

同濟大學

TONGJI UNIVERSITY

毕业设计(论文)

课题名称 碳能源消费与经济增长相关性的研究

副标题

学院

化学科学与工程学院

专业

化学工程与工艺

学号

1253893

学生姓名

董家容

指导教师

黄民

日期

2017-06-12

碳能源消费与经济增长相关性的研究

摘要

Cobb - Douglas 生产方程能够提供一个分辨宏观经济学中引起经济增长贡献因素重要性的理论框架，包括资本累积、人力资源的投入、能源消费、以及经济发展程度等因素。其产出弹性可代表总产出对于各个生产要素发生变化的反应能力，因此还反映了一个经济体的发展历史与现状。

本文通过对各宏观经济数据及其来源的分析与比较，对宏观经济生产方程进行了回归运算，确定了环太平洋地区主要经济体，包括美国、中国、日本、韩国、加拿大、俄罗斯、澳大利亚的资本产出弹性，并且对生产方程标准系数进行了敏感度分析，以了解实际数据对生产方程回归分析结果的影响。研究发现以上七个国家能大体分为资源型国家，其中包括加拿大、俄罗斯、澳大利亚，与人力型国家，其中包括美国、中国、日本、韩国。而生产方程标准系数很好地反映了各个国家的经济发展程度。

本文对总能源消费与经济增长进行了相关性分析。结果表明，环太平洋地区主要经济体总能源消费与经济增长的相关性随各国经济发达程度的升高而降低，这一结论与经济学领域对于全球百余国家的历史研究发现有较高的一致性。另一方面，本文发现国家发展程度越高，其可再生资源消费与经济增长的相关性越强。

本文通过对环太平洋地区各主要经济体生产方程的回归分析研究，并且结合能源消费与经济增长相关性的讨论，揭示了资本积累、人力资源的投入、能源消费、以及技术发展等因素对经济发展的贡献，也为对这些经济体的经济互补性进一步研究以及中国可能的未来经济发展方向提供了一些基础数据积累。

关键词：生产方程，产出弹性，标准系数，经济增长，能源消费

Correlation between Carbon Energy Consumption and Economic Growth

ABSTRACT

The Cobb-Douglas production function can be used as the theoretical macro-economic framework to reveal the importance of the contributing factors to economic growth, including capital accumulation, labor input, energy consumption, economic development, etc. The production elasticity represents the ability of total production output responding to the change of production factors, therefore it can also represent the history and current status of the development of an economy.

By analyzing and accessing different macro-economic data and the sources, macro-economic production function was calculated, regression analysis was performed to obtain the production elasticity of major economies in the Pacific Rim, including the USA, China, Japan, Korea, Canada, Russia and Australia. In order to understand the influence of real data on regression analysis of production function, sensitivity analysis of production function coefficients was conducted. It was found that the seven selected economies in the Pacific Rim region can be categorized into resource intense economy, including Canada, Russia, Australia, and labour intense economy, including the USA, China, Japan, Korea. The standard coefficients of the production function were found to reflect well of the degree of economic development of these economies.

The correlation between the total energy consumption and the economic growth was also assessed. The results indicate that for the Pacific Rim economies, the degree of the correlation between the total energy consumption and economic growth decreases as the level of the economic development increases, which agrees very well with literature findings in economic studies of more than 100 countries worldwide. On the other hand, it was found that the correlation between renewable energy consumption and economic growth increases with the level of the economic development of an economy.

Through the regression analysis of production function of selected economies in the Pacific Rim and the analysis of the correlation between energy consumption and economic growth, this thesis work revealed the basic contribution of the capital formation, labour input, energy consumption, and the technological improvement to the economic growth. It may serve as a basic data reserve for future study on the economic mutual complementarity amount Pacific Rim countries and China's future economic development.

Key words: production function, production elasticity, standard coefficient, economic growth, energy consumption

同济大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或者没有公开发表的作品的内容。对本文所涉及的研究工作作出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

装
订
线

签名：

年 月 日

学位论文版权使用授权书

本人完全了解同济大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，同意如下各项内容：按照学校要求提交学位论文的印刷版和电子版；学校有权保留学位论文的印刷版和电子版，并采用影印、缩印、扫描、数字化或其他手段保存论文；学校有权提供目录检索以及向国家有关部门或者机构送交论文的复印件和电子版；在不以营利为目的的前提下，学校可以适当的复制论文的部分或全部内容用于学术活动。

学位论文作者签字：

年 月 日

经指导教师同意，本学位论文属于保密，在 年解密后适用于本授权书。

指导教师签名：

学位论文作者签名：

年 月 日

年 月 日

目 录

| | |
|--------------------------|----|
| 1 引言..... | 6 |
| 1.1 生产方程的历史发展 | 6 |
| 1.2 经济热力学理论的历史发展 | 7 |
| 1.3 经济热力学的社会经济意义 | 9 |
| 1.4 本文所作的工作 | 12 |
| 2 生产方程回归分析..... | 13 |
| 2.1 生产方程相关理论介绍 | 13 |
| 2.2 相关参数的选择与确定 | 13 |
| 2.3 生产方程回归计算方法的确定 | 16 |
| 2.4 环太平洋其他主要国家回归分析 | 19 |
| 2.5 回归结果敏感度分析 | 20 |
| 2.6 本章小结 | 27 |
| 3 能源消费与经济增长..... | 28 |
| 3.1 理论基础 | 28 |
| 3.2 相关性研究 | 28 |
| 3.3 结果与分析 | 34 |
| 3.4 本章小结 | 35 |
| 4 结论和展望..... | 37 |
| 4.1 结论 | 37 |
| 4.2 展望 | 37 |
| 符号说明..... | 38 |
| 参考文献..... | 40 |
| 附录..... | 43 |
| 谢辞..... | 58 |
| 个人简历..... | 59 |

装
订
线

1 引言

1.1 生产方程的历史发展

在经济学中，生产方程（高鸿业，2011）是将生产过程中物理投入与物理产出结合起来的一系列理论，从而确定在既定生产条件下的边际产出和分配效率。作为主流新经典经济学的关键理论，生产方程的提出确立了经济学的核心目的。生产方程的主要目的是强调生产过程中生产要素的分配效率及其对各生产要素收入分配的影响。剑桥资本理论争议（Geoff Harcourt, 2003）中提到，总生产方程能够提供一个分辨宏观经济学中引起经济增长贡献因素重要性的理论框架，例如，资本累积、技术发展等因素。然而同时也存在一些非主流经济学家否认这一宏观经济学¹（Nicholas Gregory Mankiw & 梁小民，2012）总生产方程的存在。

生产方程最早由 Knut Wicksell（1907）提出，于 1900 至 1928 年间经由 Charles Cobb 和 Paul Douglas（1928）进行统计学验证确立。1927 年，Paul Douglas 第一次提出了 Cobb-Douglas 生产方程的最初形式。在为确立他对于劳动投入和物质资本计算结果的功能型方程的过程中，他与 Charles Cobb 交流，最终提出：

$$Y = AL^{\beta}K^{1-\beta} \quad (1.1)$$

上式（1.1）作为生产方程（Paul Douglas, 1976）。这一方程在经济学中被广泛用于表示两个及两个以上物理投入量之间的技术关系，成为个体经济学上用来描述生产函数的常用函数之一。这一形式在 1927 至 1947 年间被进一步的发展与验证：采用最小二乘估计，他得到了劳动投入指数为 0.75 的结果，这一结果也被美国国家经济研究局确认。并且两位学者在 1940 年发现劳动投入与物质资本的指数是允许变化的。

生产方程中呢这一指数被称作产出弹性，代表产出对于各个生产要素发生变化的反应能力。例如，如果：

$$\alpha = 0.45 \quad (1.2)$$

那么，上式（1.2）中 1% 物质资本的增长会导致 0.45% 总产出值的增长。在完全竞争市场中：

$$\alpha + \beta = 1 \quad (1.3)$$

那么 α 和 β 就可以表示总产出值中物质资本和劳动投入的分配情况。

Stela Tsani（2010）在对 1960 - 2006 希腊国内生产总值与能源消费数据的研究中发现能源消费与经济增长在宏观角度上存在同向因果关系，即总能源消费导致真实 GDP 的增长。相似的结论在对美国（John Kraft & Arthur Kraft, 1978），日本（Umit Erol & Eden Yu, 1990），台湾（Dennis Hwang & Burel Gum, 1991；Hao-yen Yang, 2001），上海（Yemane Wolde-Rufael, 2004）等国家和地区的研究中也被发现。Jaruwan Chontanawat（2006）等学者对 30 个经合组织成员国和 78 个

¹ 宏观经济学是一门使用国民收入、经济整体的投资和消费等总体性的统计概念来分析经济运行规律的一个经济学领域，主要研究一国经济总需求与总供给、经济周期与经济增长、国民收入总量及构成、人口与就业、货币与财政、经济预期与经济政策、国际贸易与国际经济等。

装订线

非经合组织成员国的时间序列数据进行了系统性分析与验证，发现台湾、香港、马来西亚、印度尼西亚多个国家能源消费与经济增长之间存在因果关系。这一发现在微观经济学角度对政策的制定提供了理论依据——为了实现既定社会目标而制定的对某些行业实施的政策支持不应由保持低效率、非生态的生产方式，而应通过提高能源效率而实现。

在上述研究的基础上，Giuseppe Di Vita（2007）在对宏观生态经济学的研究中，将生态元素融入讨论中进行了数理论证，并在论述中指出可耗竭资源与再生原料之间可替代性：在长期的平衡状态下，经济增长速率与技术可替代性不相关，但这一速率与废料回收存在相关性，并且再生原料的影响随着时间增长。对于可耗竭资源日益增长的需求和其资源的稀缺性使这一参量价格升高，促进资源再生的进程。文中采用标准 Cobb - Douglas 生产方程，其生产方程的数学表达式为：

$$Y = f(K, h, l_1, E_t, M) = K^{\alpha_1} (hl_1)^{\alpha_2} (E_P + \pi E_S)^{\alpha_3}, \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1 \quad (1.4)$$

产出值 Y 取决于三个参量：物理资本 K ，劳动投入 hl_1 ，以及能源资本 E_t 。其中， h 代表人力数量， l_1 代表投入生产的有效时间， E_P 代表后文中能源总量， E_S 代表再生资源。本文的理论研究与探索以此生产方程为基础展开。

1.2 经济热力学理论的历史发展

经济热力学中“统计熵”一词最早由 Roger Balian（1991）提出，并且仍然在很多理论研究中使用，通常被简称为“熵”。这里为了与避免与物理意义上的“熵”产生混淆，本文将文中的统计热力学熵统一称为“统计熵”，即当“熵”强调衡量概率分布意义上的不确定性或无序性时，被称为“统计熵”。

Ludwig Boltzmann（2015）提出其著名的表示系统无序性的玻尔兹曼关系式：

$$S = k \log W \quad (1.5)$$

其中， S 是宏观系统熵值， k 为玻尔兹曼常量， W 是理想气体 (N, V, E) 系统的微观状态数。玻尔兹曼公式对于自然规律研究与预测的实际意义在后期自然科学的发展中逐渐得到证实。吉布斯自由能（Josiah Willard Gibbs, 1967）的提出进一步将动态系统的平衡理论延伸到对于具有不同化学组成的分子行为规律的研究上。根据量子力学指出：一个处于热力学平衡的系统其行为可以使用巨正则系综的配分函数来描述：

$$Z = \langle \exp \left[-E + \sum_{j=1}^m \mu_j n_j \right] / (RT) \rangle \quad (1.6)$$

由于热力学理论本身是一门直接从观察与实验演化而来的现象科学，因此热力学定律可以直接被看作一个数学模型的公理，并且因为它是基于普遍观察的，这使这一规律普遍有效。同时值得一提的是，统计热力学理论激发了经济学领域中将热力学定律系统性的应用于科学经济学²（陈

² 科学经济学用科学方法从整体上研究人类经济活动的价值规律或经济规律，其核心是经济规律。在其看来，资源的优化配置与优化再生只是经济规律的展开和具体表现，经济学的对象应该是资源优化配置与优化再生后面的经济规律与经济本质，而不是停留在资源的优化配置与优化再生层面。要研究经济发展的规律就必须从整体上统

装订线

世清, 2010)中, 从而用来描述经济与金融系统。经典热力学理论激发了 Norbert Samuelson(1947) 经济分析中有关约束优化³和比较静态学⁴的著作。Lev Rozonoer (1973) 的泛化热理论也结合了热力学和经济学理论来推导有关资源分配的现象理论。Eric Smith & Duncan Foley (2008) 提出: “效用理论与热力学的相关性是基于一套具有连贯性的方法论, 而并非只是一系列的类比”。Juan Carlos Candeal (2001) 等学者也在所发表论文中对这一主张进行了证明: 效用理论的数理结构是与经典热力学中熵理论相同的。

Edwin Jaynes (1967) 基于信息理论中的信息熵⁵, 即以信息无序性的最大化趋势, 为基础对熵最大理论⁶(吴乃龙 & 袁素云, 1991) 进行统计建模及论证: 对随机事件的所有相容的预测中, 熵最大预测出现的概率占绝对优势。其后, Roderick Dewar (2000) 提出在非平衡系统中的熵最大理论: 隔离系统的热力学有最终趋于平衡的趋势, 趋于一种基于其系统组成的熵最大的状态; 而对于开放系统, 至少在处于稳态的系统也被发现存在一种熵最大产生的规律。达到稳态的熵最大系统是由路径信息熵的最大化产生的。也就是说, 对于几乎保持同一温度的稳态系统, 能量消散的速率呈现最大化趋势。上文所提到的路径信息熵可由下式 (1.7) 表示:

$$S_I = -\sum_{\Gamma} p_{\Gamma} \log p_{\Gamma} \quad (1.7)$$

Eric Smith & Duncan Foley (2008) 从统计热力学的角度诠释了市场的统计学平衡理论, 并证明了通过统计热力学和经典热力学进行经济学领域的理论探索是可行并且成果丰富的。也就是说, 统计学可以被看作应用概率论。这一从微观角度研究宏观物理系统的科学被称作统计物理学。在概率的应用理论方法中, 这一统计物理学的尝试已经展现优异成果, 并被应用于解决经济与金融领域问题。实际上, 目前很多以此为基础的社会研究中的财富分配模型已经相对成熟。Adrian Dragulescu & Victor Yakovenko (2001), Anirban Chakraborti & Bikas Chakrabarti (2005), Jean-Philippe Bouchaud & Marc Mézard (2000) 等对于多个国家真实经济数据的分析对这一模型进行验证, 结果显示: 多数社会的财富分配存在两个阶层, 可以由两种不同的概率分布来表示, 包含社会中 95% 个体的中低财富的人群呈现 Boltzmann-Gibbs 指数型概率分布, 而包含 5% 个体的富有人群阶层呈现 Pareto 幂定律概率分布, 并且同样的结果也在收入分配中被发现。Hernando Quevedo (2008) 等学者指出: 这一自然演化现象在计算机模拟中也反复得到证实, 因为系统的最终的平衡状态与 Boltzmann-Gibbs 概率分布有关。

一研究经济现象, 宏观经济与微观经济是统一的经济体中对称的两个方面, 所以在科学经济学范式框架中, 有宏观经济与微观经济之分, 没有宏观经济学与微观经济学之别。因此科学经济学也叫一般经济学或一般理论经济学。

³ 约束优化问题是在自变量满足约束条件的情况下目标函数最小化的问题, 其中约束条件既可以是等式约束也可以是不等式约束。

⁴ 比较静态学是经济学家用来比较和分析由外部因素控制的变量是怎么影响内部因素控制的变量的。例如, 在经济学中, 政府政策, 替代品和互补品的价格的变动 (外部因素) 影响了由企业和消费者决定的价格和数量 (内部因素) 的市场平衡点和原先没有受外部因素影响的平衡点的比较。

⁵ 1948 年, 香农提出了“信息熵”的概念, 才解决了对信息的量化度量问题。力学中的热熵是表示分子状态混乱程度的物理量。香农用信息熵的概念来描述信源的不确定度。

⁶ 最大熵原理通常出现在统计力学的概率分布, 或机器学习等自然语言处理体系规则编码中的应用。

Panagis Liossatos (2004) 提出从微观统计学角度出发推导出适用于经典热力学第二定律的理论。这一关联将个体经济人纳入可以由宏观系统经典热力学解释的范畴内，从而得到即使在缺失个体经纪人微观行为的条件下也能描述市场宏观性质和资源分配的方法。其中，宏观经济学变量以微观经济学变量的均值形式出现，可以由配分方程来确定。由统计熵描述的平衡状态，允许每个不同个体经济人具有可由不同配分方程来表示的不同的行为准则，从而导致宏观系统无序性最大的结果。市场的统计学模型将这一资源分配现象理论与经典热力学联系在一起，尤其在基于约束统计熵最大化定义的熵的最大值方程与其性质方面：子系统资源分配由全球经济熵的最大化来实现。全球经济熵的最大化也是资源分配现象理论的根本定律，统计学平衡决定宏观资源分配。

Jürgen Mimkes & Yuji Aruka (2004) 等学者尝试将自然科学与经济学跨学科联系起来，后者在所发表的文章中提出经济增长源于生产循环，并以卡诺循环为例解释经济增长规律，其数学推导与上文中统计热力学在经济领域中的常见方法相似：

$$\delta q = \lambda d\xi \quad (1.8)$$

其中：

$$\lambda = T \quad (1.9)$$

表示平均价格水平；而表示随机系统的复杂程度的统计熵函数 S 由概率函数而决定：

$$\xi = S = \ln P = \ln \frac{N!}{N_1! N_2! N_3!} \quad (1.10)$$

并且基于热力学第二定律的熵函数与基于Cobb-Douglas生产方程 U 增长曲线相去无几：

$$\xi = U = \ln P = A(x^\alpha y^\beta z^\gamma) \quad (1.11)$$

文章得出与上文描述财富分布的相似结论：多数中低财富人遵循 Boltzmann-Gibbs 概率分布，而少数富人呈现 Pareto 概率分布。

本文的研究目的为采用真实数据尝试对上述生产函数进行回归运算，并且对环太平洋地区主要经济体碳能源消费曲线的变化规律与真实 GDP 增长曲线相关性进行分析研究。

1.3 经济热力学的社会经济意义

Alastair Jenkins (2005) 从宏观角度定性描述了经济热力学在生态与经济系统中人类社会经济学行为规律：1. 有机生物通常呈现较高的有序性，然而这一有序性是通过消耗低熵值的能源并产出高熵值的废物来维持的；2. 人类社会的出现，不仅仅导致因其演生的生产活动中加速了熵的升高速率（熵值随人口、生产效率的升高而增加），人类对于火和工具的使用也提高了人类扩大农业与畜牧业的能力，更极度的加快了能量消耗的扩散的速率；3. 熵不仅仅在能源使用的层面上，还在地球系统内物质的分布的改变过程中升高——燃烧过程产物的扩散、农业中化学物质在土壤中的喷洒、工业产品的废弃等、煤矿与金属矿石资源的开采与丢弃等过程虽然经人类加工后也许会呈现熵值降低的更佳有序的形式，然而这些物质会回归的以更加无序的形态回归地球系统；4. 交通领域的技术革命在其发展中就体现了熵的增加，而由之产生的运输能力的提高与经济交流的繁荣更在很大程度上进一步的催化了这一过程，也就是说，能量扩散能力的提高导致了熵的增加。

Geir Asheim (1986) 指出哈特卫克规则在使用可再生能源和不可再生能源作为经济生产基础的模型研究对比中得出：如果要达到可持续发展，一定水平的消耗可以由将除能源之外的其他形

式的资源重新投入到经济市场中，作为所消耗能源的替代品。David Stern（2004）也提出能源与资本在促进经济增长中相似的可代替性，并称：“可持续发展只有在社会投资重组的资本来替代所消耗的自然资源的情况下才有可能实现。” Alastair Jenkins（2005）也提出相似的观点：“将废弃的二氧化碳储存入地下来补偿消耗的油和气这一方法在熵产生的这一角度来看是可行的，然而要将这一观点应用于实际政治经济的操作中是非常困难的，因为确定价格必须要考虑到所消耗的可持续成本这一过程就非常困难，因此大部分生态经济学家偏向于专注于经济的物质成本”。

Panagis Liossatos（2004）通过数理推导论证了社会中的政治力并不仅仅取决于经济资源，其还与利于熵产生的自然能量与物质资源有关。研究发现工业生产对于不同激励的反馈是不同的，比利说，二氧化碳排放税政策在减排方面就不会非常有效，然而对于研究与发展的刺激就非常有效。诸如后者的此类政策可以被视为影响“反映动力”的“催化剂”，也就是说，从热力学的角度来看政策的颁布，要确保其符合热力学规律，并且减少可能抑制某种转变的限制。这一结论通过将统计热力学方法应用于经济物理学中复杂经济系统的统计学性质中而得出，结果发现经济学系统的所有性质在原则上都能够通过配分方程来表达与推导，从而这一系统的所有热力学性质都可由此得出。假设这一系统由 N 个分配总资本 M 中的一部分 m 数量价值的个体经济人组成，在真实经济系统中，经济人的数量极大，所以通常可以假定 $N \rightarrow \infty$ ，由此得出 Boltzmann-Gibbs 分布密度方程：

$$\rho(\bar{\lambda}) = \frac{e^{-m(\bar{\lambda})/T}}{Q(T, \bar{x})} \quad (1.12)$$

