

第五届全国大学生 能源经济学术创意大赛

作品名称:
能源消费结构演化的影响因素探究
——基于能源禀赋视角

作品类别	研究论文类
作者团队	薛韶芳 北京航空航天大学 硕士一年级
	廖维君 北京航空航天大学 博士一年级
	相林 北京航空航天大学 硕士二年级
指导教师	范英 北京航空航天大学

2019 年 5 月 30 日

摘要

为研究全球各国能源消费结构演化的影响因素，本文从能源禀赋的角度考虑，使用世界上 55 个国家 1980-2016 年的化石能源储量与消费数据，用固定效应的变系数面板模型进行分析。结果显示：1) 能源资源禀赋结构对于各类国家的能源消费结构具有较大的影响，但其解释能力不如经济水平的解释能力强；2) 产业结构并未对各类国家都表现出十分强的解释能力。3) 经济水平为能源消费结构演化的主要影响因素，能源资源禀赋和产业结构为次要影响因素，影响程度随各国初始资源禀赋结构而变。

关键词：能源资源禀赋，能源消费结构，面板数据模型，K-means 聚类

Abstract

In order to study the influencing factors of the evolution of energy consumption structure in countries around the world, we collect the fossil energy reserves and consumption data of 55 countries from 1980 to 2016. From the perspective of energy endowment, we use a fixed-effect panel model to analyse the relationship between energy resource endowment and energy consumption mix. The main results we found are as follows: 1) The energy resource endowment structure has a greater impact on the energy consumption structure of various countries, but its explanatory power is not as strong as the economic level. 2) The industrial structure has not shown a strong explanation for all countries. 3) The economic level is the main influencing factor for the evolution of energy consumption structure. The energy resource endowment and industrial structure are secondary influencing factors, and the degree of influence varies with the initial resource endowment structure of each country.

Keywords: Energy resource endowment, Energy consumption structure, Panel data model, K-means clustering

1 引言

一直以来，充足的能源供应都被认为是复杂社会中经济、文化和社会发展的先决条件^[1,2,3]。但当前世界面临着诸多能源问题与挑战。一方面，严重的能源短缺直接影响经济增长，并严重阻碍着人类生活水平的改善^[4]。另一方面，大量使用化石能源导致了一系列环境问题，诸如酸雨、水污染、空气污染、能源短缺和全球变暖等^[5]。气候变化对环境和社会的影响不仅取决于地球系统如何响应，而且取决于人类如何通过科技、经济、生活方式和政策作出反应^[6]。

能源消费带动经济发展，而拥有充足的能源资源则是能源消费的保证。在世界能源系统演化的过程中，哪些因素起到了重要影响作用？能源资源禀赋与能源消费之间有何关系？不同资源禀赋结构的国家又会有着怎样的能源消费结构？

资源禀赋 (Resource Endowment) 也称要素禀赋 (Factor Endowment)，在经济中指拥有的可用于制造业的土地、劳动力、资本和企业等自然资源的数量。一般而言，拥有大量资源禀赋的国家往往比资源禀赋少的国家要繁荣。^[7]不同国家的资源禀赋对其能源供应与消费有着不同的影响，例如：化石能源储量丰富的国家利用核能和现代可再生能源等低碳能源的可能性一般较小^[8]；煤炭、天然气用量高的国家往往是人均煤炭及天然气拥有量高的国家，而生物质能和水电用量高的国家则常是人均森林及淡水资源高的国家^[9]。

直观上看，拥有某种能源禀赋多（人均储量）的国家消费该种能源也多^[8]。但事实是否如此？是否各国遵循相同的规律？能源资源禀赋对能源消费结构是否有影响、有多大影响，这需要进一步验证。

目前国内外有不少研究能源消费结构演化影响因素的文章。O. Tahvonen (2001)通过对考虑技术的基准增长模型的理论研究，发现人们对能源生产的重视可能会从可再生能源发展到不可再生能源，最后转向可再生能源^[10]。任锦鸾等 (2002)借助复杂适应系统模型研究了技术进步对中国能源供需结构的影响，并预测了能源需求量和需求结构^[11]。魏一鸣等 (2005)从复杂系统分析建模应用的角度，整理论述了国际上能源-经济-环境 (3E, Energy- Economy- Environment) 系统领域的各种模型^[12]。Paul J. Burke (2013)利用 1960-2010 年间 134 个国家的数据来研究国家在经济发展过程中的能源阶梯，发现经济发展会带来“生物质能-化石能源-核能等低碳能源或风能等可再生能源”这样的能源替代^[8]。W. Wang 等 (2014)使用重心理论研究了全球能源供应与消费的空间分布及重心迁移，发现：石油生产重心整体朝东北方迁移，而石油消费整体朝东南方迁移；天然气生产与消费都朝东方迁移；煤炭生产整体朝东南方迁移^[13]。Z. Csereklyei 等 (2017)考察了 1971-2010 年欧盟成员国能源结构的发展路径，发现随着时间的推移，各国倾向于发展更高质量的能源结构，而高质量的能源结构通常与高的国民收入和人均能源使用量相关^[9]。Y. Hu 等 (2018)通过一种进化树模型分析了世界能源消费结构的演化，首先使用 K-means 聚类算法对 144 个国家及地区分类，然后将国家分配到能源消费结构进化树的不同位置，借此找出国家能源消费结构多样化的路径^[14]。

