要以炼制沙特原油为经营目的<sup>①</sup>。大部分进口到美国的沙特阿拉伯原油被送往莫蒂瓦提炼，所以合资公司的需求在一定程度上支撑着沙特阿拉伯进口原油在美国市场的地位。

页岩油革命以来，美国原油进口中轻质原油的比例不断下降，尼日利亚、安哥拉和阿尔及利亚等轻质低硫原油生产国已基本被挤出美国市场。巴西虽是世界第九大石油生产国且与美国同处美洲大陆，但其生产的原油主要为深海石油，与美国页岩油同属轻质油，因此美国主要进口巴西重油且进口量小幅下降。

### （二）进口原油性质转变：趋于重质化

本节选取1989—2019年美国进口原油数据，绘制美国进口原油API平均值的变化趋势（见图2）。我们截取1989—2010年的API值进行回归分析。原因有二，一是早期原油市场的供需及价格容易受到政治影响而产生变化，如1970年代因中东地区爆发战争导致两次石油危机，直到1989年，美国的原油进口量才趋于稳定；二是尽管美国在2000年左右就已开始生产页岩油，但当时页岩油的产量尚不足以影响美国对常规原油的需求及进口量。页岩油生产对原油市场的影响直到2010年才逐渐显现出来。如图2中虚线表示的回归趋势线所示，在页岩油革命前美国进口原油的平均API数值已有逐年下降的趋势，对工业生产所需的重质原油的偏好反映了美国在购油策略上逐步转向以工业生产为主要目的，同时也是尼克松后历届美国政府持续推进美国能源独立计划的表现（徐小杰，2013；李扬和徐洪峰，2017）。

2010年后，美国进口原油的年均API值大幅下降（见图2）。一方面，美国国内页岩油供应的

增长导致与页岩油同质的轻甜原油进口减少。另一方面，美国大幅提高重质原油的进口，而进口原油之重是加拿大油砂。据加拿大能源监管机构（Canada Energy Regulator）统计，2019年加拿大每日输出到美国的380万桶原油中有75%是经由管道运输分送到美国页岩油产区附近的美国中西部25座及墨西哥湾沿岸附近的53座炼油厂<sup>②</sup>。而美国90%的炼油厂以加工重质原油为主（石洪宇等，2020），对其而言直接加工轻质原油将降低利润空间，而因页岩油属于轻油，则将页岩油与重油加以混合提炼，既能部分消化国内页岩油供给，又能充分利用炼油厂产能以生产符合工业需求的石油产品（Kilian，2016）。

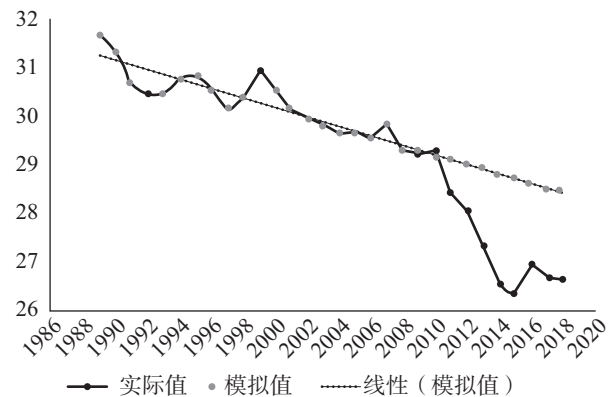


图2 美国进口原油的年平均API值趋势图

说明：实际值为美国进口原油的平均API值，去掉1992和1999两个由政治原因导致的异常值后剩下的为模拟值，线性（模拟值）是根据1989至2008年平均API数值回归结果所绘制的趋势线。

资料来源：[https://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_move\\_ipct\\_k\\_a.htm](https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_move_ipct_k_a.htm)。

2015年12月美国取消原油出口禁令，禁令取消后页岩油得以直接出口，美国国内对用以与页岩油混合精炼的重质原油需求减少，因此平均API值自2016年整体向上浮动（见图2），这也从侧面反映了美国大量进口加拿大油砂与页岩油混合加工的实质需求，而油砂经炼制后可供给电力、石化和

<sup>①</sup> EIA. Oil: crude and petroleum products explained. <https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/refining-crude-oil-refinery-rankings.php> 2020-01-01.