其中， $\rho(\bar{\lambda})$ 为处于 $\bar{\lambda}$ 微观状态的个体在总体中的密度， T 为平均价格水平， m 为个体收入水平， $\bar{\lambda}$ 为该个体所在微观经济系统的所有状态条件的集合。对上述分布方程归一化可以得到配分方程：

$$Q(T, \bar{x}) = \int e^{-m(\bar{\lambda})/T} d\bar{\lambda} \quad (1.13)$$

其中 \bar{x} 为可能出现的宏观经济系统状态条件组， $Q(T, \bar{x})$ 为该宏观系统的配分方程。由于温度与熵的定义与统计学中的概念相符合，因此热力学中的其他定律也同样有效。事实上，探究一个经济系统模型只需要将守恒量的决定因素公式化，即可计算配分方程 $Q(T, \bar{x})$ 和自由价值：

$$f := \langle m \rangle - TS = -T \ln Q(T, \bar{x}) \quad (1.14)$$

其统计学表现形式为赫姆霍兹自由能。其中，关于平均价值 $\langle m \rangle$ 的统计热力学方程，可由均值方程的一般形式来推导：

$$\langle g \rangle = \int g \rho d\bar{\lambda} = \frac{1}{Q(T, \bar{x})} \int g e^{-m(\bar{\lambda})/T} d\bar{\lambda} \quad (1.15)$$

得到：

$$d\langle m \rangle = TdS - \sum_{i=1}^n y_i dx_i \quad (1.16)$$

由此可得出关于某特定经济系统的完整统计热力学信息，其中包括包括宏观经济学参量决定的符合经典热力学的热力学变量。

Panagis Liossatos（2004）基于 Eric Smith & Duncan Foley（2008）的理论建立了以下方法，从而验证基于统计热力学的宏观资源分配符合经济体的熵函数：

$$S(p_1, \dots, p_n) := -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (1.17)$$

其中, n 为微观状态数, p_1, \dots, p_n 为各微观状态数对应的概率。假设各微观状态均一分布, 则有:

$$S(1/n, \dots, 1/n) := k \ln n \quad (1.18)$$

又因该方程具有可加性, 推导出由子系统 I 、 J 组成的系统熵函数为:

$$S(p^I * p^J) = S(p^I) + S(p^J) = -k \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j p_{ij} \ln p_{ij} \quad (1.19)$$

$$p_{ij} = p_i^I * p_j^J \quad (1.20)$$

其中, i 、 j 分别为子系统 I 、 J 中的微观状态数。假设:

$$p_i^I = 1/i \quad (1.21)$$

$$p_j^J = 1/j \quad (1.22)$$

可得:

$$S(p^I * p^J) = S(p^I) + S(p^J) = -k \ln(ij) \quad (1.23)$$

由此, 统计熵最大原理则变成了下列数学过程, 即在:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (1.24)$$

约束条件下的最大值问题:

$$\max[-\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i] \quad (1.25)$$

下面以一个系统为例阐述上述问题。现有总量为 M 的资本, 需分配到存在 n 种不同类型的 N 个个体经济人手中, 其中:

$$N_1 + \dots + N_n = N \quad (1.26)$$

$$\sum_m p^i(m) = 1, \quad i = 1, \dots, I. \quad (1.27)$$

上式 (1.27) 中 m 为资本分配量。因此人均资本分配量为 m 据个体经济人数量加和, 推得总资本为:

$$\sum_{i=1}^I N_i \sum_m p^i(m) m \quad (1.28)$$

与其对应的统计学熵即为:

$$S(p) := -\sum_{i=1}^I N_i \sum_m p^i(m) \ln p^i(m) \quad (1.29)$$

据此可根据经济体中资本分配的不同, 对总人口 N 的资本分配进行统计学熵值的计算。

上述经验主义以及理论推导的探索在当今社会可持续发展背景下对于政策制定有指导性意义。自工业革命以来, 蒸汽机的发明而标志的机器时代的到来导致人类对矿石燃料的需求升高。这不但强力地激发了煤矿产业的快速发展, 还带来了交通产业的发展, 以及人口与货物的流动能力。接着, 通讯联络、信息行业的革命为人类社会与经济带来信息流动性, 进一步的促进了全球贸易与生产力的大幅增长。也就是说, 传统农业时代的经济动态平衡被打破, 全球经济与能源系统动力激增。然而, 煤炭、石油、天然气等化石能源在支撑了人类文明自 19 世纪至 20 世纪生产能力的进步和经济社会发展的同时, 也带来了地球自然生态的巨大消耗与对其系统平衡的破坏,

威胁人类的生存。其中，二氧化碳在所有温室气体中占用比例最高，寿命年限较长，而且是化学惰性的，不能通过光化学或化学作用去除，也是导致全球变暖、病虫害增加、海平面上升、土地沙漠化等环境问题的元凶。根据《2016-2022 年中国二氧化碳市场分析与发展前景预测报告》表示：全球气候形式日益严峻，直至 2014 年能源产生的二氧化碳排放量达到约 323 亿吨，创下历史新纪录。而其中，碳排放总量最大的国家为我国，总量达 104 亿吨，占全球 29%。2015 年全球碳排放达到 362 亿吨，人均达到 4.9 吨碳排放。据中石油经济技术研究院发布的《2050 年世界与中国能源展望》预测：在未来 35 年内，全球能源消费强度将逐步下降；全球一次能源消费量将在 2045 年达到接近 167 亿吨油当量的峰值，之后缓慢回落；2015-2020 年能源消费量年均增长 1.6%；2020-2050 年每 5 年的年均增长率分别为 1.2%、0.9%、0.5%、0.2%、0.0%、-0.2%；全球化石能源消费将在 2035 年左右进入高位平台期，达到 135 亿吨油当量；同时，由于在能源发展中能源效率将持续提高，并且全球能源消费结构也将日趋清洁化，全球与能源相关的所有二氧化碳排放将在 2030-2035 年达到峰值 410 亿吨，并停止增长。在全球气候变化的背景下，节能减排成为世界各国的首要任务。然而，如何在有效减少二氧化碳排放的同时保持经济增长，一直是全球对能源与环境保护政策的首要疑虑。因此，对于生产方程研究的重要性在于其对于经济发展因素定量描述的能力。而对于促进经济增长的因素进行定量研究，能够帮助决策者在制定政策时具有对计划经济结构性、系统性的参考，从而作出即符合可持续发展原则又更加科学的决策。

1.4 本文所作的工作

本文的研究内容包含：用真实数据对生产方程进行回归分析，探究能源消费与经济增长之间的相关性。本文的研究内容分为三个章节呈现。第二章将通过对各宏观经济数据及其来源的分析比较对宏观经济生产方程进行回归运算，确定环太平洋地区主要经济体的资本产出弹性。并对生产方程进行系数敏感度分析，以了解实际数据对生产方程回归分析结果的影响。在第二章工作的基础上，第三章进一步对能源消费与经济增长进行了相关性分析与讨论。并在第四章中为研究作出总结与未来展望。

2 生产方程回归分析

2.1 生产方程相关理论介绍

根据上文 1.2 中表述，三要素的标准生产方程的表达形式可总结为：

$$Y = f(K, L, E_t) = AK^\alpha L^\beta E_t^\gamma \quad (2.1)$$

其中能源消费为本文的主题，所以研究主要在能源资本参数方面展开。因此，本文研究方法选用 Giuseppe Di Vita (2007) 提出的三要素标准生产方程变式。为简化运算，假设经济体中主要能源资本不包含再生原料：

$$Y = f(K, h, l_1, E_p) = AK^\alpha (hl_1)^\beta E_p^\gamma \quad (2.2)$$

为简化分析模型，假设文中所研究的七大经济体为完全竞争市场，即有：

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (2.3)$$

2.2 相关参数的选择与确定

本文数据选取延续 Jaruwan Chontanawat (2006) 及 Stela Tsani (2010) 文中方法。其中，试验周期由于数据的可获取性而确定为 1991–2013 年。文中参数的单位均统一为固定购买力平价汇率的美元数据，详细原始数据可见附录。各参数的确定延续 Chien-Chiang Lee & Chun-Ping Chang (2007) 的方法：考虑到货币价值波动，本文采用年人均购买力平价国内生产总值 GDP 作为产出值 Y ，年人均资本形成总额作为物质资本 K 。其中，为消除因汇率波动与通货膨胀而导致的购买力变化的影响，人均 GDP 采用取自世界银行 World Development Indicators (WDI) 中单位为基于 2011 年固定购买力平价汇率的美元数据⁷。物质资本 K 的确定则因考虑到其统计的复杂性，基于前期学者 Subhash Sharma & Dharmendra Dhakal (1994), Farrokh Nourzad (2000), Shyamal Paul & Rabindra Bhattacharya (2004) 等建立的方法，采用实际年人均资本形成总额作为资本存量代理。实际年人均资本形成总额则通过世界银行 WDI 中资本形成总额占国内生产总值比例⁸与年人均 GDP 进行计算。

其中，能源资本 E_p 以年人均能源消费量中不可再生能源消费总量 E_i 、可再生能源消费总量 E_r 、其他能源消费 E_o 之和计。

$$E_p = E_i + E_r + E_o \quad (2.4)$$

由于可获取数据的有限性，本文对原始数据进行以下处理，从而得到 E_i 、 E_r 、 E_o 的近似值：

⁷ 数据选自 World Bank, World Development Indicators, GDP per capita, PPP (constant 2011 international \$); 数据来源: International Comparison Program database.

⁸ 数据选自 World Bank, World Development Indicators, Gross capital formation (% of GDP); 数据来源: World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files.

$$E_i = \text{不可再生能源消费量}^9 \times \text{国际原油价格}^{10} \quad (2.5)$$

$$E_r = \text{可再生能源电力产值}^{11} / \text{总人口}^{12} \times \text{电力价格} \quad (2.6)$$

其他能源消费主要由核电与水电组成，具体计算方法由下式（2.7）表示：

$$E_o = (\text{水电产值}^{13} + \text{核电产值}^{14}) / \text{总人口} \times \text{电力价格} \quad (2.7)$$

其中，电力价格统计为下表：

表 2-1 环太平洋主要国家电费数据

| 国家 | 平均电费（美元 / 千瓦时） | 数据年限 |
|------|--------------------|------|
| 澳大利亚 | 21.5 ¹⁵ | 2016 |
| 加拿大 | 14.6 ¹⁶ | 2014 |
| 中国 | 4.25 ¹⁷ | 2014 |
| 日本 | 22.0 ¹⁸ | 2011 |
| 韩国 | 22.7 ¹⁹ | 2013 |
| 俄罗斯 | 8.2 ²⁰ | 2011 |
| 美国 | 12.5 ²¹ | 2012 |

⁹ 数据选自 World Bank, World Development Indicators, Energy use (kg of oil equivalent per capita); 数据来源: IEA Statistics.

¹⁰ 数据选自 World Bank, Global Economic Monitor (GEM).

¹¹ 数据选自 World Bank, World Development Indicators, Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (kWh); 数据来源: IEA Statistics.

¹² 数据选自 World Bank, World Development Indicators, Population, total; 数据来源: World Population Prospects; Census reports; Eurostat: Demographic Statistics; Population and Vital Statistics Report (various years); U.S. Census Bureau: International Database; Secretariat of the Pacific Community: Statistics and Demography Programme.

¹³ 数据选自 World Bank, World Development Indicators, Electricity production from hydroelectric sources (% of total); 数据来源: IEA Statistics.

¹⁴ 数据选自 World Bank, World Development Indicators, Electricity production from nuclear sources (% of total); 数据来源: IEA Statistics.

¹⁵ 数据选自 SA RESIDENTIAL Energy Price Fact Sheet (PDF). Origin Energy. 12 December 2016.

¹⁶ 数据选自 Consultations prébudgétaires 2017-2018 - Ministère des Finances du Québec.

¹⁷ 数据源于国家能源局《2013-2014 年度全国电力企业价格情况监管通报》。

¹⁸ 数据选自 the Japan Times, Utilities have monopoly on power; 数据来源 the Agency for Natural Resources and Energy

¹⁹ 数据选自韩国电力公司- KEPCO - (Residential Service).

²⁰ 数据选自 Europe's Energy Portal, Energy Price Report.

²¹ 数据选自 U.S. Energy Information Administration, Electric Power Monthly Average Retail Price of Electricity.

上述国际原油价格、电力价格由单一年度数据通过 Consumer Price Index²²推算而得，但这一方法也同时消除了汇率波动与通货膨胀而导致购买力变化的影响。

同理，根据数据来源以及计算方法的不同，本文将生活成本原始数据总结如下表：

表 2-2 环太平洋主要国家基本生活成本

| 国家 | 生活成本 1 | 生活成本 2 ²³ | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 ²⁴ |
|------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| 澳大利亚 | 1468.9 ²⁵ 欧元 / 月 | 1530 欧元 / 月 | 26280 ²⁶ 美元 / 年 | 2095 欧元 / 月 |
| 加拿大 | 19.62 ²⁷ 加元 / 时 | 1060 欧元 / 月 | 17432 ²⁸ 美元 / 年 | 1430 欧元 / 月 |
| 中国 | 1.38 ²⁹ 美元 / 时 | 460 欧元 / 月 | 1927 ³⁰ 美元 / 年 | 155 欧元 / 月 |
| 日本 | 1090 ³¹ 欧元 / 月 | - | 12269 ³² 美元 / 年 | 1087 欧元 / 月 |
| 韩国 | 820 ³³ 欧元 / 月 | - | 11897 ³⁴ 美元 / 年 | 563 欧元 / 月 |
| 俄罗斯 | 366.3 ³⁵ 欧元 / 月 | 520 欧元 / 月 | 1222 ³⁶ 美元 / 年 | 127 欧元 / 月 |
| 美国 | 15.84 ³⁷ 美元 / 时 | 880 欧元 / 月 | 15080 ³⁸ 美元 / 年 | 960 欧元 / 月 |

注：2013 年加元对美元为 1.03，2014 年欧元对美元为 0.75。

²² 数据选自 World Bank, World Development Indicators, Consumer price index; 数据来源: IMFund.

²³ 数据选自 Guzi M. Estimating a Living Wage Globally[C]// Living out of stereotypes. 2014.

²⁴ 数据选自 Guzi M. Estimating a Living Wage Globally[C]// Living out of stereotypes. 2014.

²⁵ 数据选自 Wageindicator Foundation, Monthly living wages for typical families in high income countries compared with minimum wages and actual wages, 2016.

²⁶ 数据选自 Fair Work Ombudsman, Minimum Wages, Australian Government, retrieved 24 January 2016.

²⁷ 数据选自 Canada Without Poverty, A living wage: incomes that reflect actual costs of living, 2013.

²⁸ 数据选自 Government of Canada, Current And Forthcoming Minimum Hourly Wage Rates For Experienced Adult Workers in Canada.

²⁹ 数据选自 Anker R. Living wages around the world: A new methodology and internationally comparable estimates[J]. International Labour Review, 2006, 145(4):309-338.

³⁰ 数据选自《最低工资规定》。

³¹ 数据选自 Guzi M. Estimating a Living Wage Globally[C]// Living out of stereotypes. 2014.

³² 数据选自 Guzi M. Estimating a Living Wage Globally[C]// Living out of stereotypes. 2014. 数据选自 Ministry of Health, Labour and Welfare, National List of Minimum Wages by industry, 2016.

³³ 数据选自 Guzi M. Estimating a Living Wage Globally[C]// Living out of stereotypes. 2014.

³⁴ 数据来源 Republic of Korea, Minimum Wage Commission.

³⁵ 数据选自 Monthly living wages for typical families in high income countries compared with minimum wages and actual wages; 数据来源: Wageindicator Foundation .

³⁶ 数据选自 Government of Russia, The minimum wage will increase up to 7,500 roubles since July 1, 2016.

³⁷ 数据选自 Living Wage Calculator, Results from the 2016 Data Update.

³⁸ 数据选自 Georgia Department of Labor, Minimum Wage Change. 2013.

由于本文对于生产过程的讨论是基于经济学作为社会稳定的上层建筑的基本认识而进行的，也就是说，每个人的基本生活需要受到保障。因此维持生产及推动经济增长的劳动投入在于人均收入与基本生活成本的净差值（Min Huang, 2017）。因此，本文中采用人均净国民收入³⁹与生活成本的差值计算劳动投入 L 。其中，生活成本也同理由单一年度数据通过 Consumer Price Index 推算而得。由此根据上述确立的方法分别对澳大利亚、加拿大、中国、日本、韩国、俄罗斯七国劳动投入 L 的进行估算。

2.3 生产方程回归计算方法的确定

文中对于生产方程的研究基于对中国、美国、加拿大、澳大利亚、日本、韩国与俄罗斯——环太平洋 7 大主要经济体时间序列数据的分析。通过产出值 Y ，能源资本 E_p ，物质资本 K 和劳动投入 L ，四个主要参数基于如下生产方程以矩阵运算做回归分析：

$$Y = A \times K^\alpha \times L^\beta \times E_p^\gamma \quad (2.8)$$

并在确定各主要参数的取值后，基于式 (2.5) 中生产方程取自然对数，得到：

$$v = \alpha x + \beta y + \gamma z + u \quad (2.9)$$

其中：

$$v = \ln(Y) \quad (2.9)$$

$$u = \ln(A) \quad (2.10)$$

为进行进一步生产方程的回归运算，对各系数求导，并根据极值时，导数为 0 得到下列方程：

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial \alpha} = \sum_{n=1}^N 2(v_n - (\alpha x_n + \beta y_n + \gamma z_n u)) \cdot (-x_n) = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \beta} = \sum_{n=1}^N 2(v_n - (\alpha x_n + \beta y_n + \gamma z_n u)) \cdot (-y_n) = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \gamma} = \sum_{n=1}^N 2(v_n - (\alpha x_n + \beta y_n + \gamma z_n u)) \cdot (-z_n) = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial u} = \sum_{n=1}^N 2(v_n - (\alpha x_n + \beta y_n + \gamma z_n u)) \cdot (-1) = 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

从而进行矩阵运算：

³⁹ 数据选自 World Bank, World Development Indicators, Adjusted net national income per capita (current US\$); 数据经世界银行 Price level ratio of PPP conversion factor (GDP) to market exchange rate 校正。

$$\begin{cases} \left(\sum_{n=1}^N x_n^2\right)\alpha + \left(\sum_{n=1}^N x_n y_n\right)\beta + \left(\sum_{n=1}^N x_n z_n\right)\gamma + \left(\sum_{n=1}^N x_n\right)u = \left(\sum_{n=1}^N x_n v_n\right) \\ \left(\sum_{n=1}^N x_n y_n\right)\alpha + \left(\sum_{n=1}^N y_n^2\right)\beta + \left(\sum_{n=1}^N y_n z_n\right)\gamma + \left(\sum_{n=1}^N y_n\right)u = \left(\sum_{n=1}^N y_n v_n\right) \\ \left(\sum_{n=1}^N x_n z_n\right)\alpha + \left(\sum_{n=1}^N y_n z_n\right)\beta + \left(\sum_{n=1}^N z_n^2\right)\gamma + \left(\sum_{n=1}^N z_n\right)u = \left(\sum_{n=1}^N z_n v_n\right) \\ \left(\sum_{n=1}^N x_n\right)\alpha + \left(\sum_{n=1}^N y_n\right)\beta + \left(\sum_{n=1}^N z_n\right)\gamma + \left(\sum_{n=1}^N 1\right)u = \left(\sum_{n=1}^N v_n\right) \end{cases} \quad (2.12)$$

可得到结果：

$$\begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N x_n^2 & \sum_{n=1}^N x_n y_n & \sum_{n=1}^N x_n z_n & \sum_{n=1}^N x_n \\ \sum_{n=1}^N x_n y_n & \sum_{n=1}^N y_n^2 & \sum_{n=1}^N y_n z_n & \sum_{n=1}^N y_n \\ \sum_{n=1}^N x_n z_n & \sum_{n=1}^N y_n z_n & \sum_{n=1}^N z_n^2 & \sum_{n=1}^N z_n \\ \sum_{n=1}^N x_n & \sum_{n=1}^N y_n & \sum_{n=1}^N z_n & \sum_{n=1}^N 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N x_n v_n \\ \sum_{n=1}^N y_n v_n \\ \sum_{n=1}^N z_n v_n \\ \sum_{n=1}^N v_n \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

再通过转置矩阵运算：

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ u \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N x_n^2 & \sum_{n=1}^N x_n y_n & \sum_{n=1}^N x_n z_n & \sum_{n=1}^N x_n \\ \sum_{n=1}^N x_n y_n & \sum_{n=1}^N y_n^2 & \sum_{n=1}^N y_n z_n & \sum_{n=1}^N y_n \\ \sum_{n=1}^N x_n z_n & \sum_{n=1}^N y_n z_n & \sum_{n=1}^N z_n^2 & \sum_{n=1}^N z_n \\ \sum_{n=1}^N x_n & \sum_{n=1}^N y_n & \sum_{n=1}^N z_n & \sum_{n=1}^N 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N x_n v_n \\ \sum_{n=1}^N y_n v_n \\ \sum_{n=1}^N z_n v_n \\ \sum_{n=1}^N v_n \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

可得到：

$$\min \left\{ f(\alpha, \beta, \gamma, u) = \sum_{n=1}^N (v_n - (\alpha x_n + \beta y_n + \gamma z_n + u))^2 \right\} \quad (2.15)$$

从而得到生产方程系数。接着对以上回归分析结果进行归一化处理，得到：

$$Y^w = A' \times K^{\alpha'} \times L^{\beta'} \times E_p^{\gamma'} \quad (2.16)$$

为计算出在约束条件：

$$\alpha' + \beta' + \gamma' = 1.0 \quad (2.17)$$

前提下的生产方程标准系数 A_0 :

$$A' = A_0^w \quad (2.18)$$

本文对式 (2.16) 进行以下转换:

$$Y^{w-1} \times Y = A_0^{w-1} \times (A_0 \times K^{\alpha'} \times L^{\beta'} \times E^{\gamma'}) \quad (2.19)$$

因此可得:

$$A = A_0 \quad (2.20)$$

考虑到所研究 7 个国家的经济发展程度, 本文首先以美国为参考采用以上方法作回归分析, 得到:

表 2-3 美国生产方程标准产出弹性 (未校正)

| 标准产出弹性 | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| α' | 0.476 | 0.453 | 0.457 | 0.451 |
| β' | 0.515 | 0.543 | 0.539 | 0.546 |
| γ' | 0.009 | 0.003 | 0.004 | 0.003 |

初步结果符合预期, 物质资本与劳动投入比接近 1:1。为提高计算的准确性与结果的真实性和真实性, 本文根据结果进一步校正由每年住房成本的变化带来的偏差:

$$L' = L - H \quad (2.21)$$

其中, H 为由房租支出产生的住房成本的年平均值, 具体由单一年度房租数据通过 House Price Index⁴⁰ 推算。原始数据如下:

表 2-4 环太平洋主要国家住房成本

| 国家 | 房租支出 ⁴¹ |
|------|--------------------|
| 澳大利亚 | 754.2 欧元 / 月 |
| 加拿大 | 538.0 欧元 / 月 |
| 中国 | 206.2 欧元 / 月 |
| 日本 | 492.8 美元 / 月 |
| 韩国 | 370.1 美元 / 月 |
| 俄罗斯 | 219.4 欧元 / 月 |
| 美国 | 497.9 欧元 / 月 |

注: 2014 年欧元对美元汇率为 0.75。

经住房成本数据校正的劳动投入数据重新对生产方程进行回归分析计算, 得到结果与校正前结果相比与理论值更加接近:

⁴⁰ 数据选自 OECD Analytical House Price database, Real house prices.