然而，以往的研究多集中于能源消费同经济水平、产业结构等的关系，目前尚未有文章从能源资源禀赋角度研究其对能源资源消费结构影响的。同时，能源结构问题的研究大多系统模型和统计模型的角度出发，少有使用计量方法研究如

下问题的:初始能源资源禀赋不同的国家,其能源消费有何不同?随着一国能源资源禀赋的改变,其能源消费会如何演变?基于以上考虑,本文从能源资源禀赋的新角度出发,把研究范围扩大到世界上多数国家,使用固定效应的面板模型来研究资源禀赋、经济水平、产业结构等因素对各国能源消费结构演化的影响效果。

2 模型

近年来,不少学者借助面板数据模型,研究了能源生产、消费等与经济增长之间的关系。高振宇等(2006)以中国 1995-2003 年各省区的数据为基础,利用面板数据计量分析了经济发展水平、产业结构、投资情况及能源价格等因素对能源生产率的影响^[15]。傅珊(2013)在考察 3E 系统的驱动关系时,将劳动力人数、能源消费总量和资本存量作为生产函数的基本要素,探讨了其对经济增长的影响^[16]。通过搭建面板数据模型,李强(2014)选取劳动力、资本、技术三项指标作为控制变量,研究了能源消费和经济增长的相互作用^[17]。

2.1 模型建立

本文将能源资源禀赋结构、经济水平和产业结构作为解释变量,来研究不同国家的能源资源禀赋与其能源消费结构的关系。

本文先利用 K-means 聚类按照初始禀赋不同将国家分为四类,后建立了如下面板数据模型:

$$C_{it} = \alpha_{it} + R_i\beta_{1i} + E_i\beta_{2i} + I_i\beta_{3i} + u_{it}, i = 1,2,3,4 \quad (2.1)$$

式中:各类的标识数字*i*的取值为 1~4。各变量均取各类内所有国家的平均值。被解释变量 $C_i = (C_1, C_2, C_3, C_4)$ 分别是 4 个类的石油消费平均占比时间序列,反映了各国的能源消费结构。解释变量 $R_i = (R_1, R_2, R_3, R_4)$ 分别是 4 个类的石油资源平均占比时间序列,反映了不同国家的禀赋结构。解释变量 $E_i = (E_1, E_2, E_3, E_4)$ 分别是 4 个类的人均 GDP 时间序列,反映了各国的经济水平。解释变量 $I_i = (I_1, I_2, I_3, I_4)$ 分别是 4 个类的第一、第二产业附加值平均占比时间序列,反映了各国的产业结构情况。

2.2 变量选择

如表 2.1,能源禀赋结构以三种化石能源储量的占比衡量,经济水平以人均国民生产总值(GDP, Gross Domestic Product)衡量,产业结构以第一、第二产业附加值¹在 GDP 中的比例衡量。

¹附加值(Value added)是加总所有产出和减去中间投入后的部门净产出,计算时没有扣除制造资产的折旧或自然资源的消耗和退化。第二产业对应工业,其附加值由采矿业、制造业、建筑业、电力、水和天然气中的附加值组成。

表 2.1 变量含义及单位

变量	含义	单位
C	石油消费在三种化石能源消费总量中的占比	%
	石油探明储量 ^{1,2}	千万桶(Thousand million barrels)
R	天然气探明储量	万亿立方米(Trillion cubic metres)
	煤炭探明储量	百万吨(Million tonnes)
E	人均 GDP (购买力平价)	国际美元 (Intl.\$, international dollar)
I	第一、第二产业附加值在 GDP 中的占比	%

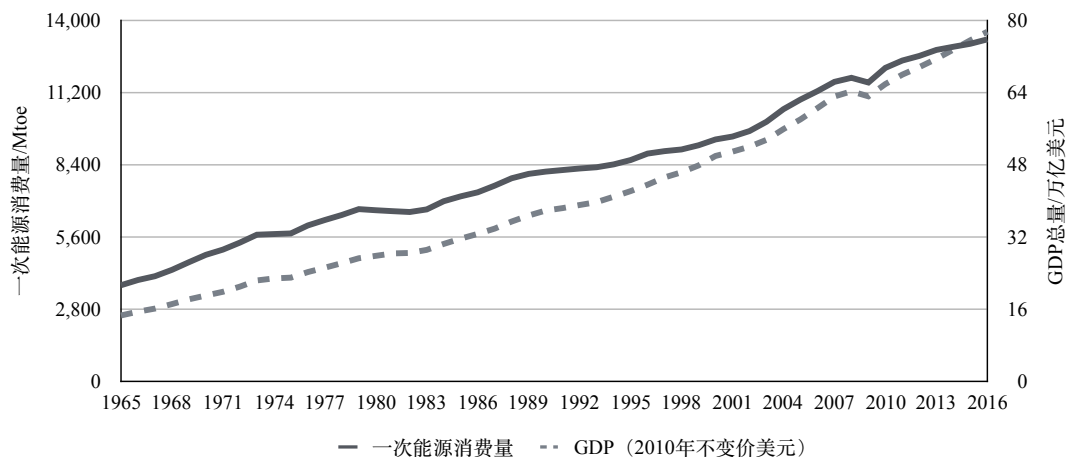
注 1:探明储量(Proved reserves)通常指通过地质与工程信息以合理的确定性表明,在现有的经济与作业条件下,将来可从已知储藏采出的储量。