<sup>②</sup> Canada Energy Regulator. Market Snapshot: Canadian crude oil is mainly exported to two regions in the United States (cer-rec.gc.ca), 2021-01-29

冶金等制造业、交通运输或公路建设等。

整体而言,美国在页岩油革命前的购油策略偏向多源分散的安全避险策略,页岩油革命后则大幅减少从欧佩克的进口量且偏好加拿大油砂,不仅是因为美国页岩油对欧佩克轻油具有替代效应,而且展现了美国极欲摆脱对欧佩克原油供给的依赖,逐渐使原油进口与政治军事战略需求脱钩,转向以经济贸易为主或是以平衡工业生产为本质的原油策略。

#### 四、美国页岩油需求与原油进口相互影响的实证分析

页岩油需求与页岩油产业发展水平有着密切的关系,美国页岩油产出越高,意味着国外需求量(页岩油出口量)和国内需求量也就越大。鉴于页岩油轻质低硫的品质,美国国内页岩油需求对进口轻甜原油需求产生一定的替代效应。而美国炼油厂偏重加工重质原油的客观事实导致超重和重质原油

与页岩油之间的互补性突出,美国国内页岩油需求和进口重质原油需求之间存在协同增长效应。本节基于上述美国购油策略转变的分析,进一步定量考察页岩油革命后美国国内页岩油需求和原油进口之间的关系。

##### (一) 数据样本

首先,由于需要考虑美国原油市场的竞争情况,本文将美国国内原油供应分为常规原油生产量和页岩油生产量,而原油境外输入则选取前三大来源国,加拿大、欧佩克国家和墨西哥,这三大来源国的进口总计占美国原油进口的80%左右,其中又以加拿大和欧佩克国家为重中之重。本文将美国页岩油生产量和页岩油出口量的差值视为美国国内页岩油需求量。其次,本文选取2016年7月—2020年3月的月度数据,将样本区间限定在美国原油出口禁令取消后和全球新冠疫情爆发前,这一期间美国市场原油供应消长态势如图3所示。最后,本文对数据进行了季节性调整。以上所用数据均来自美国能源信息署。

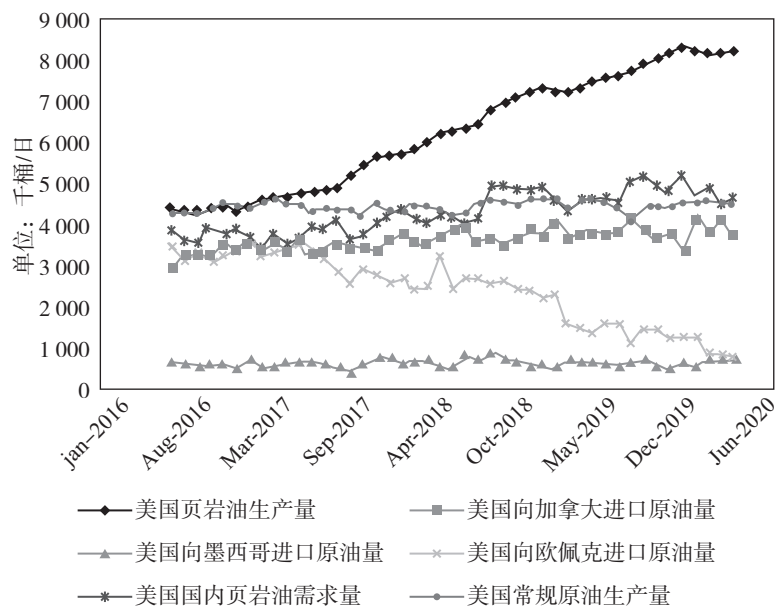


图3 2016年7月—2020年3月美国各主要原油通路的消长趋势图

资料来源:美国能源信息署(EIA)公布的统计数据。

##### (二) 实证分析

为了考察美国页岩油需求和原油进口之间的互

动关系,本文采用协整检验和格兰杰因果关系检验分两步来进行实证分析。第一步,本文以向量自回



## 易靖韬等：美国购油策略分析及对中国的启示

归模型 (VAR) 为基础对美国市场页岩油需求量和对各来源国原油进口量的关系进行协整分析; 第二步, 由于本文焦点在于考察美国页岩油需求和进口加拿大重质原油需求的互补效应, 与页岩油需求和进口欧佩克轻质原油需求的替代效应, 为了能更好地解释三者之间相互影响的原因, 我们利用格兰杰模型对美国页岩油需求量、对加拿大原油进口量和对欧佩克原油进口量进行因果关系检验。