⁴¹ 欧元数据选自 Wageindicator Foundation, 2014; 美元数据选自 NUMBEO, Cost of Living, 2016.

表 2-5 美国生产方程标准产出弹性（经住房成本校正）

| | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| α' | 0.479 | 0.457 | 0.458 | 0.458 |
| β' | 0.490 | 0.523 | 0.521 | 0.521 |
| γ' | 0.030 | 0.020 | 0.020 | 0.020 |

因此，在下文中对环太平洋地区其他国家的回归分析中也使用各国住房成本进行校正后的生活成本计算。

2.4 环太平洋其他主要国家回归分析

本小节根据 2.3 中确立的方法对澳大利亚、加拿大、中国、日本、韩国、俄罗斯进行回归分析，得到以下结果：

表 2-6 澳大利亚生产方程标准产出弹性（经校正）

| | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| α' | 0.806 | 0.537 | 0.455 | 0.683 |
| β' | 0.071 | 0.198 | 0.277 | 0.088 |
| γ' | 0.122 | 0.265 | 0.268 | 0.229 |

表 2-7 加拿大生产方程标准产出弹性（经校正）

| | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| α' | 0.821 | 0.645 | 0.640 | 0.734 |
| β' | 0.067 | 0.381 | 0.388 | 0.258 |
| γ' | 0.112 | -0.026 | -0.028 | 0.008 |

表 2-8 中国生产方程标准产出弹性（经校正）

| | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| α' | 0.854 | 0.906 | 0.858 | 0.815 |
| β' | 0.113 | 0.062 | 0.109 | 0.133 |
| γ' | 0.033 | 0.032 | 0.033 | 0.052 |

表 2-9 日本生产方程标准产出弹性（经校正）

| | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| α' | 0.505 | - | 0.468 | 0.505 |
| β' | 0.430 | - | 0.480 | 0.430 |
| γ' | 0.065 | - | 0.053 | 0.065 |

表 2-10 韩国生产方程标准产出弹性（经校正）

| | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| α' | -0.005 | - | -0.003 | 0.034 |
| β' | 0.998 | - | 0.997 | 0.973 |
| γ' | 0.007 | - | 0.006 | -0.007 |

表 2-11 俄罗斯生产方程标准产出弹性（经校正）

| | 生活成本 1 | Living wage 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----------|--------|---------------|--------|--------|
| α' | 0.219 | 0.204 | 0.227 | 0.229 |
| β' | 0.285 | 0.267 | 0.293 | 0.298 |
| γ' | 0.496 | 0.528 | 0.480 | 0.476 |

根据上述结果中显示的各国经济增长指数分配情况，可以大体将上述七国以支撑资本分为两种不同类型：人力型国家与资源型国家，美国、中国、日本、韩国为人力型国家，澳大利亚、加拿大、俄罗斯以资源型经济为主。其中，美国、日本和俄罗斯的物质资本与劳动投入分配则更加接近等值分布。但与此同时，俄罗斯资本分配具有其独特性，能源资本指数高达约 0.5。韩国在本文对环太平洋 7 大主要经济体的案例研究中是唯一几乎以劳动投入带动全部经济增长的国家，本文推测这一现象与其国家以文化、娱乐与高科技产业为支柱的国家产业结构有关。

2.5 回归结果敏感度分析

为避免现行货币汇率对于比较人民生活水平产生的误导，前文由于本文采用年人均购买力平价 GDP 进行回归运算。但考虑到货币购买力极大的取决于市场供需平衡，以此为指标的经济增长可能会与真实经济增长之间存在误差，所以本小结采用实际年人均 GDP⁴² 进行回归运算进行对比。其中，除俄罗斯以生活成本 1 组数据做为生活成本进行回归分析存在较大误差外，其他六国所得的资本分配指数均基本保持不变。在下一阶段的分析中，本文将根据这一结果将反常现象不纳入分析范围。但这里更加值得注意的是，根据 Y 取值的不同，所得生产方程的总系数 A 存在较大波动。本文根据以下方法分别使用年人均购买力平价 GDP 与实际年人均 GDP 进行计算所得方程系数 A₀ 的结果。分析结果发现，根据购买力平价 GDP 与以人均实际 GDP 数据进行计算所得生产方程标准系数所得结果对比，波动范围更小，所得结果更优。

表 2-12 环太平洋主要国家基于人均购买力平价 GDP 的生产方程标准系数

| 国家 | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 澳大利亚 | 403.8 | 1550.2 | 1659.5 | 1281.1 |
| 加拿大 | 1246.6 | 933.6 | 920.0 | 1031.5 |

⁴² 数据选自 World Bank, World Development Indicators, GDP per capita (constant 2010 US\$); 数据来源: International Comparison Program database.

装订线

续表 2-12

| 国家 | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| 中国 | 4.02 | 5.03 | 4.06 | 3.45 |
| 日本 | 1375.0 | - | 992.0 | 1370.0 |
| 韩国 | 25.1 | - | 24.3 | 13.1 |
| 俄罗斯 | 466.9 | 512.2 | 433.0 | 438.4 |
| 美国 | 303.7 | 162.5 | 168.7 | 168.6 |

作为对比，下面基于年人均实际 GDP 对于生产方程系数进行相同处理，来估算各国不同生活成本选值下的标准系数：

表 2-13 环太平洋主要国家基于实际 GDP 的生产方程标准系数

| 国家 | 生活成本 1 | 生活成本 2 | 最低薪资 1 | 最低薪资 2 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 澳大利亚 | 462.2 | 1860.8 | 2007.4 | 1514.3 |
| 加拿大 | 1376.4 | 1046.6 | 1031.7 | 1149.2 |
| 中国 | 3.44 | 4.40 | 3.49 | 2.62 |
| 日本 | 1648.5 | - | 1189.1 | 1642.5 |
| 韩国 | 18.2 | - | 17.7 | 9.61 |
| 俄罗斯 | 265.6 | 253.6 | 221.5 | 219.3 |
| 美国 | 299.1 | 160.1 | 166.1 | 166.0 |

本小节在对于数据分析结果的优劣有一定的掌握的基础上，基于结果的可参考度筛选较优结果，并以资源型与人力型国家将环太平洋地区主要经济体进行分类与对比。

表 2-14 环太平洋主要资源型国家生产方程标准产出弹性与标准系数

| 国家 | A_0 | α' | β' | γ' |
|------|--------|-----------|----------|-----------|
| 澳大利亚 | 1550.2 | 0.806 | 0.071 | 0.122 |
| 加拿大 | 1246.6 | 0.821 | 0.067 | 0.112 |
| 俄罗斯 | 443.0 | 0.227 | 0.293 | 0.480 |

从以上结果中可以看到，本文中三个资源型国家能源资本与劳动投入的分配比例均约为 2:1，也就是说能源资本在生产总值中比劳动投入具有更大的贡献价值。三个国家中，俄罗斯与澳大利亚和加拿大两国略有不同——与劳动投入和物质资本相比，其能源资本分配占生产总值中的主要成分。然而澳大利亚、加拿大还是主要以物质资本注入与累积来支撑经济增长。

装订线

表 2-15 环太平洋主要人力型国家生产方程标准产出弹性与标准系数

| 国家 | A_0 | α' | β' | γ' |
|----|-------|-----------|----------|-----------|
| 中国 | 4.06 | 0.858 | 0.109 | 0.033 |
| 日本 | 992.0 | 0.468 | 0.480 | 0.053 |
| 韩国 | 24.3 | -0.003 | 0.997 | 0.006 |
| 美国 | 303.7 | 0.479 | 0.490 | 0.030 |

相反的，本文中四个人力型国家劳动投入则比能源资本在生产总值中占更高配比。其中，日本与美国经济分配模式相似，物质资本与劳动投入配比均衡。然而，中国则与表 2-13 中澳大利亚、加拿大相似，其经济增长极大依赖于物质资本。韩国则与上述六国均不同，不符合一般规律——其国家生产总值的增长几乎全部依靠劳动投入来支撑，并且物质资本配比接近于零。以上结果不仅为今后理解各国经济结构提供了经数据验证得到的理论依据，还定量的确定了能源资本与能源消费对各国经济增长影响的重要程度，并为下文进一步的探索提供了理论基础。

为进一步探究生产方程标准系数的意义，本文将上文所得标准系数与国家生产效率做对比。由于数据的有限性，本文采取环太平洋七个国家的计算结果进行对比。其中，国家生产效率采用每工时购买力平价 GDP⁴³来衡量。同理，这一分析分为资源型与人力型两类国家展开，并总结如下：

表 2-16 环太平洋主要资源型国家生产方程标准系数与国家生产效率对比表

| 国家 | A_0 | 国家生产效率 |
|------|--------|--------|
| 澳大利亚 | 1550.2 | 55.87 |
| 加拿大 | 1246.6 | 50.29 |
| 俄罗斯 | 443.0 | 19.70 |

资源型国家表格中显示的生产方程标准系数与生产效率呈正相关。

表 2-17 环太平洋主要人力型国家生产方程标准系数与国家生产效率对比表

| 国家 | A_0 | 国家生产效率 |
|----|-------|--------|
| 中国 | 4.06 | - |
| 日本 | 992.0 | 43.77 |
| 韩国 | 24.3 | 32.31 |
| 美国 | 303.7 | 67.32 |

而在人力型国家的生产方程标准系数与国家生产效率对比表中，这一规律却并不明显，还值得进

⁴³ 数据选自 The Conference Board, GDP per hour worked; 数据来源: The Conference Board Total Economy Database.

装订线

一步探究。由于日本社会长期存在加班过劳现象（张功杭，2010），可能导致国民收入过高估计。本文尝试相应将国民收入分别乘以系数 0.5, 0.75, 1.25, 1.5 进行调整，并进行结果分析与对比。同理，对于生活成本的过低估计也事可能影响计算准确性的另一因素（刘爱梅 & 杨德才，2010），因此下列计算在国民收入不变的情况下将生活成本分别乘以系数 0.5, 0.75, 1.25, 1.5，并重新进行回归分析，与结果对比。最后，同理对劳动投入计算结果进行相似的调整，得到结果如下表：

表 2-18 日本生产方程对劳动投入变化的敏感度分析

| 国家 | A_0 | α' | β' | γ' |
|---------------------------|--------|-----------|----------|-----------|
| L' | 992.0 | 0.468 | 0.480 | 0.053 |
| $L' (0.50 * L)$ | 1484.6 | 0.464 | 0.443 | 0.093 |
| $L' (0.75 * L)$ | 1143.8 | 0.467 | 0.469 | 0.067 |
| $L' (1.25 * L)$ | 903.6 | 0.468 | 0.485 | 0.047 |
| $L' (1.50 * L)$ | 844.4 | 0.468 | 0.489 | 0.043 |
| $L' (0.50 * \text{国民收入})$ | 4205.2 | 0.530 | 0.177 | 0.293 |
| $L' (0.75 * \text{国民收入})$ | 1573.5 | 0.503 | 0.416 | 0.081 |
| $L' (1.25 * \text{国民收入})$ | 751.1 | 0.448 | 0.508 | 0.043 |
| $L' (1.50 * \text{国民收入})$ | 621.2 | 0.436 | 0.525 | 0.039 |
| $L' (0.50 * \text{生活成本})$ | 630.3 | 0.420 | 0.535 | 0.045 |
| $L' (0.75 * \text{生活成本})$ | 788.4 | 0.443 | 0.510 | 0.048 |
| $L' (1.25 * \text{生活成本})$ | 1258.7 | 0.495 | 0.444 | 0.061 |
| $L' (1.50 * \text{生活成本})$ | 1617.3 | 0.523 | 0.401 | 0.076 |

从上述结果中可以看到，平均薪资水平的倍数变化对生产方程标准系数有一定的影响。在整体工资过高的情况下，标准系数偏低；而在整体工资过低的情况下，标准系数则偏高。因此本文推测在日本生产方程的回归分析中可能存在平均薪资偏低的情况。当然，日本生产方程标准系数也可能与汇率偏差有关，本文对这一因素暂不做进一步讨论。

