

# Structural Characteristics and Evolution of International Energy Trade Network

Xueyao Ren, Tingting Gu

Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu  
Email: 3160801019@stmail.ujs.edu.cn, 3160801020@stmail.ujs.edu.cn

Received: Mar. 9<sup>th</sup>, 2020; accepted: Mar. 25<sup>th</sup>, 2020; published: Apr. 1<sup>st</sup>, 2020

---

## Abstract

The social network analysis is used to select international energy trade data from 2005 to 2017 to build an international energy trade network. The results show that the world financial crisis in 2008 caused a negative impact on the international energy trade network, but the ability to restore international energy trade relations is high; China, the Netherlands, France, the United States and other countries play an important role in the energy trade network; at present, the development of international energy trade cooperation is relatively good; the international energy trade network presents a core-periphery structure.

## Keywords

International Energy Trade Network, Social Network Analysis, Network Density

---

# 国际能源贸易网络的结构特征及其演化

任雪瑶, 顾婷婷

江苏大学, 江苏 镇江  
Email: 3160801019@stmail.ujs.edu.cn, 3160801020@stmail.ujs.edu.cn

收稿日期: 2020年3月9日; 录用日期: 2020年3月25日; 发布日期: 2020年4月1日

---

## 摘要

本文采用社会网络分析法,选取2005~2017年的国际能源贸易数据,构建国际能源贸易网络。结果表明:2008年世界金融危机对国际能源贸易网络造成消极影响,但国际能源贸易关系恢复能力较高;中国、荷兰、法国、美国等国在能源贸易网络中扮演重要角色;目前国际能源贸易合作发展形态较为良好;国际能源贸易网络呈现明显核心-边缘结构。

## 关键词

国际能源贸易网络, 社会网络分析法, 网络密度

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

2008年金融危机后, 包括能源贸易在内的世界贸易格局发生深层次演变。在金融危机背景下, 国际能源贸易结构以及各个国家在其中的角色是否发生了变化以及发生了怎样的变化?

能源是国家发展经济的物质基础, 能源贸易亦是确保经济健康发展的重要因素。目前, 国际能源贸易竞争日趋激烈。对于我国这样的能源大国来说, 能源贸易在诸多方面都对我国的国际贸易产生重大影响, 尤其在中国推进产业升级并对国际贸易市场依赖不断增强的当下, 其影响更为深远。统计数据显示, 2017年我国能源消费总量为449,000(万吨标准煤), 比2008年(320,611)增长140%。由于中国能源贸易即使在能源品种多元化和节能方面采取多种措施, 但短期并不能从根本上改善中国能源短缺的情况这一前景, 导致能源贸易将在今后一段时间内依然发挥较大作用, 中国的能源对外依存状况不会得到根本改变。而且, 从国内能源需求以及能源结构来看, 未来十年是能源消费增长的高峰, 进一步扩大能源贸易, 充分利用国内国外两个市场中的能源资源, 对于保障我国能源安全将越来越重要[1]。对此, 中国应立足国际能源博弈现状, 建立起相应的国际贸易风险评估和应对机制, 以确保国家能源安全和国际贸易的平稳发展[2]。鉴于此, 本文基于2005~2017年世界主要能源的双边贸易数据构建国际能源贸易网络, 认识国际能源贸易的结构特征及其变化发展, 深入了解各国的能源贸易情况, 以期借鉴传统能源核心强国经验, 提出推进我国能源贸易发展的有效建议。