注 2:石油探明储量包括天然气凝析油和天然气液体(NGL, Natural Gas Liquid)以及原油(crude oil)。

长久以来,化石能源是世界能源系统的消费主体,占据了超过 85%的一次能源消费总量。同时,化石能源也是目前储量可观、开采和利用最为成熟的能源。而石油作为三种化石能源之一,基本贡献了世界上三分之一的一次能源消费来源。使用石油资源禀赋占比来代表各类资源禀赋结构的特点,用于研究观察期内世界能源系统的演化情况,是较为合理的。

本文将一个国家的能源消费结构限定为“在一定的社会经济条件下,在国内所消费一次能源中,三种化石能源的比例关系”。

在经济发展的过程中,一个国家的能源消费结构通常与国内生产总值密切相关^[18]。如图 2.1,数据显示,世界能源消费与经济发展具有密切相关性。因此,为科学评判能源资源禀赋同能源消费的关系,本文将采用人均 GDP 来衡量各个国家的经济水平,以此作为控制变量。



数据来源:根据 BP 世界能源统计年鉴(2017)和 World Bank 国民经济核算数据(2018)绘制。

图 2.1 1965 年-2016 年世界一次能源消费量与 GDP 总量

能源消费的变动不仅有来自经济增长的影响,也有来自产业结构的影响^[19,20]。不同产业的能耗水平不尽相同,对于不同种类能源的需求和使用也不同。²其中,第二产业附加值对能源消费结构影响最大^[21]。本文使用第一、第二产业附加值在 GDP 中的占比来衡量产业结构。

3 实证分析

3.1 数据及来源

本文选取了世界 55 个国家和地区³作为研究对象(样本区间为 1980 年至 2016 年),包含 20 个 OECD 国家⁴、5 个 BRICS 国家。这些国家都是当今世界上较大的经济体,其国内能源系统的体量也都位居世界前列,因此能够较好地反映世界能源系统的演化特点。

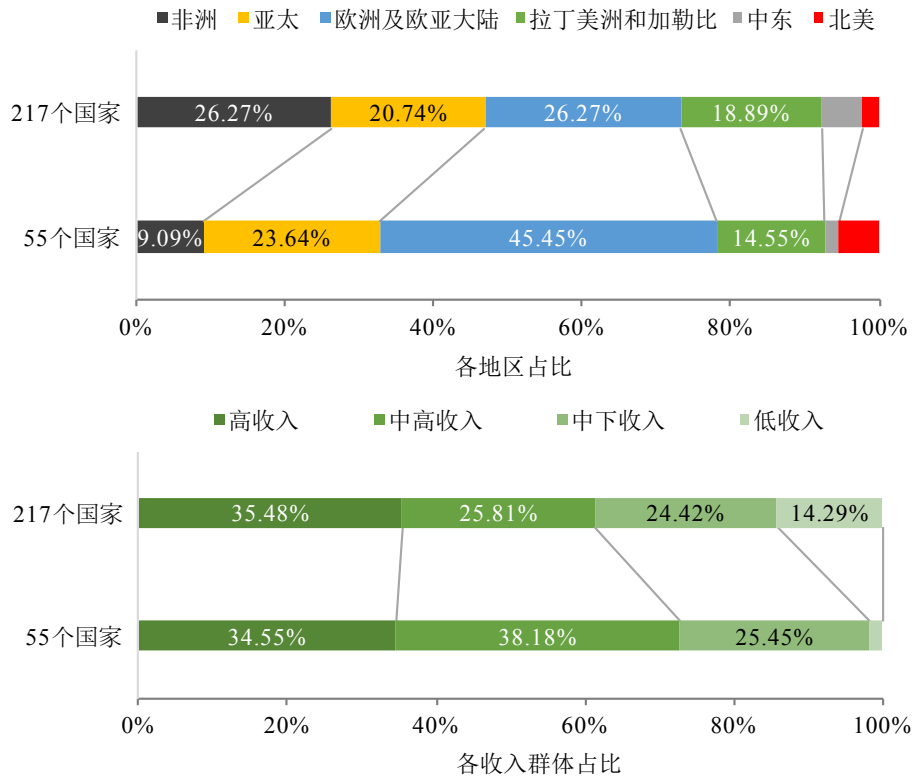
相应的数据来源为:“石油探明储量、天然气探明储量”来自 2017 版《BP 世界能源统计年鉴》^[22]，“煤炭探明储量”来自《1991 中国煤炭工业年鉴》^[23]、《世界经济年鉴》^[24]、《国外资源、能源和环境统计资料汇编》^[25]、BGR《2016 年能源研究》^[26]、WEC《能源资源调查 2001-2004-2009》^[27]、《世界能源资源 2013》^[28]及 2011-2017 版《BP 世界能源统计年鉴》^[29]。“人均 GDP”来自世界发展指数(WDI, World Development Indicators)^[30]，“第一、第二产业附加值在 GDP 中的占比”来自世界银行 Jobs 数据库(Jobs Databank)^[31]。