将上述回归结果绘图，能够更加直观的观测各生产要素与 GDP 随时间的变化：

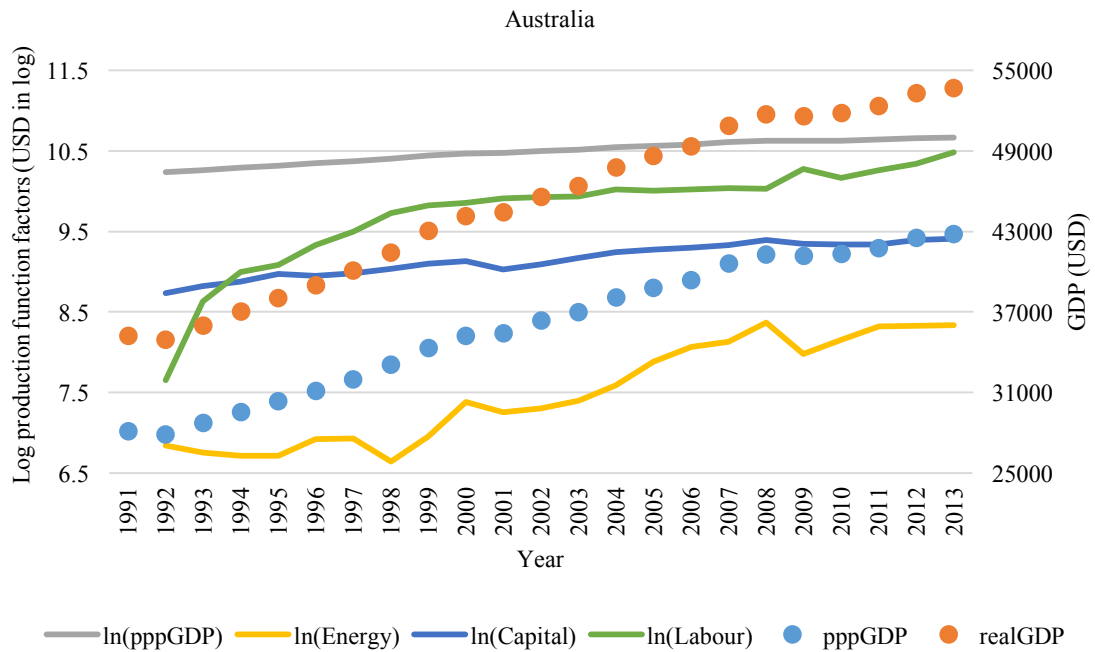


图 2-1 澳大利亚生产方程回归分析结果

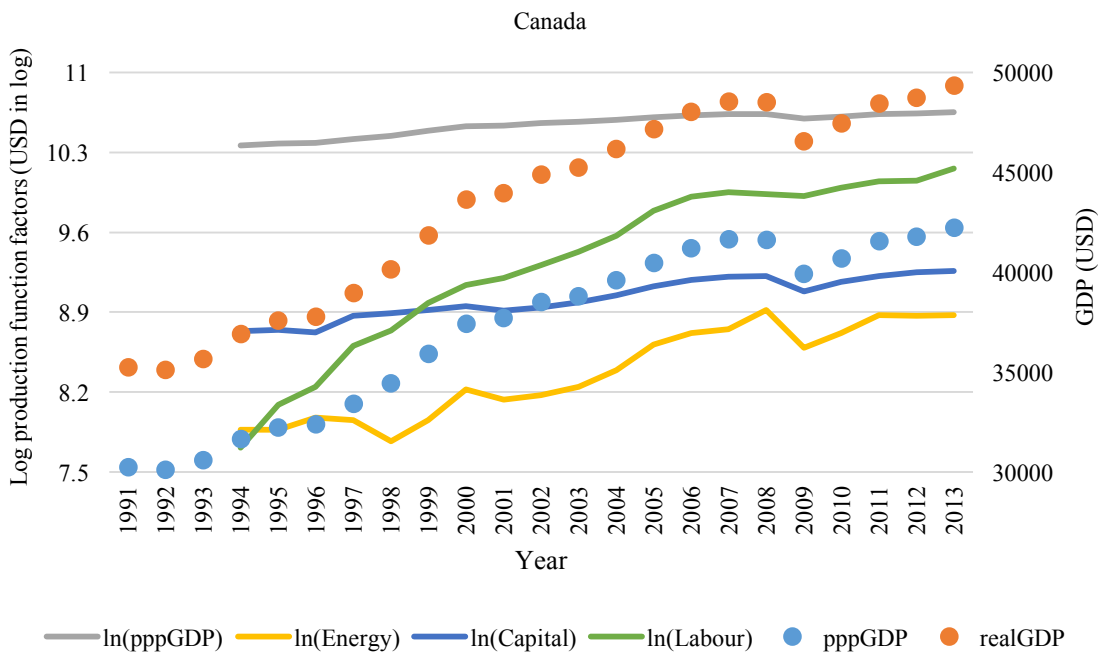


图 2-2 加拿大生产方程回归分析结果

装 订 线

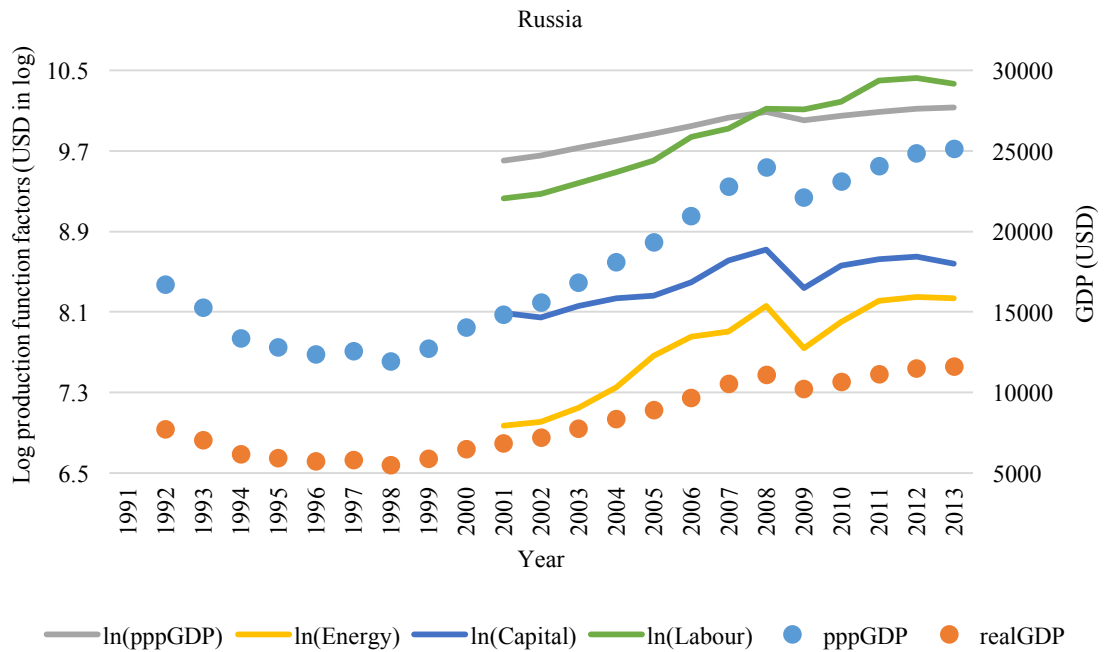


图 2-3 俄罗斯生产方程回归分析结果

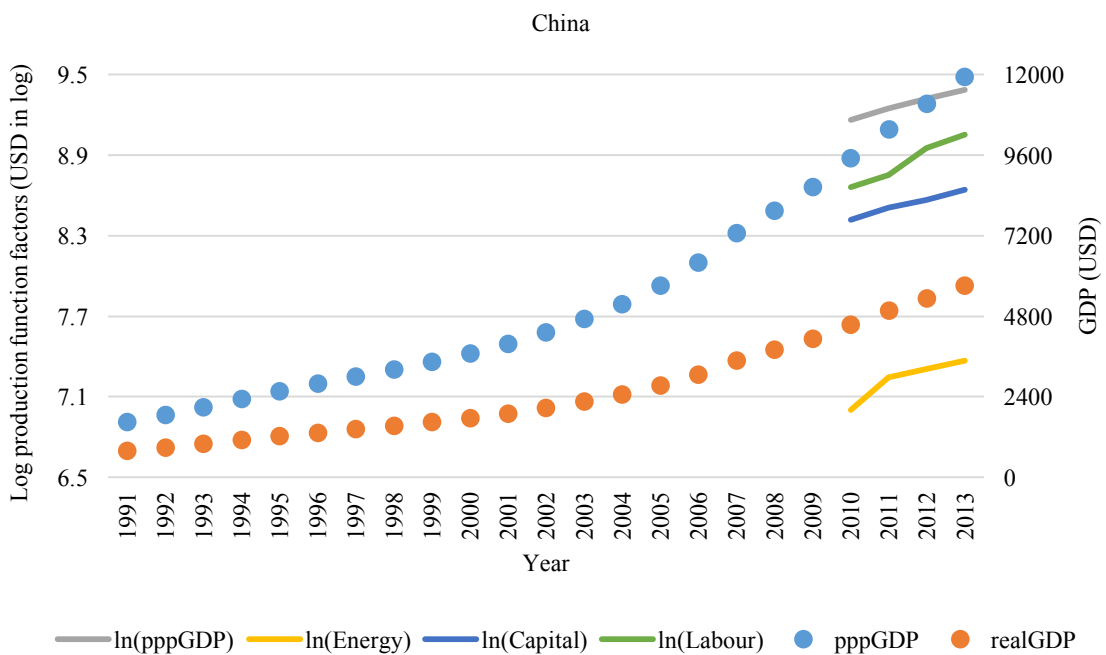


图 2-4 中国生产方程回归分析结果

装 订 线

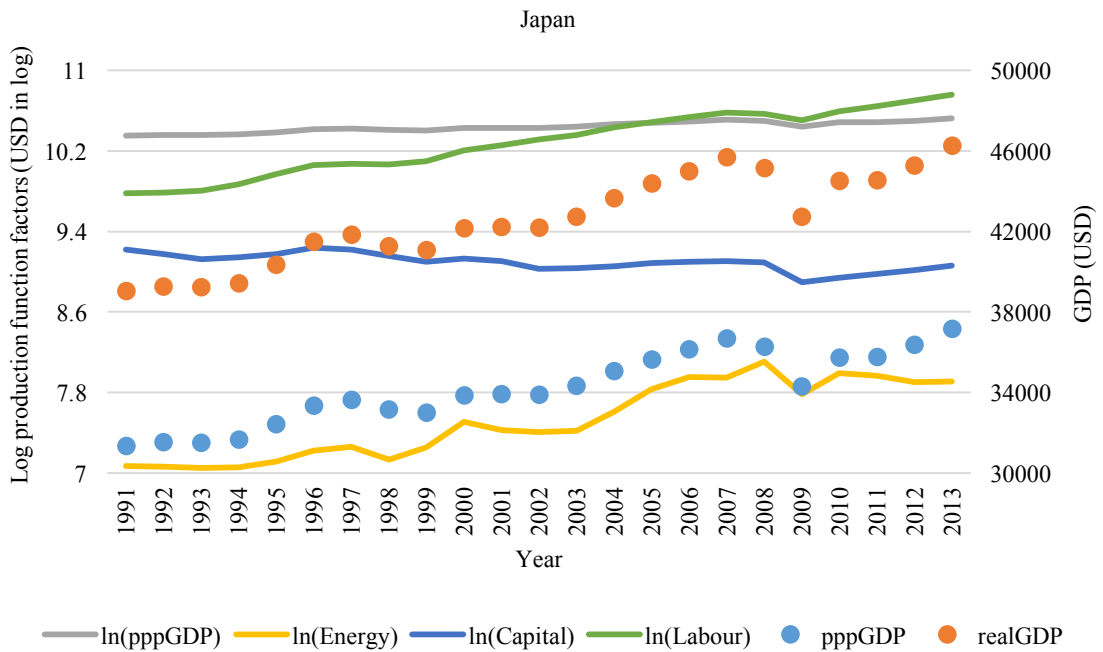


图 2-5 日本生产方程回归分析结果

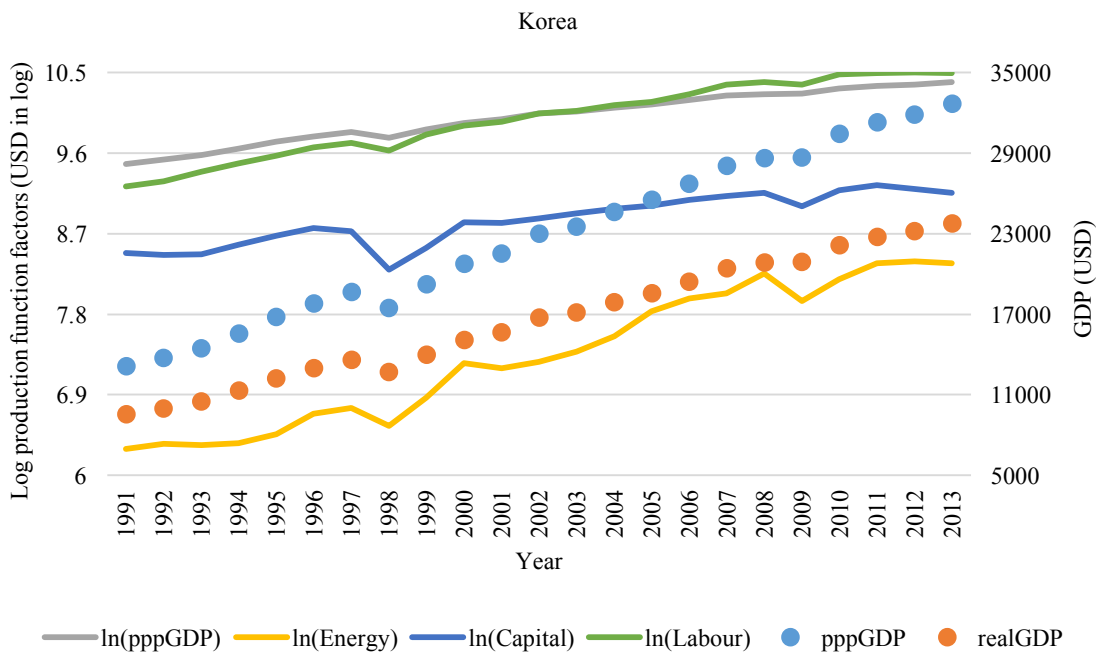


图 2-6 韩国生产方程回归分析结果

装订线

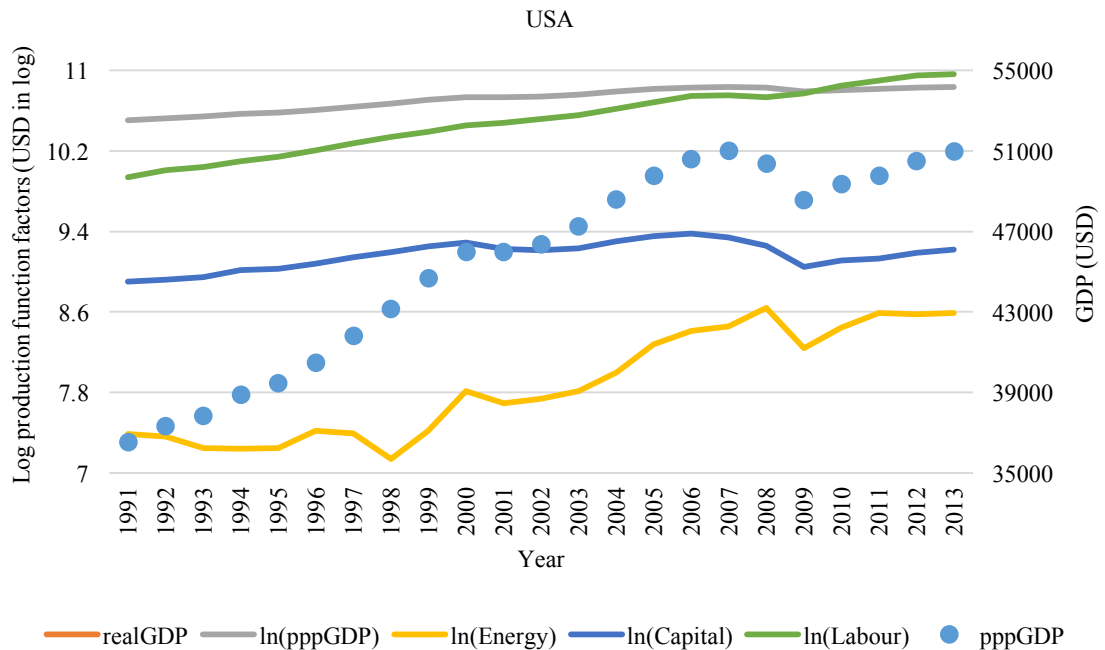


图 2-7 美国生产方程回归分析结果

2.6 本章小结

Cobb - Douglas 生产方程能够提供一个分辨宏观经济学中引起经济增长贡献因素重要性的理论框架，包括资本累积、人力资源的投入、能源消费、以及经济发展程度等因素。其产出弹性可代表总产出对于各个生产要素发生变化的反应能力，因此还反映了一个经济体的发展历史与现状。

本章通过对各宏观经济数据及其来源的分析与比较，对宏观经济生产方程进行了回归运算，确定了环太平洋地区主要经济体，包括美国、中国、日本、韩国、加拿大、俄罗斯、澳大利亚的资本产出弹性。研究发现以上七个国家能根据能源产出弹性大体分为资源型国家与人力型国家两类。资源型国家中包括澳大利亚、加拿大、俄罗斯，其能源资本标准产出弹性分别为 0.122、0.112、0.480；人力型国家中包括美国、中国、日本、韩国，其能源资本标准产出弹性分别为 0.033、0.053、0.006、0.030。

并且对生产方程标准系数进行了敏感度分析，发现平均薪资水平以及汇率的倍数变化对生产方程标准系数有一定的影响。而生产方程标准系数很好地反映了各个国家的经济发展程度，澳大利亚、加拿大、日本、美国、俄罗斯、韩国、中国的生产方程标准系数分别为 1550.2、1246.6、992.0、443.0、303.7、24.3、4.06。

3 能源消费与经济增长

3.1 理论基础

在上述结果中可以看到环太平洋主要资源型国家各国国内生产总值中能源资本分配比例较高；而人力型国家在能源资本方面分配比例低于 10%。也就是说，对于澳大利亚、加拿大、俄罗斯三国，能源消费的增长对于总产出值增长的刺激高于同等增长对于中国、日本、韩国、美国四国国内生产总值的促进作用。

本文引言中提到：在经济学领域中 Stela Tsani(2010)对希腊、John Kraft & Arthur Kraft(1978)对美国、Umit Erol & Eden Yu(1990)对日本、Dennis Hwang & Burel Gum(1991)与 Hao-yen Yang(2001)对台湾、Yemane Wolde-Rufael(2004)对上海、以及 Jaruwat Chontanawat(2006)等学者对 30 个经合组织成员国和 78 个非经合组织成员国等的研究，已经建立成熟的计算国家能源消费与经济增长直接因果关系的方法，并且多次通过数据验证证明了这一因果关系的存在。本文运算结果与这一发现相结合，使从定量的角度理解相关能源政策对各国经济的影响程度成为可能。这一结果从宏观经济学角度对政策的制定提供了数据积累。

3.2 相关性研究

在第二章研究结果的基础上，本章节采取世界银行 1971-2013 年间人均总能源消费与人均 GDP 的数据，对于总能源消费与经济增长的相关性进行进一步研究，所得结果如下：

表 3-1 总能源消费与经济增长相关系数

| 国家 | 相关系数 |
|------|--------|
| 澳大利亚 | 0.941 |
| 加拿大 | 0.609 |
| 中国 | 0.994 |
| 日本 | 0.927 |
| 韩国 | 0.992 |
| 俄罗斯 | 0.604 |
| 美国 | -0.389 |

对上表结果进行分析可以得出一下结论：从国家的经济发达程度来看，国家发展程度越高，其能源消费与经济增长的相关性越弱。同为资源型国家，澳大利亚能源消费与经济增长相关系数高达 0.941，而加拿大与俄罗斯这一相关系数仅有约 0.6。同时结合能源资本配比结果来看：澳大利亚与加拿大经济增长中能源资本的贡献程度仅有约 12%左右，而俄罗斯能源资本配比则高达 48%。因此，综合对比来看，在这三个资源型国家中，对总能源消费具有限制作用的相关政策将对于加拿大的影响最低。同理，韩国能源资本在经济增长中配比不足 1%，日本与美国能源消费与经济增长之间的相关系数又相对较低，因此在上述四个人力型国家中，中国能源政策将对其经济增长

产生更高影响。而在环太平洋主要经济体中，美国是唯一一个总能源消费与经济增长呈现负相关的国家，也就是说其经济增长对于能源资本没有依赖性。美国经济增长与总能源消费之间的负相关，协同均衡的物质与人力资源结构，共同作用产生了国家可持续发展的经济模型。这一结论可在美国 1960 年至 2013 年碳排放变化趋势中得到印证：

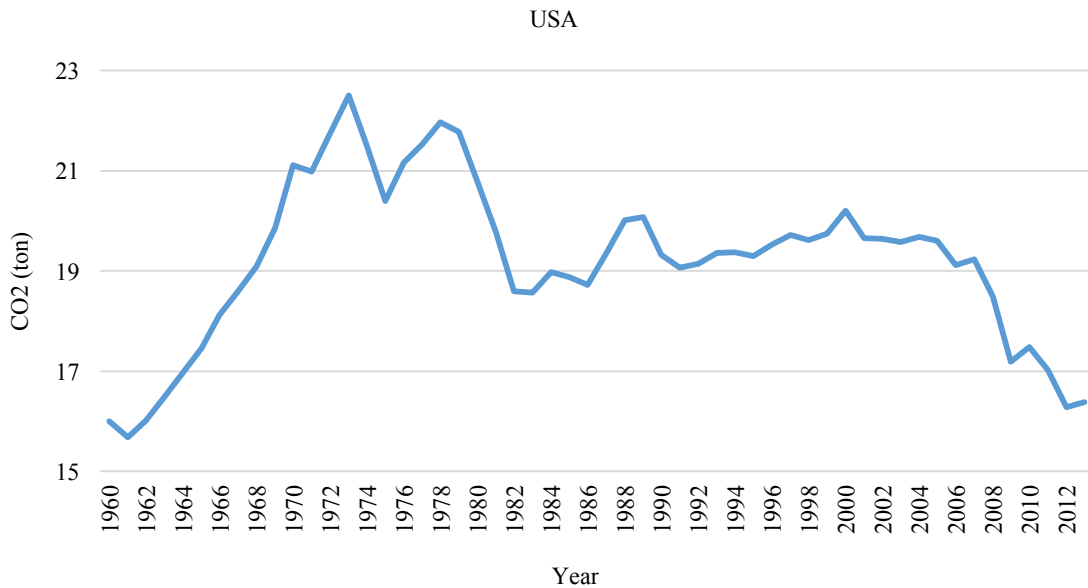


图 3-1 美国 1960 至 2013 年碳排放⁴⁴变化曲线

根据 World Bank 的历史数据显示，美国在 2013 年碳排放总量已经几乎回到 1960 年水平。因此，加拿大和俄罗斯两国经济增长与总能源消费的低相关性，以及美国经济增长与总能源消费的负相关现象可能与国家产业结构与能源清洁化有关。于是本文结合国家可再生能源增长趋势与人均 GDP 的相关性研究尝试对这一猜想进行验证：

表 3-2 可再生能源消耗与经济增长相关系数

| 国家 | 相关系数 |
|------|--------|
| 澳大利亚 | -0.157 |
| 加拿大 | 0.426 |
| 中国 | 0.989 |
| 日本 | 0.257 |
| 韩国 | 0.854 |
| 俄罗斯 | 0.215 |
| 美国 | 0.861 |

⁴⁴ 数据选自 World Bank, World Development Indicators, CO2 emissions (metric tons per capita).

其中美国可再生能源消费对于能源与经济增长相关性结果的影响较为明显。然而，加拿大、俄罗斯两国能源消费与经济增长相关性的影响因素还待更深入的研究。根据国家能源消耗数据来源的解释⁴⁵，本文推测由于生产与消耗之间的差值，能源出口国的相关系数会相对较低，其中以澳大利亚、加拿大、美国、俄罗斯四个发达国家为首有较高的能源出口量。根据能源消费与能源出口量之间差值估算能源产出值，从而与各国人均 GDP 进行相关性计算，所得结果如下：

表 3-3 能源产值与经济增长相关系数

| 国家 | 相关系数 |
|------|--------|
| 澳大利亚 | 0.975 |
| 加拿大 | 0.695 |
| 中国 | 0.991 |
| 日本 | -0.343 |
| 韩国 | 0.939 |
| 俄罗斯 | 0.982 |
| 美国 | -0.922 |

从结果可以看到主要能源出口国中澳大利亚、俄罗斯的相关系数结果数值明显提高，加拿大也有一定提高；相反的，韩国高度依赖于能源进口，将其能源进口量纳入考量即得到更优计算结果。能源出口国与进口国，人力型国家与资源型国家形成太平洋经济圈的经济互补性，促进总体经济增长。同时，澳大利亚、中国、韩国、俄罗斯能源产值与经济增长相关系数均达 0.9 以上，而美国与日本能源产值与经济增长呈现负相关。这一结果再一次证明了日本、美国在经济结构上的相似性，以及其经济增长对于能源资本的低依赖性。

作为世界最大石油生产国之一，美国拥有较高的能源储备，却在其经济结构中对能源资本具有较低的依赖性（方小美 & 陈明霜，2011）。本文推测这一对能源资本的低依赖性不仅与其多元化的能源政策有关（夏立平，2005），协同国家劳动投入与物质资本之间的均衡性，可能来源于有效的设计经济（王朝全，2006）。

将上述总能源消费总量、可再生能源消费总量、以及能源产值的数据再次根据时间序列绘图，得到各国能源消费与 GDP 的增长曲线如下：

⁴⁵ 数据注解：Energy use refers to use of primary energy before transformation to other end-use fuels, which is equal to indigenous production plus imports and stock changes, minus exports and fuels supplied to ships and aircraft engaged in international transport.