## 2. 研究基础

### 2.1. 文献综述

近年来, 社会网络分析法发展迅速, 大量学者采用社会网络分析法来研究贸易问题。Serrano和Boguna首次将社会网络分析法与贸易相结合, 研究发现国际贸易网络具有复杂网络特征[3]; 陈银飞通过社会网络分析法研究次贷危机下, 国际贸易发生了怎样的变化[4]; 许和连, 郑川等人通过社会网络分析视角研究了后金融危机时代的全球文化产品贸易格局[5]; 刘劲松分析了世界天然气贸易格局及变化情况[6]; Wilhite指出国际贸易中国家间的贸易往来所形成的世界贸易网会具有“小世界”特征[7]; 谢文捷, 于友伟认为国际能源贸易推动了世界经济发展的重大进步, 但对于不同类型的国家来说, 能源贸易所带来的机会是不平等的: 发达国家获得了尽可能多的利益, 而发展中国家被动接受发达国家对其的盘剥[8]; 徐斌分析世界铁矿石贸易格局, 得出中国没有对国际铁矿石贸易产生重大影响, 铁矿石贸易网络的集聚系数总体呈现下降趋势[9]。因此, 本文采取社会网络分析方法, 运用2005~2017年能源相关产品进出口额数据, 构建国际能源贸易网络, 对其结构特征及其演化进行分析。

本文主要探讨2005~2017年世界能源贸易网络的动态变化趋势。尝试解决以下问题: 金融危机前后及近年来全球能源进出口国家在能源贸易网络中扮演什么样的角色? 各国在能源贸易网络中的地位是否随时间的变化而变化? 中国在全球能源贸易网络中的地位如何?

## 2.2. 研究方法和数据说明

利用社会网络法研究世界贸易,可以在整体上展现世界贸易的结构,还可以了解国家之间是否存在贸易往来,以及二者之间贸易量的多少。考虑到世界能源贸易分类非常复杂,本文将选取 2005~2017 全球煤及其他天然矿物燃料,石油进出口数据(即联合国商品贸易统计数据图 COM-TRADE 中产品代码为 27 的产品)进行研究。由于并不是所有国家都会在联合国报告及出口数据,因此本文的数据仅包含 COMTRADE 数据中的国家和地区,每年包含的节点数目也略有差别,但这并不影响对于世界能源贸易网络的分析。考虑到本文主要研究时期为金融危机前后以及数据的可获得性因素,本文选取从 21 世纪初开始的样本数据进行分析,重点考察金融危机前后以及近些年来受到金融危机影响下的国际能源贸易格局。构建 2017 年国际能源加权网络如图 1 (仅显示部分贸易量大的国家)。

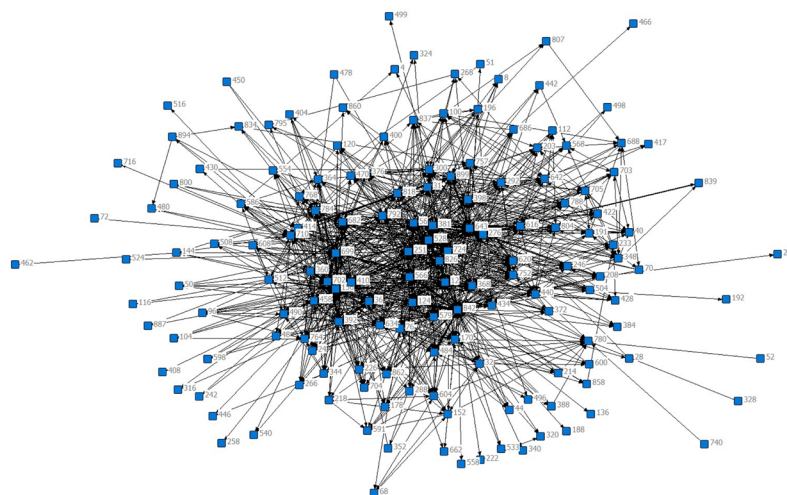


Figure 1. 2017 international weighted energy network (Including major countries)

图 1. 2017 年国际能源加权网络(主要国家)

## 3. 国际能源贸易网络分析

### 3.1. 网络密度

密度是反映网络中各个节点之间紧密程度的指标。取值越大,密度越高。网络密度的取值范围为(0, 1),但密度越趋近于 1,则表示密度越大,整体网络越紧密;但密度越趋近于 0,则表示密度越小,整体网络越松散,本文采用 Ucinet6 软件对 2005~2017 年的数据进行密度计算,得到 2005~2017 年国际能源贸易网络密度表(表 1)。