1. 协整检验分析。协整关系只能反映非平稳序列之间的长期均衡关系, 所以首先要确认美国页岩油需求量和对各来源国原油进口量时间序列的平稳性。本文采用 Augmented Dickey-Fuller (ADF) 单位根检验来考察美国页岩油需求量和对各国原油进口量的平稳性。表 2 的结果表明, 美国对墨西哥原油进口量 ( $V_{MX}$ ) 为平稳序列, 而美国页岩油需求量 ( $V_{US}$ )、美国对加拿大原油进口量 ( $V_{CA}$ ) 和美国对欧佩克国家原油进口量 ( $V_{OP}$ ) 不具有平稳性, 但其一阶差分序列均为平稳序列。因此,  $V_{US}$ 、 $V_{CA}$  和  $V_{OP}$  皆为一阶单整序列, 即  $I(1)$ 。根据 Johansen (1988) 的方法, 本文剔除  $V_{MX}$  这一变量, 仅采用 Johansen 协整检验法检验  $V_{US}$ 、 $V_{CA}$  和  $V_{OP}$  之间是否具有协整关系。本文采用的 VAR 模型设置如式 (1) 所示:

$$V_t = \beta_0 + \beta_1 \sum_{j=1}^n V_{t-j} + \epsilon_t \quad (1)$$

其中,  $V_t$  为  $3 \times 1$  维列向量 ( $V_{US} V_{CA} V_{OP}$ )。在进行协整检验之前, 为了选取最合适的滞后阶数, 本文采用 Akaike information criterion (AIC)、Schwarz information criterion (SC) 和 Hannan-Quinn information criterion (HQ) 三种标准来判断, 表 3 的结果确定 VAR 模型的最优滞后阶数为 1。在此基础上得到 Johansen 协整检验结果, 由表 4 可知, 在 5% 的显著水平下,  $V_{US}$ 、 $V_{CA}$  和  $V_{OP}$  之间存在协整关系, 且变量之间的一个协整方程为 (见表 5):

$$V_{US} = 0.42V_{CA} - 0.41V_{OP} + 3740.27 \quad (2)$$

美国页岩油需求量和对加拿大原油进口量的同向波动揭示了轻质页岩油和重质加拿大油砂之间的互补关系, 而美国页岩油需求量和对欧佩克国家原

油进口量的反向波动反映了品质相似的原油之间的替代关系。式 (2) 的结果表明, 加拿大和欧佩克原油进口量变动都是影响美国页岩油需求的重要因素, 且影响程度相当。

表 2 ADF 单位根检验结果

变量	原序列		一阶差分序列	
	含截距	含截距和趋势	不含截距	含截距
$V_{US}$	-1.56	-4.29***	-9.38***	-9.51***
$V_{CA}$	-1.39	-7.28***	-5.7***	-5.21***
$V_{OP}$	0.32	-2.5	-9.27***	-9.8***
$V_{MX}$	-4.14***	-4.11**	-5.62***	-5.71***

注: \*\*\*, \*\* 分别表示在 1% 和 5% 水平显著  
说明: 最优滞后阶数采用 AIC 标准来确定。

表 3 VAR 模型最优滞后阶数检验结果

准则	VAR (1)	VAR (2)	VAR (3)	VAR (4)	VAR (5)
AIC	40.69*	40.84	40.91	40.94	41.12
SC	41.20*	41.73	42.18	42.58	43.15
HQ	40.88*	41.16	41.37	41.53	41.86

注: \* 表示相应准则下的最优滞后阶数。

说明: AIC: Akaike information criterion; SC: Schwarz information criterion; HQ: Hannan-Quinn information criterion。

表 4 Johansen 协整检验结果

原假设: 协整向量 的数目	迹统计量	临界值	最大特征值 统计量	临界值
		5% 显著水平		5% 显著水平
0*	29.95	29.80	22.4	21.13
至多 1 个	7.55	15.49	7.47	14.26
至多 2 个	0.08	3.84	0.08	3.84