样本同世界整体的地区构成、收入群体构成的比较见图 3.1。可以看出,虽然本文所选取的国家集中在欧洲、北美等发达国家分布密集的地区,收入群体组成也偏向于较高收入,但整体来看,样本的特点基本能够反映世界上 217 个国家的整体特点,可以用作后续研究。

²当前对于产业最基础的分类方式是由 Allan Fisher, Colin Clark 和 Jean Fourastié 三人提出的三部门理论,将经济分为三类,其中:第一产业(Primary sector of the economy)是直接开采自然资源的行业,例如采矿业、农业、盐业和渔业;第二产业(Secondary sector of the economy)是加工、制造和生产产品的行业,例如工业、建筑业等;第三产业(Tertiary sector of the economy)是提供服务的行业,例如法律、医疗和教育等。

³世界银行的统计数据多为世界上的 217 个国家和地区。

⁴经济合作与发展组织(OECD, Organizations for economic co-operation and development)共有 35 个成员国,包括:创始成员 20 个:奥地利、比利时、加拿大、丹麦、法国、德国、希腊、冰岛、爱尔兰、意大利、卢森堡、荷兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、土耳其、英国、美国;后来加入的成员 15 个:日本、芬兰、澳大利亚、新西兰、墨西哥、捷克、匈牙利、韩国、波兰、斯洛伐克、智利、斯洛文尼亚、爱沙尼亚、以色列、拉脱维亚。



数据来源：世界银行。

图 3.1 样本国家与世界总体的构成比较

由于数据缺失会影响分析的质量及结果的稳健性，因此本文综合采用了两种方法对缺失值进行处理：删除缺失个案和期望最大化 (EM, Expectation maximization) 缺失值插补。后对其描述统计量进行了计算，结果如表 3.1 所示。

表 3.1 三个变量的主要描述统计量

变量	个数	最小值	最大值	平均值	标准差
石油探明储量	55	.00	41039.76	2402.519	7075.747
天然气探明储量	55	.90	30150.00	1938.152	5657.871
煤炭探明储量	55	1.20	158004.67	12334.068	32841.840

3.2 聚类分析

本文利用 K-means 聚类方法，得到四类初始禀赋（1980 年数据）不同的国家，结果见表 3.2。

表 3.2 按能源资源禀赋国内占比的聚类结果

类	个数	国家
1	9	阿尔巴尼亚、白俄罗斯、加拿大、刚果民主共和国、厄瓜多尔、日本、墨西哥、英国、委内瑞拉
2	12	阿尔及利亚、孟加拉国、玻利维亚、埃及、马来西亚、缅甸、荷兰、秘鲁、菲律宾、斯洛伐克、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦
3	14	阿根廷、奥地利、巴西、智利、法国、格鲁吉亚、伊朗、意大利、尼日利亚、挪威、罗马尼亚、俄罗斯、泰国、越南
4	20	澳大利亚、保加利亚、中国、哥伦比亚、捷克共和国、德国、希腊、匈牙利、印度、印度尼西亚、哈萨克斯坦、新西兰、巴基斯坦、波兰、塞尔维亚、南非、西班牙、土耳其、乌克兰、美国

四个类变量平均值的统计结果见图 3.2。可以看出，第 1、2、4 类分别为石油、天然气、煤炭资源禀赋比重大的国家，相应的平均储量在国内三种能源资源禀赋中的占比分别为 65%、76%、96%；而第 3 类的国家则呈现出三种能源资源禀赋占比相当，并且煤炭、天然气和石油占比依次下降的特点。