Table 1. The network density of the 2005 - 2017 international energy trade

表 1. 2005~2017 年国际能源贸易网络密度表

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
密度	0.1630	0.1963	0.2026	0.2047	0.2562	0.1395	0.1977	0.1787	0.0983	0.1985	0.1970	0.2169	0.1866

由表 1 可知,从总体上来看,2005~2017 年国际能源贸易网络密度在(0.09, 0.26)之间波动。2005~2017 年间国际能源贸易网络密度都在两个较小的值之间波动,表明综合国际能源贸易网络较为松散。2005~2009 年,国际能源贸易关系网络的密度呈现增长态势,而 2008 年世界金融危机爆发以后,对于国

际能源贸易网络的副作用在 2010 年到达顶峰, 2010 年密度出现负增长, 从 0.2562 下降到 0.1395, 这表示此次全球金融危机使得各国间的能源贸易网络趋向松散。2011 年, 密度有所回升, 而 2013 年密度又出现下降, 可能是由于能源产品在国际市场上的价格经常性浮动, 且国家间频繁的地缘政治竞争给国际能源贸易造成了不良影响。此后, 密度又有所增加, 表明国际能源贸易关系恢复能力较高。

图 2 展示了 2007~2017 年间能源进出口国家数量变化情况, 其中横坐标代表年份, 纵坐标代表国家数。从图 1 可以看出, 金融危机前, 能源进口国家数量处于相对稳定状态, 基本保持不变。出口国家略有增加, 说明金融危机前, 全球的能源格局为能源进口国家需求稳定, 能源出口国家略有增加。金融危机后, 无论是进口还是出口, 国家数量都呈现减少的趋势, 且出口国减少幅度大于进口国。说明金融危机对于能源出口国的影响较大, 对需求国影响较小。

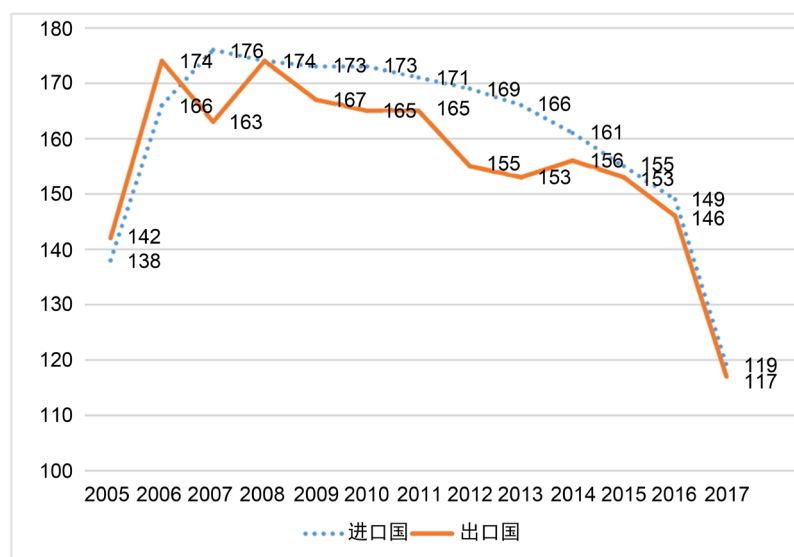


Figure 2. The number of changes about 2005 - 2017 energy import and export countries  
图 2. 2005~2017 年间能源进出口国家数量变化图

### 3.2. 贸易网络的中心性

中心性是分析社会网络的关键性指标。中心性在总体上表示整个网络的集中或集权程度, 同样也可以展现具体的节点在网络中处于怎样的地位。网络的中心性计算依赖网络中各个节点的中心性。本文重点分析 2008 年与 2017 年两年的国际能源贸易网络。通过测量这两年国际能源贸易网络的节点中心度, 并列举出出度入度之和排名前 10 的国家, 进行交叉比较, 考察国际能源贸易网络在这十年间的结构特征及其演化情况。