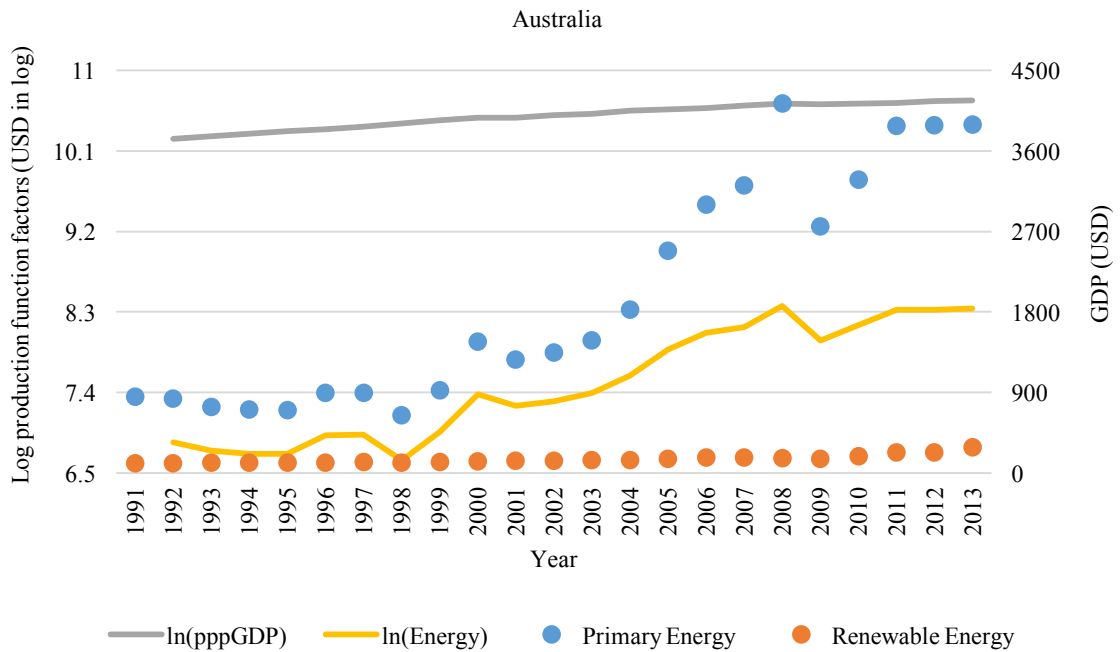


图 3-2 澳大利亚各能源消费总量与经济增长相关性分析结果

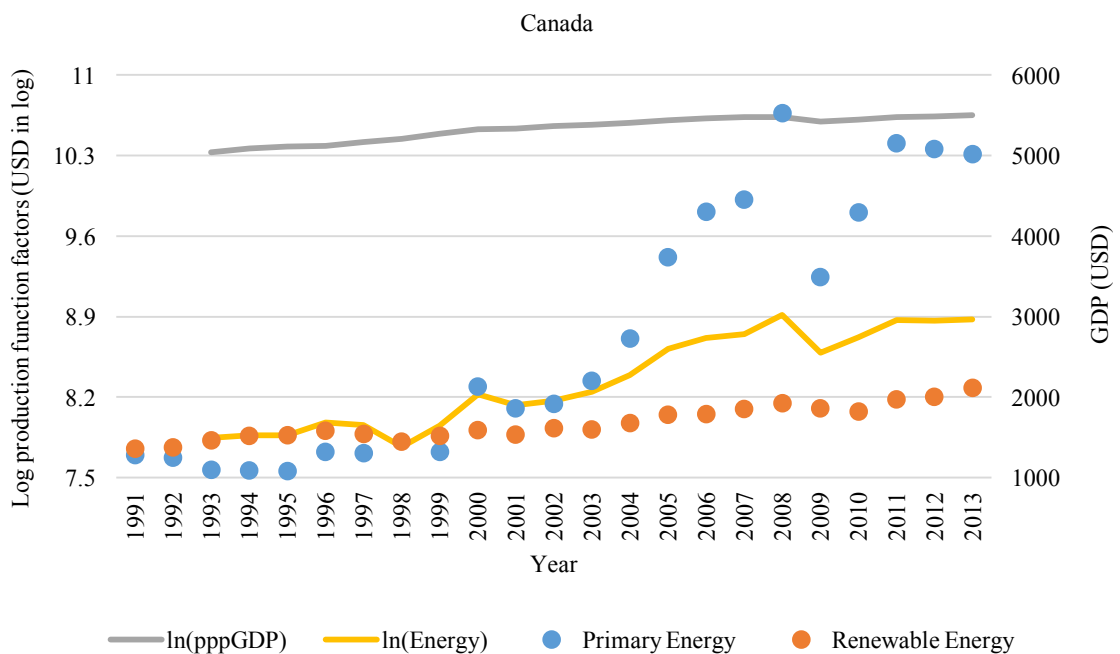


图 3-3 加拿大各能源消费总量与经济增长相关性分析结果

装 订 线

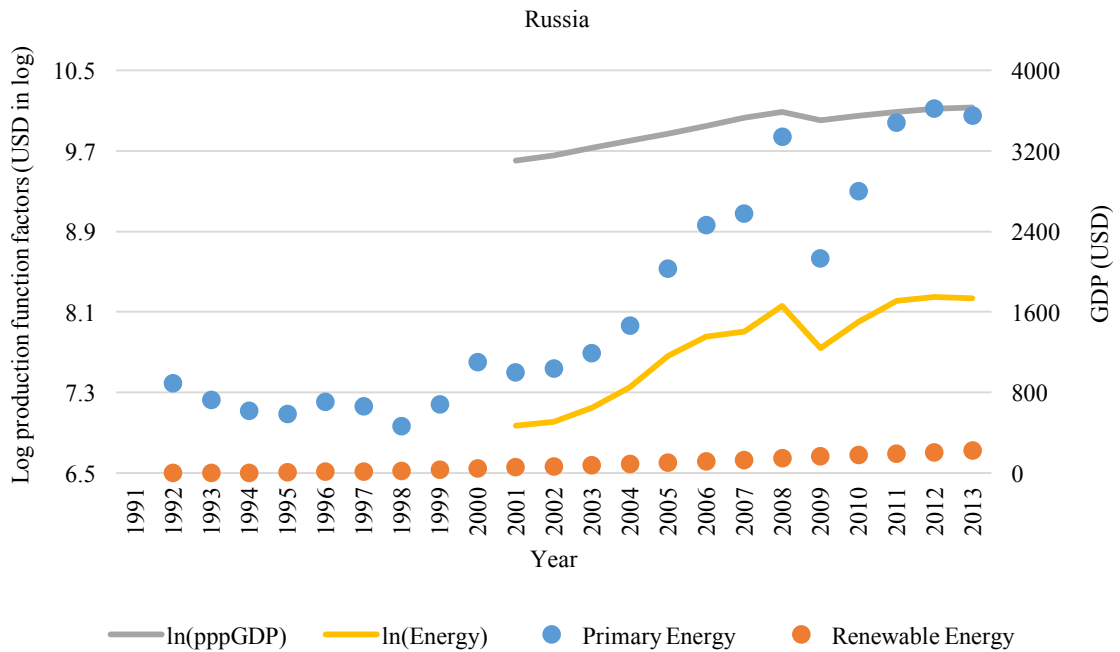


图 3-4 俄罗斯各能源消费总量与经济增长相关性分析结果

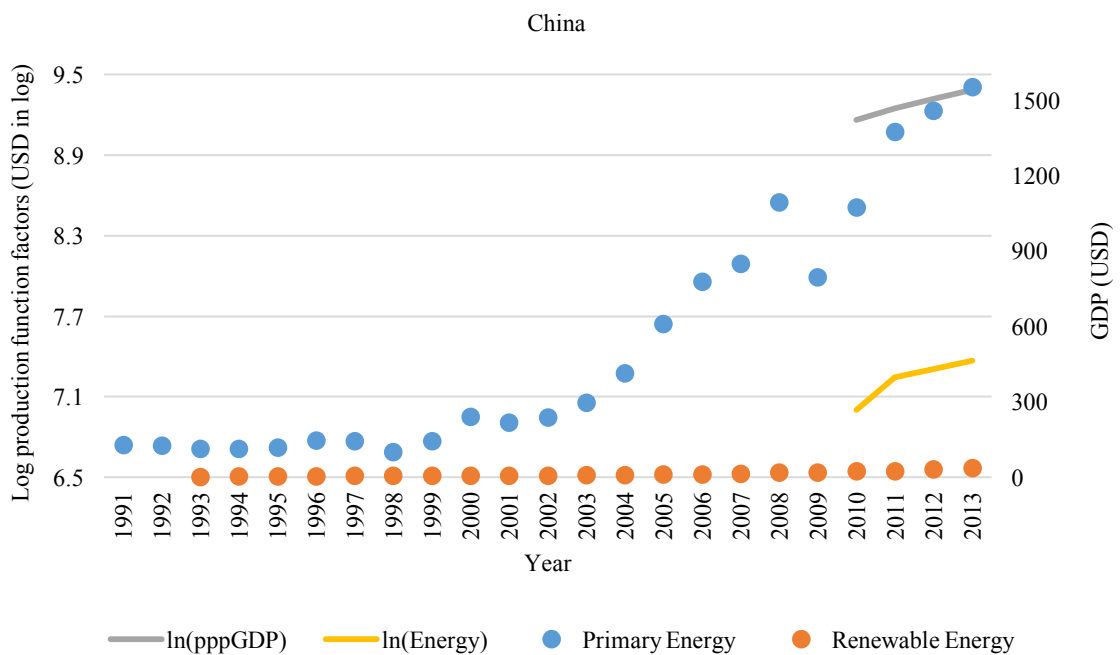


图 3-5 中国各能源消费总量与经济增长相关性分析结果

装
订
线

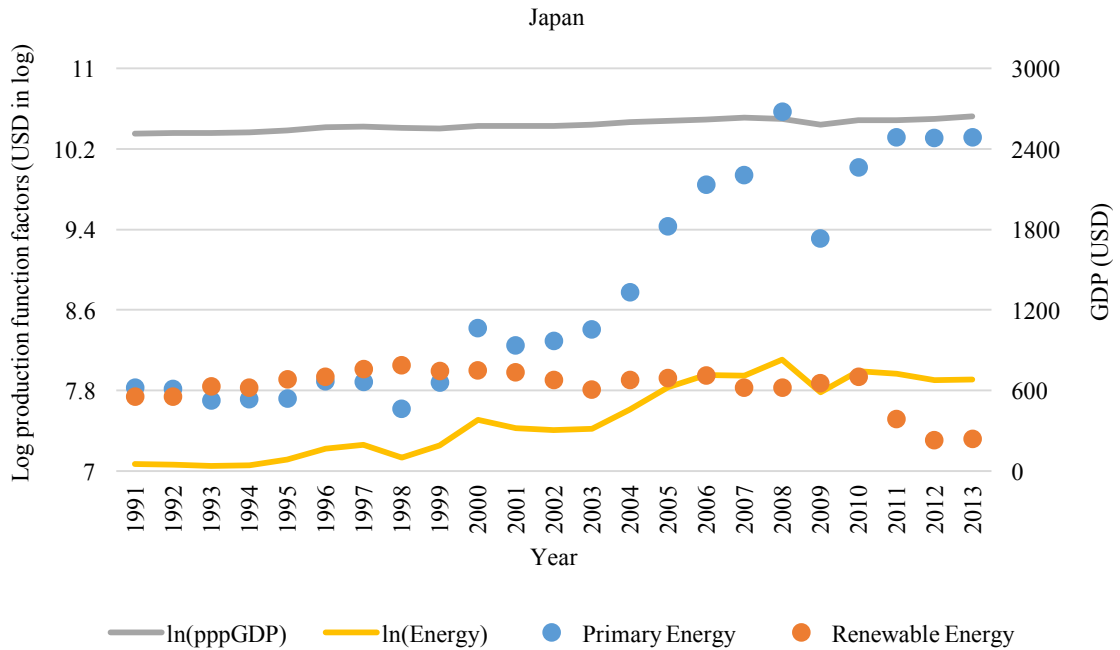


图 3-6 日本各能源消费总量与经济增长相关性分析结果

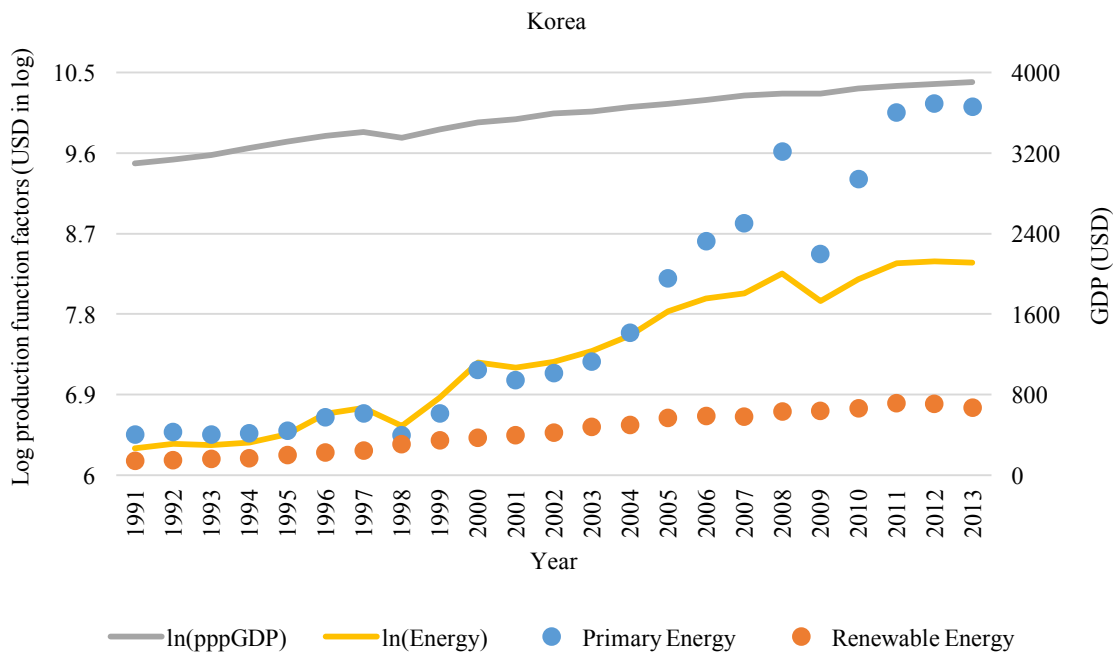


图 3-7 韩国各能源消费总量与经济增长相关性分析结果

装订线

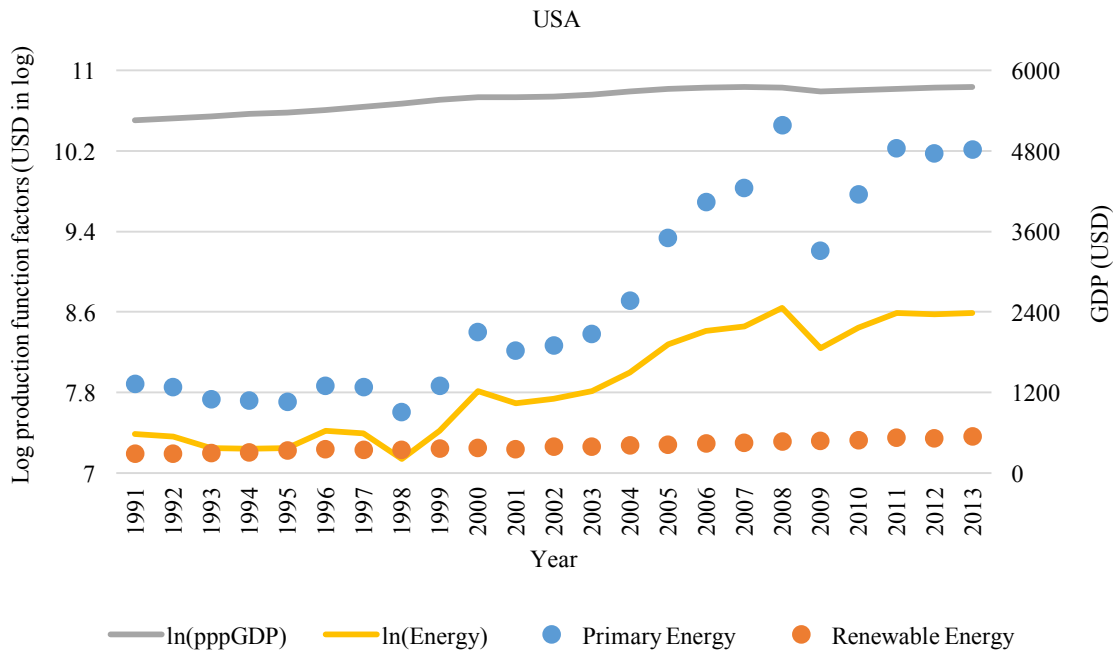


图 3-8 美国各能源消费总量与经济增长相关性分析结果

3.3 结果与分析

本小节对各国能源资本主要特征进行分析。资源型国家能源资本的增长对于总产出值增长的刺激相对较高，其中澳大利亚与加拿大经济增长中能源资本配比俄罗斯更低，然而澳大利亚却比加拿大与俄罗斯的能源消费与经济增长相关系数更高。因此综合来看，这三个资源型国家，对总能源消费具有限制作用的相关政策对俄罗斯与澳大利亚会产生较大影响，而对于加拿大的影响相对较小。同时，能源资本与能源消费对中国、日本、韩国、美国四国国内生产总值的作用促进作用整体较低。韩国能源资本在经济增长中配比不足 1%，所以相关政策对其影响最小。其中中国、日本、韩国总能源消费与经济增长相关系数均高达 0.9 以上，然而日本和美国物质资本与劳动投入配比均衡。综合比较，由于更低的劳动投入份额，中国能源政策反而会对经济增长造成的更高影响。然而美国与其他六国相比，其经济结构对于能源资本的没有依赖性。其经济增长与总能源消费之间的负相关，以及均衡的物质与人力资源结构，共同作用产生了国家可持续发展的经济模型。其中，美国作为能源储量较高的国家之一，其经济增长与总能源消费的负相关现象与国家产业结构与能源清洁化有关。然而，加拿大与俄罗斯两国由于能源出口，能源消费与经济增长相关性的计算结果与能源产值与经济增长之间的相关系数之间有较大差异。相对应的，韩国经其能源进口量进行计算优化即得到更优结果。能源出口国与进口国，人力型国家与资源型国家形成太平洋经济圈的经济互补性，促进总体经济增长。美国与日本在经济结构上的相似性，以及其经济增长对于能源资本的低依赖性均体现出设计经济的痕迹。这一结果也进一步的体现了相关政策的调控对于国家经济结构分配以及国民收入的重要意义，并可以为相关政策的制定提供理论积累。

根据以上结果分析，得出以下结论：环太平洋地区主要经济体中国家发展程度越高，其总能源

源消费与经济增长的相关性越弱；反之，国家发展程度随着可再生能源消费与经济增长的相关性的增长而提高。为进一步验证这一结论，本文采取世界银行 2013 年碳排放与人均购买力平价 GDP 数据，绘制碳排放强度（每单位国内生产总值所带来的碳排放量）与人均 GDP 关系图：

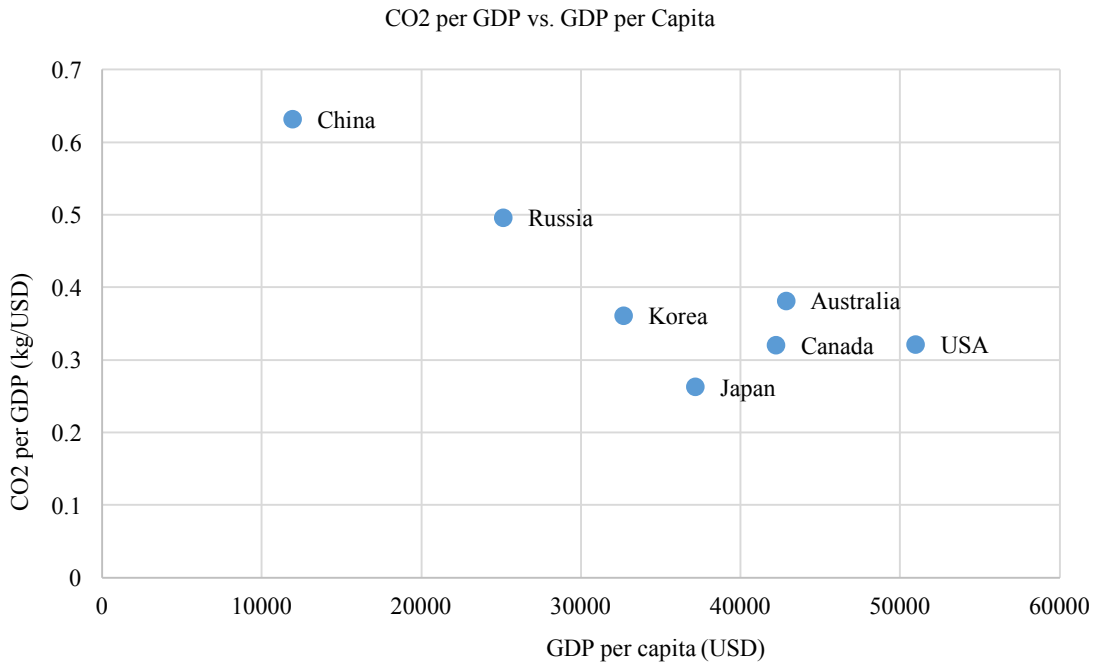


图 3-9 碳排放强度与人均 GDP 关系图

在上图 3-9 中可以看到，碳排放强度与人均 GDP 之比越低的国家，经济发展程度越高。这一结果进一步印证了以上讨论的结果。

从美国能源消费的结构来看，其大量使用可再生能源以及页岩气不仅为经济增长提供动力，同时还降低了二氧化碳排放强度。根据物理化学以及化工热力学可算得碳、甲烷和乙醇的燃烧值：

表 3-4 碳，甲烷，乙醇的燃烧值

| 燃料种类 | 碳 | 甲烷 | 乙醇 |
|------|--------------|--------------|---------------|
| 燃烧值 | 110.5 kJ/mol | 890.3 kJ/mol | 1366.8 kJ/mol |

发展可再生能源可带动更多就业，其增加的成本也可以从增加的燃值得到部分补偿，也是两全其美的秘密。

3.4 本章小节

本章对总能源消费与经济增长进行了相关性分析。结果表明，环太平洋地区主要经济体总能源消费与经济增长的相关性随各国经济发达程度的升高而降低，这一结论与经济学领域对于

全球百余国家的历史研究发现较高的一致性。另一方面，本章发现国家发展程度越高，其可再生能源消费与经济增长的相关性越强。

根据碳、甲烷和乙醇的燃烧值可以推得，提高页岩气以及可再生能源的开发与使用可以为经济增长提供动力，带动更多的就业，降低了二氧化碳排放强度。其增加的成本还可以从增加的燃值得到部分补偿。