注: \* 表示在 5% 显著水平拒绝零假设。

表 5 长期关系拟合结果

	$V_{US}$		
	系数	标准误	p 值
$V_{CA}$	0.42	0.23	0.071
$V_{OP}$	-0.41	0.07	0.000
常数项	3740.27	938.36	0.000
$R^2$	0.70		

2. 格兰杰因果检验分析。为了进一步探究美国页岩油需求与对各来源国原油进口之间是否存在

因果关系,以及不同国家的进口原油之间是否存在竞争关系,本文利用格兰杰因果检验分析变量之间的相互关系。表6报告了格兰杰因果检验结果。第一,页岩油需求量的波动是美国对加拿大和欧佩克原油进口量调整的重要格兰杰原因。随着美国国内页岩油开发规模不断扩大,美国除了直接出口页岩油之外,也逐步形成了开发与利用并重的工业体系(徐小杰,2013),利用国内处理重质原油的炼厂混合精炼页岩油和廉价的加拿大油砂,生产符合国内和国际市场需求的石油产品,既克服了炼化轻质原油的不经济性又可减轻国内石油供给过剩的压力,这体现了页岩油需求和对加拿大原油进口的互补效应。同时,页岩油对欧佩克轻甜油的替代效应显著,加速美国调整购油策略,减少政治外交政策的石油供应负担(李扬和徐洪峰,2017)。第二,美国对欧佩克原油进口减少以格兰杰因果关系引致页岩油需求增加和对加拿大原油进口增加,反映了美国对原油的依赖由欧佩克输入向国内生产和加拿大进口调整。第三,美国对欧佩克原油进口与加拿大原油进口存在单向因果关系。虽然欧佩克与加拿大原油品质不同,但对欧佩克进口原油的减少部分,也可通过加工加拿大原油所得的轻油加以补充,这是由于近年来加拿大油砂产量飙升而美国进口加拿大油砂具备稳定且完善的贸易通道。第四,美国对加拿大原油进口增加是国内页岩油需求量增加的格兰杰原因,表明加拿大油砂产量也是美国国内页岩油需求的主要推动力。

综上,美国页岩油需求量、对加拿大和欧佩克原油进口量的协整检验和格兰杰因果关系检验结果为本文对美国购油策略转变的分析提供了实证证据。

表6 格兰杰因果关系检验结果

原假设因果关系方向	F 统计量	p 值	结果
$V_{US} \rightarrow V_{OP}^*$	3.19	0.082	拒绝
$V_{US} \rightarrow V_{CA}^*$	29.57	<0.001	拒绝
$V_{OP} \rightarrow V_{CA}^*$	14.49	<0.001	拒绝
$V_{OP} \rightarrow V_{US}^*$	4.42	0.042	拒绝
$V_{CA} \rightarrow V_{US}^*$	9.61	0.004	拒绝
$V_{CA} \rightarrow V_{OP}$	1.35	0.251	接受

注:\*表示在10%水平显著。

## 五、结论与政策启示

页岩油革命以来,美国从高度依赖原油进口基本完成了走向原油独立的转变。美国政府一直秉持着能源外向依赖削弱美国竞争力的理念,其所奉行的能源独立政策推动油气勘探开发技术的不断发展,并由此实现了页岩油资源的大规模开发和利用,成为世界第一大原油输出国。但是美国页岩油产量高速增长并没有导致原油进口的大幅减少,而是使得原油进口逐渐减少对欧佩克国家的依赖,且地域来源上趋于集中化,尤其是加拿大油砂的进口份额显著提升。由于美国逐渐占据全球原油供应和消费市场的主导地位,厘清其原油进口策略显得极为重要。然而对页岩油革命后美国购油策略转变的讨论和实证研究相对比较缺乏。因此本文分析美国原油进口源地布局和原油产品性质的转变,首次实证探究美国国内页岩油需求和对各来源国原油进口之间的相互关系。我们的研究发现:(1)美国国内页岩油需求和对加拿大油砂进口存在互补效应,将加拿大油砂和页岩油混合精炼一方面可以有效利用国内炼油厂的产能,带动化工制造业等实体经济复兴,另一方面也可部分消化产量大幅增加的页岩油,避免页岩油供给过剩。(2)美国页岩油需求和对欧佩克原油进口存在替代效应,这不仅反映了欧佩克国家主要生产的轻质原油与页岩油属于同质产品,因而存在相互竞争关系,而且反映了美国不断减少对不稳定地区的原油进口,以使政治外交政策能独立于原油供给的经济考量。