节点中心度是衡量某点在整体网络中重要性的重要指标。刘军认为如果网络中一个行动者与很多他者有直接的关联, 则该行动者就处于中心地位[10]。本文采用节点中心度分析国家在全球能源贸易网络中的重要程度。表 2 展示了从整体上看, 无权下, 全球能源贸易网络的节点中心度相对较大。在加权下, 节点中心度相对较小。从 2008~2017 年, 加权下国际能源进出口贸易的节点中心度从 1.51% 上升到 1.52%, 无权下从 60.98% 上升到 65.48%。

接着对某些重要节点国家展开分析。根据郝晓晴等的研究, 在全球能源贸易网络中, 对于无权复杂网络, 节点度表示一个节点与其他节点的连线数量[11]。能源贸易无权网络中节点度指 t 年与节点 i 有能源贸易的国家数量。对于有向网络, 有两个测量指标, 分别是出度和入度。节点 i 的出度表示向第 i 国进

口能源的国家数, 入度表示向第  $i$  国出口能源的国家数。表 3 展示了 2008 年, 2017 年出度入度之和排名前 10 的国家。2008 年全球能源贸易网络中, 中国、德国、法国占据前三, 数值分别为 190、184、181; 荷兰、美国、英国等老牌资本主义强国也处于网络的核心地位, 数值分别为 178、172、170。2017 年, 进出口规模较 2008 年有所扩大, 荷兰、法国、美国、中国占据着重要地位。不可忽略的是, 印度、土耳其等发展中国家也一跃成为能源贸易网络中的重要角色。土耳其政府近年来在能源政策上大刀阔斧, 提升了对于能源的重视程度, 改变了原先的能源政策方针, 决心将土耳其建立成世界能源贸易中心。

**Table 2.** Node centrality of 2008, 2017 international energy network

**表 2.** 2008 年和 2017 年网络节点中心度表

年份	加权			无权		
	Network Centralization	Heterogeneity	Normalized	Network Centralization	Heterogeneity	Normalized
2008	1.51	2.95	2.53	60.98	0.69	0.26
2017	1.52	2.94	2.52	65.48	0.72	0.29

**Table 3.** Top 10 countries in sum of the out-degree and the in-degree of energy network

**表 3.** 能源网络出度入度之和排名前 10 国家表

排名	2008		2017	
	国家	度	国家	度
1	中国	190	荷兰	210
2	德国	184	法国	195
3	法国	181	美国	193
4	美国	179	中国	192
5	英国	178	比利时	187
6	加拿大	172	印度	181
7	荷兰	170	土耳其	179
8	土耳其	170	韩国	179
9	意大利	169	意大利	178
10	比利时	168	英国	175

### 3.3. 核心 - 边缘结构分析

核心 - 边缘结构是判断社会网络中节点地位的指标。由于本文的原始数据为定比数据, 所以需构建基于核心度的连续核心 - 边缘结构模型。在 UCINET 软件中, 通过路径 Network-Core/Periphery-Continuous 可以分别得到 2008 年和 2017 年能源贸易网络中各个国家(地区)的核心度。本文基于核心度数值将能源贸易网络中的国家(地区)按降序(即从高到底)方式排列, 将核心度排名第一的国家(地区)的 RANK 值定为 1, 核心度排名第二的国家(地区)的 RANK 值定为 2, 然后以此类推。根据 RANK 值可利用以下公式计算出上升指数:

$$\text{上升指数} = \frac{\text{RANK}2008 - \text{RANK}2017}{\text{RANK}2008} \quad (1)$$

通过上升指数可以发现 2017 年各个国家(地区)相对于 2008 年在能源贸易网络中的位置变化情况。具体地, 如果上升指数为无效值, 则该国家(地区)为贸易网络中的新增国家(地区); 如果上升指数为正数,