装
订
线

4 结论与展望

4.1 结论

(1) 第二章通过对各宏观经济数据及其来源的分析与比较,对宏观经济生产方程进行了回归运算,确定了环太平洋地区主要经济体,包括美国、中国、日本、韩国、加拿大、俄罗斯、澳大利亚的资本产出弹性。研究发现以上七个国家能根据能源产出弹性大体分为资源型国家与人力型国家两类。资源型国家中包括澳大利亚、加拿大、俄罗斯,其能源资本标准产出弹性分别为 0.122、0.112、0.480;人力型国家中包括美国、中国、日本、韩国,其能源资本标准产出弹性分别为 0.033、0.053、0.006、0.030。

(2) 生产方程标准系数很好地反映了各个国家的经济发展程度,澳大利亚、加拿大、日本、美国、俄罗斯、韩国、中国的生产方程标准系数分别为 1550.2、1246.6、992.0、443.0、303.7、24.3、4.06。

(3) 对生产方程标准系数进行了敏感度分析,发现平均薪资水平以及汇率的倍数变化对生产方程标准系数有一定的影响。

(4) 本文对总能源消费与经济增长进行了相关性分析。结果表明,环太平洋地区主要经济体总能源消费与经济增长的相关性随各国经济发达程度的升高而降低,这一结论与经济学领域对于全球百余国家的历史研究发现有较高的一致性。另一方面,本章发现国家发展程度越高,其可再生能源消费与经济增长的相关性越强。这一现象可以通过不同烃类和碳的燃值不同得到很好的诠释。

4.2 展望

本文结论为解决如何在有效减少二氧化碳排放的同时保持经济增长——这一全球能源与环境保护政策的首要问题提供了理论积累,以及进一步探索方向。在数据分析过程中发现物质资本与劳动投入值得进一步的探究。

(1) 在人力资源方面,通过引入统计力学的研究方法探索人力资源配置对经济发展的影响。

(2) 在物质资本方面,通过引入统计力学的研究方法探索物质资本配置对经济发展的影响。

(3) 在能源资本方面,通过引入统计力学的研究方法探索能源资本配置对经济发展的影响。

本文通过对环太平洋地区各主要经济体生产方程的回归分析研究,并且结合能源消费与经济增长相关性的讨论,揭示了资本积累、人力资源的投入、能源消费、以及技术发展等因素对经济发展的贡献,也为对这些经济体的经济互补性进一步研究以及中国可能的未来经济发展方向提供了一些基础数据积累

符号说明

| | |
|---------------------|-------------------|
| A | 生产方程系数 |
| A' | 归一化生产方程系数 |
| A_0 | 生产方程标准系数 |
| E | 内能, J |
| E_i | 不可再生能源消费总量, 美元 |
| E_o | 其他能源消费总量, 美元 |
| E_p | 能源资本 (不含再生原料), 美元 |
| E_r | 可再生能源消费总量, 美元 |
| E_s | 再生原料总量, 美元 |
| E_t | 能源资本, 美元 |
| H | 住房成本, 美元 |
| h | 人力数量 |
| I, J | 子系统 |
| K | 物质资本, 美元 |
| k | 玻尔兹曼常量, J/K |
| L | 劳动投入, USD |
| l_1 | 投入生产的有效时间, h |
| M | 总资本, 美元 |
| m | 个体分配资本, 美元 |
| $\langle m \rangle$ | 平均分配价值 |
| N, n_i | 粒子数 / 个体经济人数 |
| n | 微观状态总数 |
| N_1, N_2, N_3 | 不同能级粒子数 / 不同阶级人数 |
| P | 统计概率 |
| p_r | 路径概率 |
| Q | 配分方程 |
| q, U | 生产方程函数 |
| R | 理想气体常数, J/(mol·K) |
| S, ξ | 统计熵 |
| S_I | 信息熵 |
| T | 温度, K |
| u | 生产方程系数自然对数 |
| V | 体积, L |
| v | 生产总值自然对数 |

装 订 线

| | |
|--------------------|---------------|
| | 微观状态数 |
| w | 生产总值归一化指数 |
| \bar{x} | 宏观状态 |
| Y | 生产总值, 美元 |
| Z | 单个粒子所有可能状态之和 |
| π | 再生原料的可替代性系数 |
| α, α_1 | 物质资本产出弹性 |
| α' | 物质资本标准产出弹性 |
| β, α_2 | 劳动投入产出弹性 |
| β' | 劳动投入标准产出弹性 |
| γ, α_3 | 能源资本产出弹性 |
| γ' | 能源资本标准产出弹性 |
| ρ | 分布密度 |
| μ_i | 化学势, K^{-1} |
| λ | 积分因子——平均价格水平 |
| $\bar{\lambda}$ | 微观状态 |
| Γ | 信息路径 |

装
订
线

参考文献

- [1] Adrian Dragulescu, Victor Yakovenko. Exponential and power-law probability distributions of wealth and income in the United Kingdom and the United States[J]. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, 2001, 299(1):213-221.
- [2] Alastair Jenkins. Thermodynamics and Economics[J]. *Physics*, 2005, 37(11):62-71.
- [3] Anirban Chakraborti, Bikas Chakrabarti. *Econophysics of wealth distributions*[M]. Springer Milan, 2005.
- [4] Charles Cobb, Paul Douglas. A theory of production[J]. *American Economic Review*, 1928, 18(1):139-165.
- [5] 陈世清. 对称经济学[M]. 中国时代经济出版社, 2010.
- [6] Chien-Chiang Lee & Chun-Ping Chang. Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data[J]. *Resource & Energy Economics*, 2008, 30(1):50-65.
- [7] David Stern. Economic growth and energy[J]. *Encyclopedia of Energy*, 2004:35-51.
- [8] Dennis Hwang, Burel Gum. The causal relationship between energy and GNP: The case of Taiwan[J]. *Journal of Energy Finance & Development*, 1991, 16(2):219-226
- [9] Edwin Jaynes. Foundations of probability theory and statistical mechanics[M]// Delaware Seminar in the Foundations of Physics. Springer Berlin Heidelberg, 1967:77-101.
- [10] Eric Smith, Duncan Foley. Classical thermodynamics and economic general equilibrium theory[J]. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 2008, 32(1):7-65.
- [11] 方小美, 陈明霜. 页岩气开发将改变全球天然气市场格局——美国能源信息署(EIA)公布全球页岩气资源初评结果[J]. *国际石油经济*, 2011, 19(6):40-44.
- [12] Farrokh Nourzad. The productivity effect of government capital in developing and industrialized countries[J]. *Applied Economics*, 2000, 32(9):1181-1187.
- [13] 高鸿业. 西方经济学. 宏观部分. 第5版[M]. 中国人民大学出版社, 2011.
- [14] Geir Asheim. Hartwick's rule in open economies[J]. *Canadian Journal of Economics*, 1986, 19(1):177-177.
- [15] Geoff Harcourt. Whatever happened to the cambridge capital theory controversies? [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2003, 17(1):199-214.
- [16] Giuseppe Di Vita. Exhaustible resources and secondary materials: A macroeconomic analysis[J]. *Ecological Economics*, 2007, 63(1):138-148.
- [17] Hao-yen Yang. Trade liberalization and pollution: a general equilibrium analysis of carbon dioxide emissions in Taiwan[J]. *Economic Modelling*, 2001, 18(3):435-454.
- [18] Hernando Quevedo. Geometrothermodynamics of black holes[J]. *General Relativity & Gravitation*, 2008, 40(5):971-984.

- [19] Jaruwan Chontanawat, Lester Hunt, Richard Pierse. Causality between energy consumption and GDP: evidence from 30 OECD and 78 non-OECD countries[J]. Surrey Energy Economics Centre School of Economics Discussion Papers, 2006.
- [20] Jean-Philippe Bouchaud, Marc Mézard. Wealth condensation in a simple model of economy[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2000, 282(3-4):536-545.
- [21] John Kraft, Arthur Kraft. Relationship between energy and GNP[J]. Journal of Energy Finance & Development, 1978, 3:2(2):401-403
- [22] Josiah Willard Gibbs. On the equilibrium of heterogeneous substances[J]. Transactions Connecticut Academy, 1967.
- [23] Juan Carlos Candeal, Juan Ramón de Miguel, Esteban Induráin, Ghanshyam Mehta. Utility and entropy[J]. Economic Theory, 2001, 17(1):233-238.
- [24] Jürgen Mimkes, Yuji Aruka. Carnot process of wealth distribution[M]// Econophysics of Wealth Distributions. Springer Milan, 2005:70-78.
- [25] Knut Wicksell. The influence of the rate of interest on prices[J]. Economic Journal, 1907, 17(66):213-220.
- [26] Lev Rozonoer. A generalized thermodynamic approach to resource exchange and allocation. III[J]. Avtomat.i Telemekh, 1973:82-103.
- [27] 刘爱梅, 杨德才. 论我国三大城市群发展的“效率陷阱”——基于日本城市群发展的经验[J]. 现代经济探讨, 2010(7):82-85.
- [28] Ludwig Boltzmann. Further studies on the thermal equilibrium of gas molecules[M]// The Kinetic Theory Of Gases: An Anthology of Classic Papers with Historical Commentary. 2015:262-349.
- [29] Huang Min. Tax revenue laffer curve from thermodynamics perspective. 2017, to be presented at 2017 annual meeting.
- [30] Nicholas Gregory Mankiw, 梁小民. 经济学原理: 宏观经济学分册[J]. 2012.
- [31] Norbert Samuelson. Can democracy and capitalism be jewish values? mordecai kaplan's political philosophy[J]. Modern Judaism, 1983, 3(2):189-215.
- [32] Panagis Liossatos.. Statistical entropy in general equilibrium theory[J]. Working Papers, 2004.
- [33] Paul Douglas. The Cobb-Douglas production function once again: its history, its testing, and some new empirical values[J]. Journal of Political Economy, 1976, 84(Volume 84, Number 5):903-915.
- [34] Roderick Dewar. Information theory explanation of the fluctuation theorem, maximum entropy production and self-organized criticality in non-equilibrium stationary states[J]. Journal of Physics A General Physics, 2000, 36(3):631-641
- [35] Roger Balian. From microphysics to macrophysics[J]. Theoretical & Mathematical Physics, 2007, 31(1):97-101.
- [36] Stela Tsani. Energy consumption and economic growth: A causality analysis for Greece[J]. Energy Economics, 2010, 32(3):582-590.
- [37] Shyamal Paul, Rabindra Bhattacharya. Causality between energy consumption and economic growth

- in India: a note on conflicting results[J]. Energy Economics, 2004, 26(6):977-983.
- [38] Subhash Sharma, Dharmendra Dhakal. Causal analyses between exports and economic growth in developing countries[J]. Applied Economics, 1994, 26(12):1145-57.
- [39] Umit Erol, Eden Yu. Spectral analysis of the relationship between energy consumption, employment, and business cycles[J]. Resources & Energy, 1990, 11(4):395-412.
- [40] 王朝全. 论循环经济的动力机制与制度设计[J]. 生态经济(中文版), 2006, 2006(8):56-59.
- [41] 吴乃龙, 袁素云. 最大熵方法[M]. 湖南科学技术出版社, 1991.
- [42] 夏立平. 美国国际能源战略与中美能源合作[J]. 当代亚太, 2005(1):14-19.
- [43] Yemane Wolde-Rufael. Disaggregated industrial energy consumption and GDP: the case of Shanghai, 1952–1999[J]. Energy Economics, 2004, 26(1):69-75.
- [44] 佚名. 中国石油经济技术研究院首次发布《2050年世界与中国能源展望》:非常规气将成天然气增产主力[J]. 国际石油经济, 2016(8):109-109.
- [45] 张功杭. 日本企业的加班问题及其争议[J]. 中国劳动关系学院学报, 2010, 24(6):59-62.
- [46] 智研资讯集团. 2016-2022年中国二氧化碳市场分析与发展前景预测报告[R]. R377961, 2016.

装
订
线

附录

表 1 GDP per capita, PPP (constant 2011 international \$)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1991 | 28103.0473 | 30220.3607 | 1645.66648 | 31361.9431 | 13130.1306 | 19553.5856 | 36543.0849 |
| 1992 | 27874.8888 | 30115.2812 | 1856.72230 | 31540.4145 | 13743.5515 | 16704.9338 | 37321.1290 |
| 1993 | 28724.2478 | 30578.4456 | 2090.03855 | 31516.4835 | 14465.7401 | 15274.2205 | 37843.5732 |
| 1994 | 29569.4599 | 31646.8102 | 2336.27788 | 31680.5379 | 15577.1377 | 13370.8533 | 38891.6982 |
| 1995 | 30347.6424 | 32226.2269 | 2564.07149 | 32425.2373 | 16798.3945 | 12813.3966 | 39476.2658 |
| 1996 | 31134.3653 | 32394.5778 | 2789.25299 | 33345.8620 | 17834.7750 | 12370.0959 | 40500.7954 |
| 1997 | 32003.3057 | 33425.8151 | 3015.69983 | 33624.6208 | 18687.2036 | 12564.0309 | 41811.63877 |
| 1998 | 33077.1457 | 34424.0520 | 3221.00284 | 33154.8666 | 17492.7053 | 11917.8464 | 43166.0818 |
| 1999 | 34338.7783 | 35903.1545 | 3438.07492 | 33010.9956 | 19232.5846 | 12719.8928 | 44672.5494 |
| 2000 | 35244.5026 | 37431.9169 | 3700.74390 | 33871.8435 | 20756.7757 | 14050.8513 | 45986.0527 |
| 2001 | 35443.3653 | 37712.1282 | 3980.36477 | 33927.5997 | 21536.0819 | 14829.0829 | 45977.5499 |
| 2002 | 36363.7425 | 38500.3170 | 4314.79164 | 33888.7761 | 23008.0783 | 15604.1494 | 46366.5779 |
| 2003 | 37020.7349 | 38805.67111 | 4718.32667 | 34333.1336 | 23565.6093 | 16818.7426 | 47260.0419 |
| 2004 | 38112.4352 | 39604.3548 | 5164.64145 | 35078.2765 | 24627.6106 | 18098.3670 | 48597.3373 |
| 2005 | 38818.8419 | 40471.2605 | 5719.45576 | 35658.1923 | 25541.4647 | 19325.9357 | 49762.2379 |
| 2006 | 39391.3380 | 41203.3504 | 6411.04298 | 36141.6216 | 26733.6452 | 20970.1899 | 50598.9483 |
| 2007 | 40617.0099 | 41647.3878 | 7285.27491 | 36697.3136 | 28063.2681 | 22798.9708 | 51011.42503 |
| 2008 | 41286.8173 | 41611.2508 | 7947.78850 | 36278.4639 | 28650.2824 | 24005.9966 | 50383.8405 |
| 2009 | 41180.5479 | 39924.1959 | 8651.72649 | 34317.5036 | 28716.0978 | 22121.8524 | 48557.8676 |
| 2010 | 41363.2158 | 40699.3551 | 9525.81914 | 35749.7712 | 30440.4036 | 23107.7852 | 49372.8314 |
| 2011 | 41763.1185 | 41565.2712 | 10384.3673 | 35779.0974 | 31327.1269 | 24074.3645 | 49781.8006 |
| 2012 | 42540.9691 | 41794.5389 | 11145.75235 | 36386.8224 | 31901.0729 | 24879.3790 | 50502.7602 |
| 2013 | 42845.4913 | 42229.5208 | 11951.2487 | 37179.6952 | 32684.3190 | 25144.1045 | 50972.5948 |

注：GDP per capita based on purchasing power parity (PPP). PPP GDP is gross domestic product converted to international dollars using purchasing power parity rates. An international dollar has the same purchasing power over GDP as the U.S. dollar has in the United States. GDP at purchaser's prices is the sum of gross value added by all resident producers in the economy plus any product taxes and minus any subsidies not included in the value of the products. Data are in constant 2011 international dollars.

表 2 Energy use (kg of oil equivalent per capita)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 1991 | 4927.78159 | 7388.38249 | 736.851801 | 3579.98574 | 2306.64347 | 5861.30215 | 7631.46780 |
| 1992 | 4959.21491 | 7479.47742 | 752.628662 | 3652.07124 | 2534.34102 | 5351.21152 | 7677.40140 |
| 1993 | 5147.53665 | 7641.51479 | 788.128723 | 3669.58577 | 2814.18823 | 5057.90064 | 7709.49658 |
| 1994 | 5089.78896 | 7834.89308 | 816.16289 | 3855.05081 | 2958.40773 | 4428.88962 | 7757.83082 |
| 1995 | 5129.22366 | 7861.63027 | 866.848089 | 3941.58417 | 3210.13203 | 4290.78506 | 7763.75510 |
| 1996 | 5393.58063 | 7956.69856 | 881.537941 | 4014.45734 | 3454.85485 | 4252.79724 | 7844.46826 |
| 1997 | 5469.59999 | 7965.51932 | 871.646269 | 4048.982 | 3726.15776 | 4069.76762 | 7828.58109 |
| 1998 | 5553.65346 | 7837.52052 | 869.1112385 | 3963.25147 | 3377.63507 | 3981.50194 | 7803.69760 |
| 1999 | 5610.34471 | 8011.63417 | 878.196949 | 4018.05734 | 3708.70521 | 4136.76193 | 7923.22389 |
| 2000 | 5644.06495 | 8173.66656 | 919.321019 | 4092.71408 | 4002.67128 | 4224.28618 | 8056.86385 |
| 2001 | 5446.97321 | 7974.16268 | 932.558502 | 4018.45563 | 4034.40928 | 4288.41391 | 7827.88632 |
| 2002 | 5569.64099 | 7920.11022 | 978.618983 | 4005.94409 | 4172.45155 | 4288.21698 | 7843.34484 |
| 2003 | 5568.76494 | 8272.18105 | 1107.31283 | 3964.80442 | 4236.40808 | 4461.31645 | 7794.23553 |
| 2004 | 5598.08817 | 8364.81740 | 1264.54714 | 4090.64445 | 4336.55528 | 4493.70199 | 7881.57864 |
| 2005 | 5564.08716 | 8365.20110 | 1361.69231 | 4073.87197 | 4368.43335 | 4540.92565 | 7846.49968 |
| 2006 | 5709.32461 | 8199.66150 | 1478.15548 | 4065.63430 | 4418.57925 | 4688.40457 | 7697.65253 |
| 2007 | 5868.34709 | 8130.58019 | 1550.53027 | 4024.99795 | 4573.06486 | 4709.84574 | 7758.1657 |
| 2008 | 5964.62666 | 7974.71098 | 1576.18110 | 3868.17621 | 4639.80480 | 4823.13153 | 7488.08163 |
| 2009 | 5862.55194 | 7432.22930 | 1692.67989 | 3688.62017 | 4661.65883 | 4531.28668 | 7056.77721 |
| 2010 | 5648.69658 | 7391.72582 | 1845.73728 | 3895.68345 | 5060.16622 | 4827.81125 | 7161.51709 |
| 2011 | 5638.49922 | 7484.16380 | 1994.39959 | 3614.38479 | 5233.06122 | 5057.52088 | 7029.24676 |
| 2012 | 5558.60942 | 7259.23788 | 2079.11971 | 3543.27421 | 5269.03054 | 5174.40036 | 6812.48960 |
| 2013 | 5586.33797 | 7202.22731 | 2226.26987 | 3570.43681 | 5253.47154 | 5093.06477 | 6915.84473 |

注：Energy use refers to use of primary energy before transformation to other end-use fuels, which is equal to indigenous production plus imports and stock changes, minus exports and fuels supplied to ships and aircraft engaged in international transport.