本文的研究结论对于中国的原油贸易和发展战略具有重要的政策启示。第一,加大页岩油勘探开发力度。美国页岩油产量爆发式增长突显了页岩油的开发价值,中国同样拥有丰富的页岩油资源储量,虽囿于开发技术有限尚未实现规模化商业开发,但仍应对工程技术研发保持长期、稳定、大力的投入,不断探索陆相页岩油的提速、提效和提产方法,加快推进页岩油大规模工业化开发。第二,投资开发加工重质原油的技术。目前美国是加拿大油砂的主要出口方向,但由于油砂产量未来会有大

## 易靖韬等：美国购油策略分析及对中国的启示

幅度提升<sup>①</sup>，加拿大正极力推动开辟油砂运输至亚洲的新通道。因此，中国应顺应全球炼油工业向重质化发展的浪潮，加强炼油关键技术攻关，提高处理重质原油的能力，以此增加炼油产业的收益，同时增强相关产业应对原油价格变动的能力，使其更好地应对国际原油价格自2020年第二季度以来持续上涨带来的成本冲击。第三，坚持推动原油贸易以人民币结算。页岩油革命后美国大幅减少对中东地区国家的原油进口，而中东地区国家正是中国原油进口的重要贸易伙伴，2020年占进口总量的46.10%，因此当传统主要产油国被迫减少与美国

之间的原油贸易并积极寻找买家时，中国可借此推动原油贸易以人民币结算，捍卫国家经济主权，营造有利的外部经济环境。第四，以进口美国原油的方式辅助削减双边贸易差额，改善中美经贸关系。产量大幅增加的美国页岩油迫切依赖外国市场的需求来消化，而中国作为美国原油的主要输入国之一，增加原油进口能辅助降低中美贸易顺差，既有助于美国扩大页岩油出口，巩固能源优势，又有利于中国原油进口渠道多元化，降低能源进口成本和风险，助推中美经济贸易关系走向健康良性发展。

### 参考文献

- 程承、王震、薛庆、刘明明，2017：《国际原油供给新变革下的寡头合作竞争博弈分析》，《石油科学通报》第1期。
- 富景筠，2019：《页岩革命与美国的能源新权力》，《东北亚论坛》第2期。
- 李扬、徐洪峰，2017：《特朗普政府“美国第一能源计划”及其影响》，《东北亚论坛》第5期。
- 石洪宇、费华伟、高振宇、戴家权，2020：《全球原油品质变化趋势及对中国炼油行业的影响》，《世界石油工业》第2期。
- 宋磊、张建华，2016：《美国和中国的石油贸易比较研究》，《当代石油石化》第2期。
- 徐小杰，2013：《美国能源独立趋势的全球影响》，《国际经济评论》第2期。
- 徐舜华、曹斌、郝立新，2014：《世界原油贸易走势与中国进口形势分析》，《国际石油经济》第1期。
- Al Rousan, S., R. Shia, and B. K. O. Tas, 2018, “A dynamic network analysis of the world oil market: Analysis of OPEC and non-OPEC members”, *Energy Economics*, 75: 28 - 41.
- Alquist, R., and J. D. Guénette, 2014, “A blessing in disguise: The implications of high global oil prices for the North American market”, *Energy Policy*, 64: 49 - 57.
- Ansari, D., 2017, “OPEC, Saudi Arabia, and the shale revolution: Insights from equilibrium modelling and oil politics”, *Energy Policy*, 111: 166 - 178.
- Bataa, E., and C. Park, 2017, “Is the recent low oil price attributable to the shale revolution?”, *Energy Economics*, 67: 72 - 82.
- Cohen, G., F. Joutz, and P. Loungani, 2011, “Measuring energy security: Trends in the diversification of oil and natural gas supplies”, *Energy Policy*, 39 (9): 4860 - 4869.
- Energy Information Administration, 2013, *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*. Washington.
- Energy Information Administration, 2014, *Annual Energy Outlook*. Washington.
- Ji, Q., and Y. Fan, 2016, “Evolution of the world crude oil market integration: A graph theory analysis”, *Energy Economics*, 53: 90 - 100.
- Johansen, S., 1988, “Statistical analysis of cointegration vectors”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12 (2): 231 - 254.
- Kilian, L., 2016, “The impact of the shale oil revolution on US oil and gasoline prices”, *Review of Environmental Economics and Policy*, 10 (2): 185 - 205.
- Kim, M. S., 2018, “Impacts of supply and demand factors on declining oil prices”, *Energy*, 155: 1059 - 1065.