则该国(地区)在贸易网络中的核心地位升高;如果上升指数为负数,则该国(地区)在贸易网络中的核心地位下降;如果上升指数为零,则该国(地区)在贸易网络中的地位没有发生变化。具体结果如表 4。2008 年与 2017 年核心度排名前 15 名国家表所示。

**Table 4.** Top 15 countries in coreness degree of energy network in 2008, 2017

**表 4.** 2008 年与 2017 年能源网络核心度排名前 15 名国家表

年份	2008		2017		2017 年核心度排名前 15 的国家相对 2008 年位置的变化情况			
	排序	国家(地区)	核心度	国家(地区)	核心度	排序变化 2008→2017	上升指数	变化方向
	1	美国	0.996	美国	0.999	1→1	0	—
	2	加拿大	0.072	加拿大	0.164	2→2	0	—
	3	墨西哥	0.032	墨西哥	0.072	3→3	0	—
	4	尼日利亚	0.019	巴西	0.019	9→4	0.56	↑
	5	委内瑞拉	0.014	中国	0.016	19→5	0.74	↑
	6	阿尔及利亚	0.011	哥伦比亚	0.014	8→6	0.25	↑
	7	英国	0.008	韩国	0.014	20→7	0.65	↑
	8	哥伦比亚	0.006	日本	0.012	21→8	0.62	↑
	9	巴西	0.004	尼日利亚	0.011	4→9	-1.25	↓
	10	荷兰	0.004	英国	0.011	7→10	-0.43	↓
	11	厄瓜多尔	0.004	荷兰	0.010	10→11	-0.10	↓
	12	俄罗斯	0.003	印度	0.010	27→12	0.56	↑
	13	法国	0.003	厄瓜多尔	0.009	11→13	-0.18	↓
	14	西班牙	0.003	俄罗斯	0.008	12→14	-0.17	↓
	15	挪威	0.003	法国	0.007	13→15	-0.15	↓

观察表 4 可以发现,美国、加拿大、墨西哥的核心地位没有发生改变,仍然是排名前三的国家,对于国际间的能源贸易合作起显著的引领作用。尼日利亚、英国、荷兰、厄瓜多尔和俄罗斯等国的核心地位均有所下降。而巴西、中国、哥伦比亚、韩国、日本、印度等国的核心地位有不同程度的上升,其中中国尤为突出,说明在 2008 年发生金融危机之后,中国反应迅速,积极采取有效措施,在最大程度上降低危机造成的不良后果,迅速恢复了经济发展,同时也扮演了世界能源贸易中的关键角色。其次,我们对 2017 年各个国家(地区)在能源贸易网络中的核心度进行排序,其中上升速度最快的六个国家(地区)分别是中国、韩国、日本、巴西、印度和多米尼加共和国,说明这六个国家在 2008 年至 2017 年的国际能源贸易合作中取得了较为显著的发展。

#### 4. 结论

本文采用社会网络分析方法对 2005~2017 年全球能源贸易数据进行分析,研究全球能源贸易网络的密度,中心性,核心-边缘结构等特征,得出以下结论:

1) 从全球能源贸易网络的密度上来看,2005~2017 年整体能源贸易网络密度较为松散。2005~2009 年,全球能源贸易的紧密度逐年增加,金融危机对能源贸易的影响在 2010 年达到峰值,此后密度又有所增加。

2) 从全球能源贸易网络的中心性来看, 在全球能源贸易中扮演重要角色的主要是法国, 美国, 英国等老牌资本主义强国, 这说明发达国家始终在全球能源贸易网络中占据重要的地位。而中国, 印度等新兴发展中国家日渐崛起, 在全球能源贸易网络中扮演着越来越重要的角色。