表3 Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (kWh)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|-------------|------------|-------------|------------|------------|-----------|-------------|
| 1991 | 769000000 | 398400000 | 75000000 | 1159800000 | 1000000 | 65000000 | 6193700000 |
| 1992 | 670000000 | 452600000 | 130000000 | 1162700000 | 2000000 | 63000000 | 6994500000 |
| 1993 | 681000000 | 487900000 | 143000000 | 1136900000 | 3000000 | 60000000 | 7227800000 |
| 1994 | 687000000 | 579500000 | 505000000 | 1221500000 | 3000000 | 61000000 | 7369000000 |
| 1995 | 746000000 | 570300000 | 308500000 | 1399300000 | 252000000 | 59000000 | 7022700000 |
| 1996 | 954000000 | 590600000 | 164000000 | 1456300000 | 406000000 | 57000000 | 7194300000 |
| 1997 | 995000000 | 694700000 | 293900000 | 1504000000 | 82000000 | 57000000 | 6995300000 |
| 1998 | 1065000000 | 738000000 | 286400000 | 1375700000 | 64000000 | 58000000 | 6946400000 |
| 1999 | 1195000000 | 845700000 | 303100000 | 1413700000 | 98000000 | 60000000 | 7339500000 |
| 2000 | 1230000000 | 848400000 | 317400000 | 1395300000 | 101000000 | 82000000 | 7716000000 |
| 2001 | 1599000000 | 894600000 | 333400000 | 1381100000 | 107000000 | 117000000 | 7217400000 |
| 2002 | 1997000000 | 945800000 | 346700000 | 1453700000 | 201000000 | 179000000 | 8110300000 |
| 2003 | 2345000000 | 988700000 | 364000000 | 1581500000 | 221000000 | 375000000 | 8182400000 |
| 2004 | 2573000000 | 976400000 | 393600000 | 1683200000 | 301000000 | 452000000 | 8686900000 |
| 2005 | 4794000000 | 751100000 | 743400000 | 1847700000 | 379000000 | 458000000 | 9376000000 |
| 2006 | 5716000000 | 813800000 | 1109600000 | 1928700000 | 550000000 | 512000000 | 1.0334E+11 |
| 2007 | 6674000000 | 856700000 | 1568700000 | 2059000000 | 926000000 | 506000000 | 1.12196E+11 |
| 2008 | 7817000000 | 831500000 | 2981800000 | 2033400000 | 1305000000 | 494000000 | 1.34308E+11 |
| 2009 | 6800000000 | 1146100000 | 4801100000 | 2081400000 | 1874000000 | 501000000 | 1.53106E+11 |
| 2010 | 8256000000 | 1474200000 | 7020500000 | 3785700000 | 2504000000 | 545000000 | 1.78411E+11 |
| 2011 | 9718000000 | 1647600000 | 1.00573E+11 | 3995900000 | 2881000000 | 562000000 | 2.07229E+11 |
| 2012 | 12573000000 | 1670600000 | 1.32469E+11 | 4279600000 | 3124000000 | 527000000 | 2.34311E+11 |
| 2013 | 14939000000 | 2459900000 | 1.93807E+11 | 5122300000 | 4494000000 | 486000000 | 2.70946E+11 |

装 订 线

表 4 Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (% of total)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
| 1991 | 0.49126079 | 0.78354092 | 0.01106806 | 1.28733499 | 0.00088296 | 0.00608521 | 1.90289072 |
| 1992 | 0.42104998 | 0.86991787 | 0.01723977 | 1.28078448 | 0.00160766 | 0.00624721 | 2.13860038 |
| 1993 | 0.41718738 | 0.91690361 | 0.01705631 | 1.24393705 | 0.00209738 | 0.00627810 | 2.13113884 |
| 1994 | 0.41096136 | 1.04287953 | 0.05440374 | 1.25344788 | 0.00185455 | 0.00697237 | 2.13480965 |
| 1995 | 0.43170047 | 1.01838376 | 0.30607770 | 1.399556119 | 0.13911968 | 0.00686824 | 1.97356995 |
| 1996 | 0.53814694 | 1.03084326 | 0.15181811 | 1.42905226 | 0.20038992 | 0.00673626 | 1.97036955 |
| 1997 | 0.54490988 | 1.211122734 | 0.25874029 | 1.44324515 | 0.03691797 | 0.00684130 | 1.90492399 |
| 1998 | 0.54610063 | 1.31398791 | 0.24531049 | 1.31354690 | 0.02962016 | 0.00702018 | 1.82583590 |
| 1999 | 0.58685734 | 1.46076052 | 0.24444987 | 1.32375978 | 0.04159663 | 0.00709767 | 1.89473048 |
| 2000 | 0.58609385 | 1.40093395 | 0.23411603 | 1.28233642 | 0.03500551 | 0.00935573 | 1.91659722 |
| 2001 | 0.71299578 | 1.51683678 | 0.22512591 | 1.28890946 | 0.03461248 | 0.01315592 | 1.88010360 |
| 2002 | 0.87827318 | 1.57329687 | 0.20959227 | 1.33143803 | 0.06094528 | 0.02012791 | 2.01428124 |
| 2003 | 1.05675852 | 1.67706456 | 0.19050061 | 1.46302429 | 0.06439562 | 0.04101372 | 2.01802918 |
| 2004 | 1.12082522 | 1.62769956 | 0.17862475 | 1.51647563 | 0.08210315 | 0.04860711 | 2.09419779 |
| 2005 | 2.09943638 | 1.20834499 | 0.29730458 | 1.636052118 | 0.09771214 | 0.04815178 | 2.19635703 |
| 2006 | 2.45609662 | 1.33989946 | 0.38716601 | 1.70623585 | 0.13672409 | 0.05151605 | 2.41730372 |
| 2007 | 2.74673943 | 1.36763461 | 0.47800133 | 1.78516466 | 0.21741937 | 0.04993097 | 2.594778112 |
| 2008 | 3.21590633 | 1.32117922 | 0.86000602 | 1.84664676 | 0.29396195 | 0.04757176 | 3.09253093 |
| 2009 | 2.73436086 | 1.89052100 | 1.29233409 | 1.94820328 | 0.41489917 | 0.05060376 | 3.67566581 |
| 2010 | 3.26774879 | 2.47415413 | 1.67266113 | 3.32245361 | 0.50410897 | 0.05260028 | 4.09729276 |
| 2011 | 3.82738561 | 2.61611013 | 2.13764019 | 3.72155444 | 0.55398199 | 0.05337126 | 4.789611326 |
| 2012 | 5.00700893 | 2.63997092 | 2.65749546 | 4.05301229 | 0.58839594 | 0.04928398 | 5.48624125 |
| 2013 | 5.98467276 | 3.72326255 | 3.56487835 | 4.83783528 | 0.83548525 | 0.04595357 | 6.32000921 |

装 订 线

表 5 Electricity production from hydroelectric sources (% of total)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1991 | 10.1069402 | 60.6268720 | 18.4600627 | 10.5693998 | 3.07800980 | 15.6880551 | 8.85452350 |
| 1992 | 9.64581526 | 60.8092965 | 17.5673346 | 8.88210327 | 2.48946979 | 17.0403093 | 7.77750973 |
| 1993 | 10.1319561 | 60.8054243 | 18.1082038 | 10.2105907 | 2.95522075 | 18.1436263 | 8.35318677 |
| 1994 | 9.78351249 | 59.3575718 | 18.0340319 | 6.73957837 | 1.45026087 | 20.0002057 | 7.61242587 |
| 1995 | 9.19244234 | 59.9857144 | 18.9080616 | 8.01676706 | 1.52369175 | 20.4197544 | 8.82751503 |
| 1996 | 8.69158087 | 62.0752309 | 17.4003925 | 7.71715696 | 1.19641667 | 18.1203215 | 9.611080497 |
| 1997 | 9.04276584 | 61.1398186 | 17.2537257 | 8.41054950 | 1.26646676 | 18.7936733 | 9.07290412 |
| 1998 | 7.88794937 | 59.0920664 | 17.8158458 | 8.61639790 | 1.98038589 | 19.1841092 | 7.78274907 |
| 1999 | 7.95719624 | 59.7229443 | 16.4370160 | 7.90098347 | 1.76531010 | 18.9853397 | 7.17447009 |
| 2000 | 7.79552472 | 59.1993672 | 16.4053821 | 7.83371259 | 1.38982275 | 18.7202499 | 6.28939972 |
| 2001 | 7.38545916 | 56.5158194 | 18.7333932 | 7.67652861 | 1.34277035 | 19.5538679 | 4.90388871 |
| 2002 | 6.98264563 | 58.3131223 | 17.4090356 | 7.37726764 | 0.98027919 | 18.2407299 | 6.63207993 |
| 2003 | 7.33376895 | 57.2385004 | 14.8465397 | 8.55908527 | 1.42835913 | 17.0356808 | 6.87134694 |
| 2004 | 7.01768142 | 56.8186175 | 16.0446416 | 8.27935153 | 1.18108518 | 18.9076303 | 6.53598773 |
| 2005 | 6.70427025 | 58.2245002 | 15.8777203 | 6.77106161 | 0.94695700 | 18.1543779 | 6.38210849 |
| 2006 | 6.843211144 | 58.0961177 | 15.2056174 | 7.74286237 | 0.86210754 | 17.4423085 | 6.82732746 |
| 2007 | 5.90133303 | 58.6810555 | 14.7865646 | 6.41662223 | 0.85253753 | 17.4707099 | 5.77298582 |
| 2008 | 4.89935122 | 59.9734334 | 16.8778706 | 6.94267984 | 0.69154268 | 15.8665332 | 5.911010412 |
| 2009 | 4.74572454 | 60.8099169 | 16.5714641 | 7.19751321 | 0.62279155 | 17.5934427 | 6.61617925 |
| 2010 | 5.34413083 | 58.9671724 | 16.9489736 | 7.21519287 | 0.74126566 | 16.0679885 | 6.02306238 |
| 2011 | 6.59926666 | 59.6525826 | 14.6241302 | 7.74849634 | 0.88414065 | 15.7496526 | 7.43610219 |
| 2012 | 5.58564442 | 60.0858077 | 17.3087374 | 7.14893181 | 0.74754913 | 15.5144471 | 6.521155808 |
| 2013 | 7.27943562 | 59.2946098 | 16.7313490 | 7.37627502 | 0.79737344 | 17.1286766 | 6.31790990 |

注：Sources of electricity refer to the inputs used to generate electricity. Hydropower refers to electricity produced by hydroelectric power plants.

装 订 线

表 6 Electricity production from nuclear sources (% of total)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1991 | 0 | 16.70334598 | 0 | 23.69326841 | 49.72054214 | 11.23274257 | 19.95148838 |
| 1992 | 0 | 15.48822843 | 0 | 24.68432028 | 45.44066107 | 11.86236303 | 20.05658294 |
| 1993 | 0 | 17.6534484 | 0.191317022 | 27.27229956 | 40.64599574 | 12.47104223 | 19.07660872 |
| 1994 | 0 | 19.40601757 | 1.589666521 | 27.61648907 | 36.25714003 | 11.18094918 | 19.66840777 |
| 1995 | 0 | 17.47198686 | 1.273223708 | 29.13073092 | 37.00417911 | 11.58661088 | 20.05989252 |
| 1996 | 0 | 16.19170962 | 1.327297638 | 29.6545762 | 36.48675995 | 12.88470584 | 19.58817324 |
| 1997 | 0 | 14.38772664 | 1.269315285 | 30.62836821 | 34.70560163 | 13.02224985 | 18.14605334 |
| 1998 | 0 | 12.73232927 | 1.207708779 | 31.73279914 | 41.50942523 | 12.74768848 | 18.77048887 |
| 1999 | 0 | 12.69395193 | 1.205635493 | 29.64727518 | 43.74607379 | 14.41703821 | 19.92470644 |
| 2000 | 0 | 12.02105034 | 1.234530566 | 29.59758917 | 37.76574728 | 14.91383599 | 19.81472397 |
| 2001 | 0 | 13.00400149 | 1.179784044 | 29.85069891 | 36.2729146 | 15.39749453 | 20.64701468 |
| 2002 | 0 | 12.56341927 | 1.519015043 | 27.02754191 | 36.11326727 | 15.92568188 | 19.9811047 |
| 2003 | 0 | 12.70342062 | 2.268318021 | 22.20327851 | 37.78420763 | 16.44289577 | 19.42999258 |
| 2004 | 0 | 15.06789028 | 2.290399555 | 25.44655487 | 35.65486127 | 15.56148209 | 19.60760159 |
| 2005 | 0 | 14.80709273 | 2.12312425 | 26.98463296 | 37.84192805 | 15.71198927 | 18.99150762 |
| 2006 | 0 | 16.12950496 | 1.913603638 | 26.84276037 | 36.97740324 | 15.74016592 | 19.09223158 |
| 2007 | 0 | 14.92345269 | 1.893174152 | 22.87438388 | 33.56077059 | 15.79229899 | 19.34899275 |
| 2008 | 0 | 15.2567203 | 1.972608903 | 23.4420791 | 34.00452769 | 15.70494332 | 19.29099374 |
| 2009 | 0 | 14.86073882 | 1.887829029 | 26.18477324 | 32.71615051 | 16.52288532 | 19.93112298 |
| 2010 | 0 | 15.21515843 | 1.760219422 | 25.29600352 | 29.91556577 | 16.44748271 | 19.26644609 |
| 2011 | 0 | 14.86035028 | 1.835335837 | 9.477441935 | 29.75139072 | 16.42363113 | 18.98484619 |
| 2012 | 0 | 14.99059749 | 1.953846657 | 1.509509369 | 28.31363538 | 16.60262243 | 18.75791991 |
| 2013 | 0 | 15.65635009 | 2.053005141 | 0.878636192 | 25.80150997 | 16.31144046 | 19.17383116 |

注：Sources of electricity refer to the inputs used to generate electricity. Nuclear power refers to electricity produced by nuclear power plants.

装 订 线

表 7 Consumer price index (2010 = 100)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|------------|------------|----------|-------------|------------|------------|-------------|
| 1991 | 61.7033603 | 71.0426975 | | 97.5856802 | 48.6918384 | | 62.4573407 |
| 1992 | 62.3117033 | 72.1124904 | | 99.2518179 | 51.7624949 | 0.05359728 | 64.3490609 |
| 1993 | 63.4414832 | 73.4403475 | 51.04682 | 100.509751 | 54.2190201 | 0.52237084 | 66.2484245 |
| 1994 | 64.6436848 | 73.5764176 | 63.42924 | 101.2011989 | 57.6113644 | 2.12936329 | 67.9758135 |
| 1995 | 67.6419467 | 75.1717229 | 74.07979 | 101.076238 | 60.1921780 | 6.33424648 | 69.8828203 |
| 1996 | 69.4090382 | 76.3523182 | 80.23816 | 101.209529 | 63.1556973 | 9.35832132 | 71.9312285 |
| 1997 | 69.5828505 | 77.5901545 | 82.47397 | 102.992296 | 65.9641487 | 10.7402427 | 73.6127576 |
| 1998 | 70.1767091 | 78.3629078 | 81.83629 | 103.675413 | 70.9194286 | 13.7125879 | 74.7554330 |
| 1999 | 71.2050984 | 79.7223812 | 80.68938 | 103.333855 | 71.4949027 | 25.4700051 | 76.39110227 |
| 2000 | 74.3916570 | 81.8903835 | 80.97002 | 102.659069 | 73.1145005 | 30.7617401 | 78.9707207 |
| 2001 | 77.6506373 | 83.9582140 | 81.5523 | 101.899335 | 76.0876429 | 37.3625528 | 81.2025684 |
| 2002 | 79.9826187 | 85.8543216 | 80.95536 | 100.958301 | 78.1895727 | 43.2628476 | 82.4904668 |
| 2003 | 82.1987253 | 88.2226674 | 81.86822 | 100.699300 | 80.9378417 | 49.1810842 | 84.3630788 |
| 2004 | 84.1251448 | 89.8611906 | 84.99937 | 100.690667 | 83.8439889 | 54.5226195 | 86.6216781 |
| 2005 | 86.3702201 | 91.8503148 | 86.50932 | 100.405767 | 86.1531280 | 61.4379085 | 89.5605323 |
| 2006 | 89.4264194 | 93.6891814 | 87.93623 | 100.656134 | 88.0845494 | 67.3894655 | 92.4497050 |
| 2007 | 91.5121668 | 95.6926159 | 92.17191 | 100.716567 | 90.3173579 | 73.4486735 | 95.0869923 |
| 2008 | 95.4953650 | 97.9607899 | 97.63333 | 102.106535 | 94.5386069 | 83.8139177 | 98.7374773 |
| 2009 | 97.2334878 | 98.2541499 | 96.9224 | 100.725200 | 97.1447399 | 93.5870818 | 98.3864199 |
| 2010 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2011 | 103.303850 | 102.912135 | 105.5539 | 99.7323664 | 104.025846 | 108.435217 | 103.156841 |
| 2012 | 105.124869 | 104.471951 | 108.3189 | 99.6805663 | 106.301121 | 113.933102 | 105.291504 |
| 2013 | 107.700312 | 105.452203 | 111.158 | 100.0259 | 107.6845 | 121.637831 | 106.833848 |
| 2014 | 110.379812 | 107.462793 | 113.2941 | 102.788569 | 109.057170 | 131.157247 | 108.566932 |
| 2015 | 112.044745 | 108.672009 | 114.9221 | 103.600103 | 109.827340 | 151.518646 | 108.695722 |
| 2016 | 113.475546 | 110.224670 | 117.2206 | 103.479236 | 110.893590 | 162.201717 | 110.0670089 |

注：Consumer price index reflects changes in the cost to the average consumer of acquiring a basket of goods and services that may be fixed or changed at specified intervals, such as yearly. The Laspeyres formula is generally used. Data are period averages.

表 8 Population, total

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|----------|----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1991 | 17284000 | 28171682 | 1150780000 | 123921000 | 43295704 | 148624000 | 252981000 |
| 1992 | 17495000 | 28519597 | 1164970000 | 124229000 | 43747962 | 148689000 | 256514000 |
| 1993 | 17667000 | 28833410 | 1178440000 | 124536000 | 44194628 | 148520000 | 259919000 |
| 1994 | 17855000 | 29111906 | 1191835000 | 124961000 | 44641540 | 148336000 | 263126000 |
| 1995 | 18072000 | 29354000 | 1204855000 | 125439000 | 45092991 | 148375726 | 266278000 |
| 1996 | 18311000 | 29671900 | 1217550000 | 125757000 | 45524681 | 148160042 | 269394000 |
| 1997 | 18517000 | 29987200 | 1230075000 | 126057000 | 45953580 | 147915307 | 272657000 |
| 1998 | 18711000 | 30247900 | 1241935000 | 126400000 | 46286503 | 147670692 | 275854000 |
| 1999 | 18926000 | 30499200 | 1252735000 | 126631000 | 46616677 | 147214392 | 279040000 |
| 2000 | 19153000 | 30769700 | 1262645000 | 126843000 | 47008111 | 146596557 | 282162411 |
| 2001 | 19413000 | 31081900 | 1271850000 | 127149000 | 47357362 | 145976083 | 284968955 |
| 2002 | 19651400 | 31362000 | 1280400000 | 127445000 | 47622179 | 145306046 | 287625193 |
| 2003 | 19895400 | 31676000 | 1288400000 | 127718000 | 47859311 | 144648257 | 290107933 |
| 2004 | 20127400 | 31995000 | 1296075000 | 127761000 | 48039415 | 144067054 | 292805298 |
| 2005 | 20394800 | 32312000 | 1303720000 | 127773000 | 48138077 | 143518523 | 295516599 |
| 2006 | 20697900 | 32570505 | 1311020000 | 127854000 | 48371946 | 143049528 | 298379912 |
| 2007 | 20827600 | 32887928 | 1317885000 | 128001000 | 48597652 | 142805088 | 301231207 |
| 2008 | 21249200 | 33245773 | 1324655000 | 128063000 | 48948698 | 142742350 | 304093966 |
| 2009 | 21691700 | 33628571 | 1331260000 | 128047000 | 49182038 | 142785342 | 306771529 |
| 2010 | 22031750 | 34005274 | 1337705000 | 128070000 | 49410366 | 142849449 | 309346863 |
| 2011 | 22340024 | 34342780 | 1344130000 | 127817277 | 49779440 | 142960868 | 311718857 |
| 2012 | 22728254 | 34750545 | 1350695000 | 127561489 | 50004441 | 143201676 | 314102623 |
| 2013 | 23117353 | 35155451 | 1357380000 | 127338621 | 50219669 | 143506911 | 316427395 |

注：Total population is based on the de facto definition of population, which counts all residents regardless of legal status or citizenship. The values shown are midyear estimates.

表9 Gross capital formation (% of GDP)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1991 | 24.2594891 | 19.4110000 | 35.8658705 | 32.2131327 | 36.8457701 | 36.2674293 | 20.0587475 |
| 1992 | 22.3740740 | 18.4394548 | 39.8370994 | 30.5346479 | 34.5446010 | 34.6133613 | 20.0193904 |
| 1993 | 23.6258018 | 18.5352561 | 44.2430171 | 29.2168981 | 33.0126153 | 27.0071715 | 20.3339037 |
| 1994 | 24.2814740 | 19.5770271 | 40.9484451 | 29.5448776 | 34.1133628 | 25.5374539 | 21.2164055 |
| 1995 | 25.9681084 | 19.4422496 | 39.6846098 | 29.8828368 | 34.8243056 | 25.4392719 | 21.2049944 |
| 1996 | 24.8088702 | 18.9898054 | 38.3723974 | 30.8651712 | 35.9242809 | 23.6676959 | 21.629225 |
| 1997 | 24.8274709 | 21.2882591 | 36.3372012 | 29.9510149 | 33.1342838 | 21.9765208 | 22.3630672 |
| 1998 | 25.4965779 | 21.11811116 | 35.678645 | 28.5151898 | 22.9353911 | 14.9642531 | 22.8484059 |
| 1999 | 26.1294363 | 20.7555134 | 34.9647322 | 27.11881302 | 26.6731472 | 14.8304030 | 23.3179533 |
| 2000 | 26.3076485 | 20.6833396 | 34.4296625 | 27.3071314 | 32.9417043 | 18.6938786 | 23.5689255 |
| 2001 | 23.4502375 | 19.7409042 | 36.4222180 | 26.5605108 | 31.5595915 | 21.9497741 | 22.0514913 |
| 2002 | 24.4269884 | 19.8096266 | 37.0775254 | 24.6555043 | 30.9395937 | 20.0505697 | 21.5765217 |
| 2003 | 25.9536417 | 20.5391441 | 40.6315582 | 24.39723113 | 32.0149056 | 20.8589584 | 21.6599668 |
| 2004 | 27.0888988 | 21.4558834 | 42.8944724 | 24.3486035 | 32.1170627 | 20.9012750 | 22.5267268 |
| 2005 | 27.4526563 | 22.7046325 | 41.3912317 | 24.7494528 | 32.1630755 | 20.0774969 | 23.2229527 |
| 2006 | 27.6834674 | 23.6649472 | 40.9332455 | 24.7486285 | 32.7006775 | 21.1715918 | 23.3330148 |
| 2007 | 27.8689852 | 23.9705960 | 41.4631411 | 24.4834284 | 32.5795311 | 24.1645236 | 22.3513529 |
| 2008 | 29.1473851 | 24.1324611 | 43.2663830 | 24.5478482 | 33.0185129 | 25.5012501 | 20.7862435 |
| 2009 | 27.9243900 | 22.0151017 | 46.4412884 | 21.3236745 | 28.4656577 | 18.9263847 | 17.512933 |
| 2010 | 27.5680773 | 23.5373144 | 47.6122696 | 21.2974656 | 32.0228750 | 22.6150706 | 18.3945975 |
| 2011 | 27.1260715 | 24.2079594 | 47.6858601 | 22.1033213 | 32.9588326 | 23.0863226 | 18.5447559 |
| 2012 | 28.3656574 | 24.9275293 | 47.2345296 | 22.6544234 | 31.0012380 | 22.9411617 | 19.3506063 |
| 2013 | 28.4080181 | 24.9695920 | 47.3877452 | 23.1908902 | 29.1022098 | 21.1309367 | 19.7622600 |

注：Gross capital formation (formerly gross domestic investment) consists of outlays on additions to the fixed assets of the economy plus net changes in the level of inventories. Fixed assets include land improvements (fences, ditches, drains, and so on); plant, machinery, and equipment purchases; and the construction of roads, railways, and the like, including schools, offices, hospitals, private residential dwellings, and commercial and industrial buildings. Inventories are stocks of goods held by firms to meet temporary or unexpected fluctuations in production or sales, and "work in progress." According to the 1993 SNA, net acquisitions of valuables are also considered capital formation.