<sup>①</sup> 加拿大石油生产商协会 (CAPP) <https://www.capp.ca/resources/crude-oil-forecast/>

- Kruyt, B. , D.P. van Vuuren, H. J. M. de Vries, and H. Groenbergh, 2009, “Indicators for energy security”, *Energy Policy*, 37 (6): 2166 – 2181.
- Le Coq, C. , and E. Paltseva, 2009, “Measuring the security of external energy supply in the European Union”, *Energy Policy*, 37 (11): 4474 – 4481.
- Lefèvre, N. , 2010, “Measuring the energy security implications of fossil fuel resource concentration”, *Energy Policy*, 38 (4): 1635 – 1644.
- Lesbirel, S. H. , 2004, “Diversification and Energy Security Risks: The Japanese Case”, *Japanese Journal of Political Science*, 5 (1): 1 – 22.
- Mănescu, B. C. , and G. Nuño, 2015, “Quantitative effects of the shale oil revolution”, *Energy Policy*, 86: 855 – 866.
- Markowitz, H. , 1952, “The utility of wealth”, *Journal of Political Economy*, 60 (2): 151 – 158.
- McGlade, C. E. , 2012, “A review of the uncertainties in estimates of global oil resources”, *Energy*, 47 (1): 262 – 270.
- Mohaddes, K. , and M. Raissi, 2019, “The US oil supply revolution and the global economy”, *Empirical Economics*, 57 (5): 1515 – 1546.
- Monge, M. , L. A. Gil-Alana, and F. Pérez de Gracia, 2017, “U. S. shale oil production and WTI prices behaviour”, *Energy*, 141: 12 – 19.
- Solarin, S. A. , L. A. Gil-Alana, and C. Lafuente, 2020, “An investigation of long range reliance on shale oil and shale gas production in the U. S. market”, *Energy*, 195: 116933.
- Su, C. W. , M. Qin, R. Tao, N. C. Moldovan, and O. R. Lobonț, 2020, “Factors driving oil price —— from the perspective of United States”, *Energy*, 197: 117219.
- Wang, J. , L. Feng, M. Steve, X. Tang, T. E. Gail, and H. Mikael, 2015, “China’ s unconventional oil: A review of its resources and outlook for long-term production”, *Energy*, 82: 31 – 42.
- Wu, G. , Y. M. Wei, Y. Fan, and L. C. Liu, 2007, “An empirical analysis of the risk of crude oil imports in China using improved portfolio approach”, *Energy Policy*, 35 (8): 4190 – 4199.
- Wu, X. F. , and G. Q. Chen, 2019, “Global overview of crude oil use: From source to sink through inter-regional trade”, *Energy Policy*, 128: 476 – 486.

## AN ANALYSIS OF THE U. S. CRUDE OIL IMPORTING STRATEGY

YI Jingtao SU Huiwen HUANG Yunting

(Renmin Business School, Renmin University of China)

**Abstract:** Since 2010, crude oil production capacities in the U. S. have nearly doubled due to rapid growth of its shale oil industry that might permanently alter the global oil market. Why did the U. S. not cut oil imports in the wake of shale revolution? Our study conducts a systematic analysis of the impact of the U. S. shale revolution on its oil importing strategy to investigate the underlying causes of the strategic change in the U. S. oil imports. We propose a substitution relationship between the domestic shale oil use and the imports of Canadian oil and a complementary relationship between the domestic shale oil use and the imports of oil from OPEC. The results of cointegration test and Granger causality test confirmed our hypotheses. Finally, our study has important policy implications for China in promoting its oil industry development.

**Key Words:** shale oil revolution; oil import; U. S. oil dependence