3) 从全球能源贸易网络的核心-边缘结构来看, 全球能源贸易网络呈现明显的核心-边缘结构。2008~2017年间, 美国、加拿大始终处于核心地位, 而巴西、印度、中国等国的核心地位有所上升, 其中中国尤为突出。说明, 金融危机以后, 受到危机较小的新兴发展中国家拥有了参与世界能源贸易的更多机会, 提升了自己在网络中的地位。

基于以上研究结果, 本文针对中国在全球能源贸易网络中扮演的角色提出以下建议:

1) 我国要继续保持自身在世界能源贸易网络中的关键地位。可以通过积极开拓能源贸易渠道, 开展与更多国家的能源贸易合作, 以期实现互利共赢, 满足我国的能源需求, 巩固我国的地位。譬如我国可以加强与“一带一路”沿线国家以及和非洲国家的能源合作。同时应积极推进我国能源企业走出国门, 开展对外贸易。不仅能够保持我国在能源贸易网络中的重要角色, 而且可以发展能源贸易推动经济发展的同时, 实现促进就业, 实现双赢。

2) 我国应在结合我国实际情况的基础上, 借鉴传统能源贸易强国经验。美国、英国、荷兰等传统能源贸易强国, 在能源贸易上有着非常丰富的经验, 值得我国去借鉴学习。

3) 我国要努力实现能源多样化, 完善能源体系, 优化能源结构, 为我国能源安全提供保障。我国是世界上少数几个以煤为主要能源资源的国家, 这和发达国家的能源结构是相反的。2017年以及过去多年, 我国的煤炭消费都占一次能源消费总量的70%。能源结构转换刻不容缓。但需要注意的是, 能源结构转换不可操之过急, 既要积极发展清洁能源, 也要思考如何更高效更环保的使用传统化石能源。

4) 我国要大力发展在能源方面的关键技术。虽然我国目前在世界能源贸易网络中扮演重要角色, 但是在能源技术方面, 我国仍旧存在许多不足之处。譬如, 我国在燃气轮机领域并未掌握关键技术, 依靠国外进口。一旦出口国拒绝向中国出口此类技术, 将会对我国能源产业产生巨大影响, 不利于我国保障能源安全。因此, 我国亟需提升能源产业的核心技术。

## 基金项目

2018年江苏省大学生创新创业训练计划。

## 参考文献

- [1] 林永生, 张生玲. 中国能源贸易进展与思考[J]. 国际贸易, 2013(9): 14-18 + 25.
- [2] 唐学学. 国际能源博弈对中国国际贸易的影响及对策[J]. 云南社会科学, 2018(4): 88-93.
- [3] Serrano, M.A. and Boguna, M. (2003) Topology of the World Trade Web. *Physical Review E*, **68**, Article ID: 015101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.68.015101>
- [4] 陈银飞. 2000-2009年世界贸易格局的社会网络分析[J]. 国际贸易问题, 2011(11): 31-42.
- [5] 许和连, 郑川, 吴刚. 后金融危机时代的全球文化产品贸易格局: 社会网络分析视角[J]. 现代财经, 2014, 289(2): 18-28.
- [6] 刘劲松. 基于社会网络分析的世界天然气贸易格局演化[J]. 经济地理, 2016, 36(12): 89-95.
- [7] Wilhite, A. (2001) Bilateral Trade and “Small-World” Networks. *Computational Economics*, **18**, 49-64. <https://doi.org/10.1023/A:1013814511151>
- [8] 谢文捷, 于友伟. 国际能源贸易的形成和发展研究[J]. 国际商务. 对外经济贸易大学学报, 2005(3): 10-14.
- [9] 徐斌. 国际铁矿石贸易格局的社会网络分析[J]. 经济地理, 2015, 35(10): 123-129.
- [10] 刘建. 基于社会网络的国际原油贸易格局演化研究[J]. 国际贸易问题, 2013(12): 48-57.
- [11] 郝晓晴, 安海忠, 陈玉蓉, 高湘昀. 基于复杂网络的国际铁矿石贸易演变规律研究[J]. 经济地理, 2013, 33(1): 92-97.