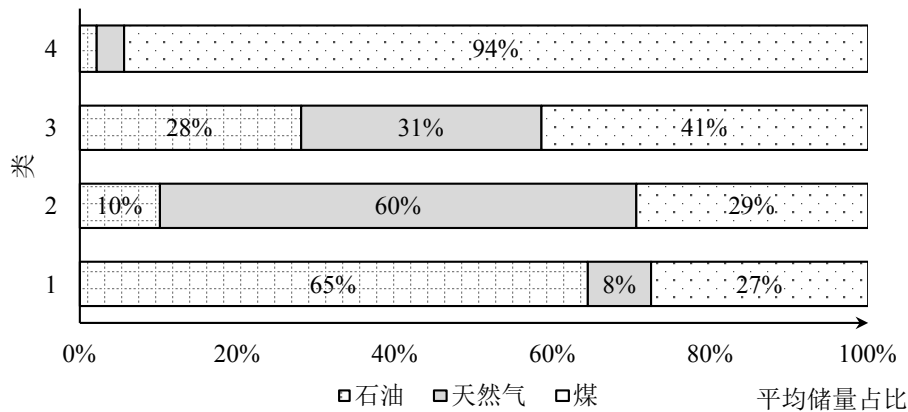


图 3.2 四个类国内三种能源资源禀赋平均占比的情况

为更加直观地观察各类的平均能源消费结构变化情况，本文制作了图 3.3。

可以看出，第 3 类和第 1 类的石油消费占比趋势较为接近，且在所有类中石油消费占比最大。第 2 类的平均石油消费占比也呈现出直线下降的趋势，从 1980 年的 66.54% 下降到 2016 年的 38.23%。第 4 类作为煤炭储量占比最大的国家类，其石油在三种能源消费中的占比一直居于四个类的最低水平，在 2012 年甚至降到最低值 35.63%。这表示，国内天然气和煤炭储量相对丰富的国家对石油的消费在三种化石能源中相对较少，而石油储量相对丰富或三种资源比重相当的国家则偏向以消费石油为主。

在所有类中，第 2 类的天然气禀赋比重最大，其相应的天然气消费占比也最大，且呈现出逐年的上升趋势，2016 年的占比（49.76%）是 1980 年（25.38%）的 2 倍左右。第 1 类的天然气禀赋比重虽然不比第 3 类大，但多年来国内对天然

气的消费比重却一直超过第 3 类。第 4 类的平均天然气消费占比始终处于各类的最低水平，37 年间也仅上升了约 12%。这表示，在天然气消费比重方面，国内天然气储量相对丰富的国家明显较其他两种禀赋丰富的国家要大，而石油、煤炭储量相对丰富或三种资源比重相当的国家则明显位居其后，且增速也较缓。

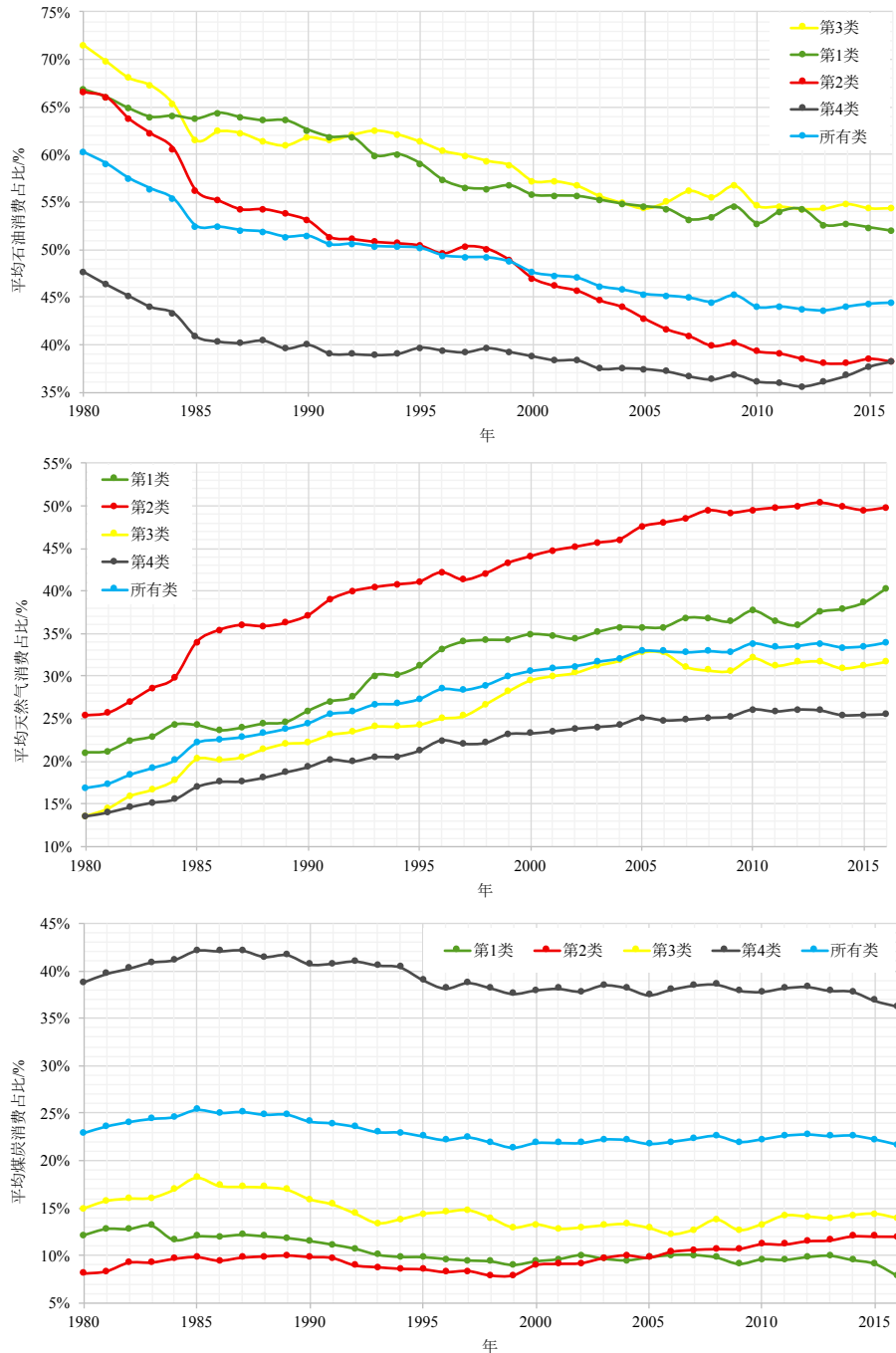


图 3.3 1980-2016 年间各类的三种化石能源平均消费占比

在观察期内，各类的平均煤炭消费比重基本变化不大，煤炭禀赋比重最大的第 4 类的煤炭消费比重也最大，几乎是所有类平均值的两倍。以属于第 4 类的中国为例，2016 年其煤炭禀赋占比为 94.99%，属于典型的煤炭大国，相应地，

1980-2016 年间其煤炭消费占比平均值高达 77.23%，远超第 4 类的平均水平 39.17%。第 1 类和第 3 类的煤炭消费比重从未超过 14%，在有的年份甚至只有 7.89%。这表示，国内煤炭禀赋丰富的国家偏向于以消费煤炭这一化石能源为主，而石油、天然气储量相对丰富的国家对煤炭的消费占比长期维持在较低水平，且基本不发生大的波动。

此外，无论是从各类单独来看，还是从所有类的均值来看，世界能源系统都呈现出石油消费占比下降、天然气消费占比上升、煤炭占比变化趋势平缓的特点。这从某种程度上表明了世界能源系统的低碳化趋势：与另外两种化石燃料相比，天然气是相对而言更加低碳清洁的能源。天然气比煤等高碳燃料产生的 CO_2 少得多。这也与 M. Levi (2013) 的观点——天然气或许会作为全球能源系统从化石燃料过渡到零碳燃料的桥梁^[32]——遥相呼应。

综合来看，基本可以作出这样的推断：不同能源资源禀赋的国家有着不同的能源消费结构与不同的能源系统演化特点。某一能源资源禀赋相对丰富的国家趋向于更多地使用该能源，这使得该能源在其国内能源消费中占比最大。

3.3 面板模型估计结果

首先，本文综合使用了 LLC 检验、ADF 检验和 PP 检验三种方法对各变量的数据进行了单位根检验，得到了表 3.3 中的结果。在显著性水平为 5% 时， C_i 、 R_i 和 E_i 的水平序列非平稳，但其一阶差分序列平稳； I_i 的水平序列平稳。因此可认为所有变量的时间序列是同阶协整的，其中 C_i 、 R_i 和 E_i 为一阶单整序列。

表 3.3 各变量序列的单位根检验结果

序列	变量	LLC	ADF	PP
水平	C_i	-2.264**	11.771	12.376
	R_i	-0.088	4.013	4.435
	E_i	4.522	0.042	0.052
	I_i	-4.344**	21.442**	25.264**
一阶差分	C_i	-7.346**	61.695**	61.634**
	R_i	-6.088**	49.220**	49.189**
	E_i	-5.744**	33.923**	33.640**

注：括号内为相应的显著性水平。标**表示显著性水平为 5%。

本文分别使用 Kao 检验和 Johansen 协整检验进行了协整关系检验，得到的检验结果如表 3.4 所示。在 10% 的显著性水平下，各变量通过了 Kao 检验和 Johansen 检验，拒绝原假设。因此认为各变量间存在协整关系，能够将其纳入回归模型分析。

表 3.4 各变量间协整关系检验的结果

方法	原假设	统计量名	统计量值
Kao 检验	不存在协整关系	ADF	-1.631(0.052)*
Johansen 检验	不存在协整向量	Fisher Stat. (from trace test)	44.090(0.000)*
	至少存在一个协整向量		16.200(0.040)*

注：括号内为相应的显著性水平。标*表示显著性水平为 10%。

本文的研究集中于国家的能源消费结构演化，所以设定模型形式为固定影响的变系数模型：

$$C_i = \alpha + \alpha_i^* + R_i\beta_{1i} + E_i\beta_{2i} + I_i\beta_{3i} + u_i, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (3.1)$$

式中的 α 为 4 个类的平均自发能源消费水平， α_i^* 为第*i*类自发能源消费对平均自发能源消费的偏离，用来反映不同类之间的能源消费结构差异。

假设不同类之间的随机误差项不相关，采用最小二乘法(LS, Least Squares)得估计结果如下：

$$C_i = 59.64 + \alpha_i^* + R_i\beta_{1i} + E_i\beta_{2i} + I_i\beta_{3i}, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (3.2)$$

依据计算结果，测定系数为 0.992，说明可解释的变异占总变异的比列之高，这也说明了回归模型的拟合优度高。但测定系数越大，回归方程的拟合效果不一定越好，因为测定系数的大小同时与解释变量的个数有关。因此本文观察了调整的测定系数的计算结果，其值为 0.991，二者的数值十分接近，说明模型的拟合效果不错。

检验统计量*F*的值为 800.559，相应的*P*值为 0。这说明模型通过了*F*检验，即解释变量和被解释变量的关系可以用线性模型来表示。

本文还对各回归参数进行了*t*检验。总体均值截距项的*t* = 19.860，相应的*P*值为 0，通过*t*检验。反映各类能源消费结构差异的 β_{1i} 、 β_{2i} 、 β_{3i} 及反映各类自发能源消费偏离的 α_i^* 的估计结果见表 3.5。

表 3.5 参数的估计结果

类 <i>i</i>	估计值				<i>t</i> 统计量		
	α_i^*	β_{1i}	β_{2i}	β_{3i}	β_{1i}	β_{2i}	β_{3i}
1	-15.854	-0.021	-0.000	0.391	-0.686	-3.784***	5.483***
2	13.796	0.228	-0.001	-0.429	4.162***	-9.816***	-3.828***
3	23.001	-0.438	-0.001	-0.067	-5.882***	-8.126***	-0.679
4	-20.943	0.022	-0.000	0.043	0.051	-1.589	0.685

注：括号内为相应的显著性水平。标***表示显著性水平为 1%。

可知，在本文所划分的 4 类国家中：第 2 类的各参数都通过了*t*检验，说明各变量对石油消费占比有显著的解释能力；与此相反的是，第 4 类的各参数都未通过*t*检验，说明该类中本文假定的各解释变量对石油消费占比并不存在显著的解释能力，这可能与本文对变量的取值有关——为计算简便，本文统一用石油能源占比来衡量四个类的能源禀赋与消费结构，而第 4 类国家属于煤炭禀赋与消费占

比都较高的（如图 3.3），这也是本文考虑不足所致；第 1 类的参数 β_{21} 和 β_{31} 通过了 t 检验，而 β_{11} 显著为 0，说明对石油禀赋优势的国家来说，石油禀赋的优势并不会显著影响其石油消费情况，因此也很可能不会改变该国国内的能源消费结构；第 3 类的参数 β_{13} 和 β_{23} 通过了 t 检验，而 β_{33} 显著为 0，说明对各能源资源禀赋相当的国家而言，石油禀赋占比和人均 GDP 有对石油消费占比有显著的解释能力，而第一、第二产业占比则不会显著影响其石油消费情况。

从对石油的自发能源消费水平 α_i^* 上看，各类也存在显著的差异。第 1 类和第 4 类的自发消费水平较低，第 2 类和第 3 类的自发消费水平较高。

总体来说，禀赋结构对于各类型国家的消费结构具有一定的影响，但其解释能力不如经济水平的解释能力强，而产业结构作为本文引入的控制变量，并未对各类型的国家都表现出十分强的解释能力。

4 结论与政策建议

对于世界范围内 1990 年-2016 年间的 55 个国家而言，资源禀赋结构不同的四个类的能源消费结构演化的影响因素具有明显的差异。首先，石油禀赋占比对石油消费的影响在四个类中不尽相同，预期禀赋边际消费倾向最高的是具有天然气禀赋优势的第 2 类，三种化石能源禀赋相当的第 3 类次之，而对第 1 类和第 4 类来说，本文的研究结果并未表明其石油禀赋对石油消费演化具有显著的影响。其次，产业结构的不同对四类国家石油消费结构的影响也不同，可以认为，第一、第二产业占比对于第 1 类和第 2 类国家的石油消费结构演化具有显著的影响，是驱动因素之一。

本文以人均 GDP 衡量的经济水平则表现出了显著的对石油消费的影响，且在第 1、2、3 类中的影响较为一致。在各类的估计结果中，预期人均 GDP 的边际石油消费倾向均为负值，这意味着随着各国经济水平的提升，国内一次能源消费总量中石油的占比有着下降的趋势，这一影响在三种化石能源消费占比相当的第 2 类国家中表现最为明显，系数达到了-0.001。因此本文认为，经济水平是能源消费演化的重要影响因素，且与其呈负相关的关系。

对于一个国家而言，虽然其能源资源禀赋结构很难发生巨大改变，但要想在现有资源水平下高效运转其能源系统、调节其能源消费结构，各国在制定与能源相关领域的经济或产业政策时，需要多考虑其国内的能源现状和能源事业的发展，使经济与能源协调发展。一方面，经济水平的提升有助于提升国内所消费能源的质量，使其朝着低碳化方向发展。另一方面，产业结构的转变对于各国调整能源消费结构、实施节能减排具有重要的作用。各国的政府和能源部门在制定国民经济发展规划以及能源生产计划时，要充分考虑产业结构变动的影响。^[9,33]一些国家可以将今后的节能重点放在加快技术进步、提高各产业能源利用效率上。

参考文献

- [1] Leslie A. White. Energy and the evolution of culture[J]. American Anthropologist, 1943, 45(3): 335.
- [2] Cottrell F. Energy and society: the relation between energy, social changes, and economic development[J]. McGraw-Hill, 1955.
- [3] Tainter J. The collapse of complex societies[M]. Cambridge University Press, 1990.
- [4] Honglin Yang, Lin Wang, Lixin Tian. Evolution of competition in energy alternative pathway and the influence of energy policy on economic growth[J]. Energy, 2015, 88: 223-233.
- [5] Liqun Liu, Chunxia Liu, Jingsi Wang. Deliberating on renewable and sustainable energy policies in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 17:191-198.
- [6] Richard H. Moss et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment[J]. Nature, 2010, 463: 747-756.
- [7] Wikipedia. Factor Endowment [EB/OL]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Factor-endowment>.
- [8] Paul J. Burke. The national- level energy ladder and its carbon implications[J]. Environment and Development Economics, 2013, 18 (4): 484–503.
- [9] Zsuzsanna Csereklyei, Paul W. Thurner, Johannes Langer, Helmut Küchenhoff. Energy paths in the European Union: A model-based clustering approach[J]. Energy Economics, 2017, 65: 442-457.
- [10] Olli Tahvonen, Seppo Salo. Economic growth and transitions between renewable and nonrenewable energy resources[J]. European Economic Review, 2001, 45(8): 1379–1398.
- [11] 任锦鸾,顾培亮.技术进步对中国能源供需结构的影响[A]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(5): 599-602.
- [12] 魏一鸣,吴刚,刘兰翠等.能源-经济-环境复杂系统建模与应用进展[A].管理学报, 2005, 2(2):159-170.
- [13] Wenwen Wang, Ming Zhang, Peng Li. Exploring temporal and spatial evolution of global energy production and consumption[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 30: 943-949.
- [14] Yuan Hu, Ling Peng, Xiang Li, Xiaojing Yao, Hui Lin, Tianhe Chi. A novel evolution tree for analyzing the global energy consumption structure[J]. Energy, 2018, 147: 1177-1187.
- [15] 高振宇,王益.我国能源生产率的地区划分及影响因素分析[A]. 数量经济技术经济研究, 2006, 9: 46-57.
- [16] 傅珊.能源、经济与环境驱动关系的统计研究[D].湖南大学,2013.

- [17] 李强.我国区域经济增长与能源消费关系研究——能源资源禀赋视角下[D].西安科技大学,2014.
- [18] Ugur Soytasa, Ramazan Sarib. Energy consumption and GDP: causality relationship in G- 7 countries and emerging markets[J]. Energy Economic, 2003;(1):33-37.
- [19] 史丹,张金隆.产业结构变动对能源消费的影响[J].经济理论与经济管理,2003(08):30-32.
- [20] 周明磊.我国能源消费与产业结构相关性研究[D].上海交通大学,2011.
- [21] Taiwen Feng, Linyan Sun, Ying Zhang. The relationship between energy consumption structure, economic structure and energy intensity in China[J]. Energy Policy, 2009, 37(12): 5475-5483.
- [22] BP. Statistical Review of World Energy- underpinning data[EB/OL]. [https://www. bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html](https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html).
- [23] 中国经济与社会发展统计数据库.世界部分国家人均煤炭储量[J].中国煤炭工业年鉴, 1991.
- [24] 中国现代国际关系研究院.世界经济年鉴-能源[J].北京:世界经济年鉴编辑委员会, 2008-2009.
- [25] 赵云城,严建辉.国外资源、能源和环境统计资料汇编[J].北京:中国统计出版社,2013,144.
- [26] BGR. Energy Resources 2009: Reserves, Resources, Availability[EB/OL]. <https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Energie/Produkte/energyresources2009.html>.
- [27] World Energy Council. World Energy Resources 2013[EB/OL]. <https://www.worldenergy.org/publications/2016/world-energy-resources-2016/>.
- [28] World Energy Council. World Energy Resources 2013[EB/OL]. <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/ WER20131Coal.pdf>.
- [29] BP. BP 世界能源统计年鉴 2011-2017[EB/OL]. <https://www.bp.com/zhcn/china/reports-and-publications/bp20300.html>.
- [30] The World Bank. World Development Indicators: GDP per capita, PPP (current international \$) [EB/OL]. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>.
- [31] The World Bank. Jobs Database of World Databank[EB/OL]. <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=jobs&preview=on#>.
- [32] Michael Levi. Climate consequences of natural gas as a bridge fuel[J]. Climate Change, 2013, 118: 609-623.
- [33] 路正南.产业结构调整对我国能源消费影响的实证分析[J].数量经济技术经济研究,1999(12):53-55.