装 订 线

表 10 Adjusted net national income per capita (current US\$)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
| 1991 | 14691.7689 | 17538.4189 | 290.371694 | 23492.81156 | 6763.15963 | | 20337.5024 |
| 1992 | 14645.3291 | 16688.4194 | 322.406343 | 25332.6530 | 7106.05355 | 1696.52994 | 21267.0098 |
| 1993 | 14002.7879 | 16066.2001 | 328.775631 | 28760.9456 | 7713.57022 | 1588.62118 | 21971.9335 |
| 1994 | 14417.9074 | 15922.2140 | 412.368601 | 31759.5541 | 8958.84841 | 1456.29748 | 23190.3052 |
| 1995 | 16217.0493 | 16527.7742 | 521.574376 | 35357.6085 | 10613.2297 | 1417.93207 | 24199.1709 |
| 1996 | 17536.6635 | 16864.1090 | 603.177060 | 31461.6014 | 11256.6973 | 1658.91217 | 25419.3452 |
| 1997 | 18827.2785 | 17418.4261 | 665.801082 | 28544.2518 | 10249.3745 | 1804.29283 | 26913.3258 |
| 1998 | 17130.5031 | 16647.3407 | 698.753317 | 25756.3178 | 6561.42050 | 1227.66461 | 28390.0753 |
| 1999 | 16511.4648 | 17698.4924 | 732.349285 | 29071.3672 | 8517.96528 | 981.438064 | 29696.6782 |
| 2000 | 17288.0448 | 19236.9081 | 793.978862 | 31278.6994 | 9817.79042 | 1304.71661 | 31293.7923 |
| 2001 | 15608.6857 | 18718.5058 | 868.233861 | 27492.3897 | 9221.47701 | 1600.07810 | 31985.5243 |
| 2002 | 16085.7963 | 19372.3904 | 955.087683 | 26157.9595 | 10585.2579 | 1822.80247 | 32641.31167 |
| 2003 | 18815.8201 | 22673.9058 | 1070.91558 | 28348.2657 | 11728.9421 | 2258.63885 | 33776.46111 |
| 2004 | 24297.7115 | 25663.3973 | 1231.56453 | 30867.2481 | 13147.6161 | 3203.16712 | 35648.2016 |
| 2005 | 26590.1247 | 29106.0164 | 1409.81707 | 30537.9429 | 15286.5168 | 4101.52166 | 37661.4828 |
| 2006 | 27964.8712 | 32601.5083 | 1676.31056 | 29091.1623 | 17214.3394 | 5392.87120 | 39870.5985 |
| 2007 | 31179.1773 | 35989.8074 | 2132.73920 | 29014.7833 | 19088.5646 | 7351.83421 | 40557.2391 |
| 2008 | 37865.6185 | 37273.0732 | 2649.43023 | 31814.8168 | 16708.4892 | 9279.07187 | 40329.4004 |
| 2009 | 33352.7514 | 32595.3341 | 3018.70470 | 32569.2274 | 14763.4475 | 6822.34988 | 39350.51188 |
| 2010 | 40192.7615 | 38222.5589 | 3463.04265 | 36083.8807 | 18108.5030 | 8622.64438 | 40989.9759 |
| 2011 | 47934.5950 | 42102.8842 | 4127.01026 | 39135.11993 | 19721.9597 | 11434.9535 | 42599.1006 |
| 2012 | 52930.7014 | 42319.4724 | 4717.95252 | 39633.6069 | 19956.5634 | 11992.0343 | 44576.5180 |
| 2013 | 53079.5217 | 42287.6037 | 5196.35984 | 33231.5886 | 21105.8686 | 12373.2883 | 45436.5290 |

注：Adjusted net national income is GNI minus consumption of fixed capital and natural resources depletion.

表 11 Price level ratio of PPP conversion factor (GDP) to market exchange rate

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----|
| 1991 | 1.058065301 | 1.07995374 | 0.303117252 | 1.394501573 | 0.805168543 | 0.44429089 | 1 |
| 1992 | 1.02104822 | 1.015876562 | 0.288944612 | 1.473170098 | 0.796786023 | 0.451651761 | 1 |
| 1993 | 0.921665964 | 0.941772731 | 0.258201164 | 1.646075831 | 0.803831206 | 0.456574948 | 1 |
| 1994 | 0.900005534 | 0.88397481 | 0.283769761 | 1.755561014 | 0.850023723 | 0.46431664 | 1 |
| 1995 | 0.970458123 | 0.88110172 | 0.326112707 | 1.855113779 | 0.927604158 | 0.475035995 | 1 |
| 1996 | 0.994056146 | 0.886147415 | 0.342584093 | 1.566556618 | 0.910566948 | 0.479315592 | 1 |
| 1997 | 1.023043512 | 0.867750975 | 0.343290586 | 1.392981737 | 0.787823637 | 0.480498358 | 1 |
| 1998 | 0.881211422 | 0.799760701 | 0.337008875 | 1.272965052 | 0.553454155 | 0.336030706 | 1 |
| 1999 | 0.812727159 | 0.801514438 | 0.32775085 | 1.42252912 | 0.634993498 | 0.225005727 | 1 |
| 2000 | 0.821435031 | 0.826584742 | 0.327060715 | 1.438019876 | 0.660704726 | 0.259557483 | 1 |
| 2001 | 0.711523022 | 0.787778926 | 0.326358044 | 1.231814597 | 0.586565945 | 0.285080597 | 1 |
| 2002 | 0.699293638 | 0.78336392 | 0.323371831 | 1.146634487 | 0.615280907 | 0.29580555 | 1 |
| 2003 | 0.789450786 | 0.875208765 | 0.325310208 | 1.205780935 | 0.664782365 | 0.321511632 | 1 |
| 2004 | 0.972153934 | 0.947415065 | 0.338630512 | 1.240462886 | 0.693228358 | 0.400958001 | 1 |
| 2005 | 1.043719741 | 1.001521703 | 0.344309686 | 1.175413453 | 0.770342027 | 0.45028818 | 1 |
| 2006 | 1.051271339 | 1.062531735 | 0.356786141 | 1.071886649 | 0.808755857 | 0.463938619 | 1 |
| 2007 | 1.120121693 | 1.129368774 | 0.392682576 | 1.021607697 | 0.828840305 | 0.546668204 | 1 |
| 2008 | 1.324147717 | 1.1568791 | 0.454644963 | 1.130479675 | 0.712962423 | 0.577043162 | 1 |
| 2009 | 1.061085996 | 1.051104015 | 0.458351552 | 1.234322545 | 0.645893838 | 0.441687376 | 1 |
| 2010 | 1.323621069 | 1.185336828 | 0.488637251 | 1.271781091 | 0.727097677 | 0.520783591 | 1 |
| 2011 | 1.489748595 | 1.253061142 | 0.542526659 | 1.346426767 | 0.771083474 | 0.590990528 | 1 |
| 2012 | 1.588074861 | 1.245618056 | 0.558351502 | 1.306847686 | 0.758907615 | 0.594162343 | 1 |
| 2013 | 1.484437263 | 1.187162626 | 0.572266343 | 1.037546288 | 0.792228034 | 0.643568825 | 1 |

注：Purchasing power parity conversion factor is the number of units of a country's currency required to buy the same amount of goods and services in the domestic market as a U.S. dollar would buy in the United States. The ratio of PPP conversion factor to market exchange rate is the result obtained by dividing the PPP conversion factor by the market exchange rate. The ratio, also referred to as the national price level, makes it possible to compare the cost of the bundle of goods that make up gross domestic product (GDP) across countries. It tells how many dollars are needed to buy a dollar's worth of goods in the country as compared to the United States. PPP conversion factors are based on the 2011 ICP round.

装 订 线

表 12 House price index

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1991 | 159.3078952 | 172.0243551 | - | 59.77040646 | 78.57428636 | - | 45.18459948 |
| 1992 | 137.4251424 | 162.6351566 | - | 60.35160674 | 78.4777428 | - | 44.99985874 |
| 1993 | 124.3717421 | 154.0624783 | - | 60.44258746 | 78.42023003 | - | 45.23819702 |
| 1994 | 111.4763101 | 149.6924357 | - | 61.7754429 | 79.40879665 | - | 46.143887 |
| 1995 | 104.6574973 | 147.8254655 | - | 58.12496364 | 79.80860352 | - | 45.41920441 |
| 1996 | 98.67913103 | 145.0394522 | - | 57.26728808 | 80.45388267 | - | 44.8901184 |
| 1997 | 95.603098 | 141.3772261 | - | 57.91672301 | 81.34643761 | - | 46.01332875 |
| 1998 | 81.76189186 | 139.0051267 | - | 56.4197953 | 84.63194785 | - | 48.77185897 |
| 1999 | 78.65950051 | 135.5886786 | - | 57.05330558 | 88.51915537 | - | 51.79643842 |
| 2000 | 76.67543408 | 131.7113536 | - | 58.1877748 | 92.17306863 | - | 54.22646215 |
| 2001 | 76.29846906 | 127.2536429 | - | 59.69210664 | 96.69480472 | 35.75529449 | 58.28313497 |
| 2002 | 86.26936927 | 122.1706768 | - | 63.25580288 | 102.1477729 | 40.97024155 | 67.31064573 |
| 2003 | 91.06554615 | 115.8170195 | - | 67.3963431 | 107.8574575 | 44.59733332 | 77.64441992 |
| 2004 | 88.85614989 | 109.3729913 | - | 71.82878843 | 115.2464664 | 49.71757839 | 81.31696502 |
| 2005 | 87.84933313 | 104.5104855 | - | 76.29263575 | 123.7671378 | 54.52032079 | 81.04952735 |
| 2006 | 92.28841111 | 101.4390871 | - | 84.11017989 | 127.6890929 | 74.20911446 | 83.61061083 |
| 2007 | 99.56605686 | 100.8224235 | - | 92.35709488 | 124.6700159 | 99.35715979 | 89.58078888 |
| 2008 | 101.9717567 | 100.8299339 | - | 95.9591183 | 111.2448356 | 109.489975 | 90.25140596 |
| 2009 | 100.3328569 | 97.15448996 | - | 93.09227188 | 104.812425 | 98.47421562 | 91.54037504 |
| 2010 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2011 | 101.1755498 | 100.6292256 | 102.19775 | 102.7765135 | 93.58023026 | 73.44546168 | 95.43691259 |
| 2012 | 100.2009524 | 100.3635074 | 98.758908 | 106.3456969 | 94.6065993 | 79.14580927 | 92.76760458 |
| 2013 | 98.17409888 | 102.1600884 | 103.20306 | 107.6164308 | 100.1535705 | 77.35807807 | 96.51550114 |

装 订 线

表 13 GDP per capita (constant 2010 US\$)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|-------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 1991 | 35225.0390 | 35229.7484 | 787.867418 | 39044.9161 | 9554.67839 | 9033.07192 | 35803.8684 |
| 1992 | 34939.0596 | 35107.2507 | 888.910984 | 39267.1090 | 10001.0592 | 7717.09454 | 36566.1737 |
| 1993 | 36003.6667 | 35647.1901 | 1000.61178 | 39237.3155 | 10526.5894 | 7056.15512 | 37078.0496 |
| 1994 | 37063.0759 | 36892.6490 | 1118.499553 | 39441.5595 | 11335.3435 | 6176.8661 | 38104.9724 |
| 1995 | 38038.4687 | 37568.111 | 1227.55638 | 40368.6936 | 12224.0411 | 5919.34063 | 38677.7150 |
| 1996 | 39024.5662 | 37764.3681 | 1335.36265 | 41514.8506 | 12978.2059 | 5714.55123 | 39681.5198 |
| 1997 | 40113.7172 | 38966.5453 | 1443.77471 | 41861.8991 | 13598.5105 | 5804.14240 | 40965.8466 |
| 1998 | 41459.6942 | 40130.2520 | 1542.06409 | 41277.0657 | 12729.2848 | 5505.62779 | 42292.8912 |
| 1999 | 43041.0549 | 41854.5335 | 1645.98796 | 41097.9494 | 13995.3794 | 5876.14516 | 43768.8849 |
| 2000 | 44176.3117 | 43636.7066 | 1771.74146 | 42169.6858 | 15104.5196 | 6491.00135 | 45055.8179 |
| 2001 | 44425.57111 | 43963.3663 | 1905.61073 | 42239.1010 | 15671.6137 | 6850.51712 | 45047.4872 |
| 2002 | 45579.1940 | 44882.2069 | 2065.71853 | 42190.7666 | 16742.7723 | 7208.57072 | 45428.6456 |
| 2003 | 46402.6842 | 45238.1770 | 2258.91205 | 42743.9817 | 17148.4826 | 7769.67022 | 46304.0360 |
| 2004 | 47771.0477 | 46169.2522 | 2472.58650 | 43671.6679 | 17921.2914 | 8360.81192 | 47614.2798 |
| 2005 | 48656.4750 | 47179.8579 | 2738.20540 | 44393.6501 | 18586.2949 | 8927.90565 | 48755.6160 |
| 2006 | 49374.0555 | 48033.3004 | 3069.30471 | 44995.5086 | 19453.834 | 9687.49351 | 49575.4010 |
| 2007 | 50910.3423 | 48550.9424 | 3487.84569 | 45687.3327 | 20421.3887 | 10532.3262 | 49979.5338 |
| 2008 | 51749.8951 | 48508.8152 | 3805.02591 | 45165.8743 | 20848.5536 | 11089.9299 | 49364.6445 |
| 2009 | 51616.6945 | 46542.1107 | 4142.03819 | 42724.5227 | 20896.4470 | 10219.5213 | 47575.6085 |
| 2010 | 51845.6548 | 47445.7619 | 4560.51248 | 44507.6637 | 22151.2088 | 10674.9823 | 48374.0867 |
| 2011 | 52346.9024 | 48455.2140 | 4971.54482 | 44544.1741 | 22796.4694 | 11121.50791 | 48774.7830 |
| 2012 | 53321.8793 | 48722.4855 | 5336.06002 | 45300.7782 | 23214.1248 | 11493.3962 | 49481.1586 |
| 2013 | 53703.5747 | 49353.3136 | 5721.69369 | 46287.8870 | 23784.0860 | 11615.6900 | 49941.48911 |

注：GDP per capita is gross domestic product divided by midyear population. GDP is the sum of gross value added by all resident producers in the economy plus any product taxes and minus any subsidies not included in the value of the products. It is calculated without making deductions for depreciation of fabricated assets or for depletion and degradation of natural resources. Data are in constant 2010 U.S. dollars.

表 15 CO₂ emissions (metric tons per capita)

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|-------------|
| 1960 | 8.582936643 | 10.77084729 | 1.170381372 | 2.516537519 | 0.501837251 | | 15.99977916 |
| 1961 | 8.641569017 | 10.62789765 | 0.836046901 | 2.981979388 | 0.561314583 | | 15.68125552 |
| 1962 | 8.835688047 | 11.13062748 | 0.661428164 | 3.059736351 | 0.651713667 | | 16.0139375 |
| 1963 | 9.226439909 | 11.1321024 | 0.640001899 | 3.359320776 | 0.774109781 | | 16.48276215 |
| 1964 | 9.759073431 | 12.3053704 | 0.625646054 | 3.673035072 | 0.793961905 | | 16.96811858 |
| 1965 | 10.62232139 | 12.81400147 | 0.665524211 | 3.912905535 | 0.871121999 | | 17.45172525 |
| 1966 | 10.32809244 | 12.93491815 | 0.710891382 | 4.206264706 | 1.0196641 | | 18.12107301 |
| 1967 | 10.9556248 | 13.8103546 | 0.574162147 | 4.863557846 | 1.166635088 | | 18.59831788 |
| 1968 | 11.21016771 | 14.6326452 | 0.605451997 | 5.566593157 | 1.207655726 | | 19.08938916 |
| 1969 | 11.60055435 | 14.61864861 | 0.725149509 | 6.338523165 | 1.348027309 | | 19.85794566 |
| 1970 | 11.80289054 | 16.01414875 | 0.942934535 | 7.368088744 | 1.668191979 | | 21.11125227 |
| 1971 | 11.80911757 | 16.29009027 | 1.042239697 | 7.545561028 | 1.782608723 | | 20.98020348 |
| 1972 | 11.95163155 | 17.329425 | 1.080676637 | 7.961462468 | 1.800808443 | | 21.74864198 |
| 1973 | 12.77968685 | 17.05995183 | 1.098195691 | 8.472958752 | 2.143330254 | | 22.51058213 |
| 1974 | 12.55966873 | 17.12344306 | 1.097367111 | 8.313879441 | 2.181664351 | | 21.50293038 |
| 1975 | 12.65989981 | 17.11161334 | 1.250124095 | 7.77267069 | 2.319371413 | | 20.40222407 |
| 1976 | 12.41679178 | 16.97924845 | 1.285283136 | 8.059719431 | 2.602807792 | | 21.15761537 |
| 1977 | 13.23189614 | 17.15211666 | 1.388842897 | 8.213496439 | 2.903242644 | | 21.53248401 |
| 1978 | 14.06985862 | 17.30306507 | 1.52920111 | 7.866857247 | 3.067572142 | | 21.97300469 |
| 1979 | 14.12909198 | 18.2093278 | 1.542675099 | 8.24734789 | 3.549056094 | | 21.78043698 |
| 1980 | 15.02491601 | 18.02276896 | 1.495250749 | 8.114017015 | 3.537650534 | | 20.78648774 |
| 1981 | 15.43250084 | 17.26921369 | 1.460431817 | 7.901592054 | 3.60873747 | | 19.76676417 |
| 1982 | 15.42493181 | 16.45944925 | 1.566739684 | 7.599902312 | 3.608409089 | | 18.59049523 |
| 1983 | 14.64008413 | 16.0546492 | 1.629055908 | 7.411085746 | 3.781078933 | | 18.57154371 |
| 1984 | 15.2209753 | 16.55885484 | 1.75044806 | 7.833248279 | 4.056610689 | | 18.97675027 |
| 1985 | 15.3084102 | 16.27010385 | 1.871054791 | 7.580675398 | 4.370304926 | | 18.88231274 |
| 1986 | 14.98057315 | 15.45768406 | 1.939434257 | 7.53411367 | 4.426967249 | | 18.72072272 |
| 1987 | 15.7469578 | 16.24667458 | 2.038410689 | 7.418518417 | 4.628848877 | | 19.35033442 |
| 1988 | 8.582936643 | 10.77084729 | 1.170381372 | 2.516537519 | 0.501837251 | | 15.99977916 |
| 1989 | 15.79616778 | 16.95682428 | 2.150905225 | 8.066694192 | 5.280829355 | | 20.01041341 |

装 订 线

续表 15

| 年度 | 澳大利亚 | 加拿大 | 中国 | 日本 | 韩国 | 俄罗斯 | 美国 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1990 | 16.51986292 | 16.92078279 | 2.153077911 | 8.329948098 | 5.555998042 | | 20.07576978 |
| 1991 | 15.45288167 | 15.65907038 | 2.167703077 | 8.873292835 | 5.760374252 | | 19.32336817 |
| 1992 | 15.12796621 | 15.14925974 | 2.245901276 | 8.871630055 | 6.039462229 | | 19.06223666 |
| 1993 | 15.31776851 | 15.46706396 | 2.31420729 | 9.046579237 | 6.498142885 | 13.97997354 | 19.14555576 |
| 1994 | 15.7014518 | 15.45706339 | 2.442800659 | 8.912179795 | 7.284858219 | 13.05174975 | 19.36346258 |
| 1995 | 15.57658628 | 15.6965288 | 2.565993892 | 9.389452085 | 7.706677234 | 11.44953608 | 19.37655644 |
| 1996 | 15.59651881 | 15.93322368 | 2.755754966 | 9.434444176 | 8.311071381 | 10.99555846 | 19.29565986 |
| 1997 | 16.50180039 | 16.15737155 | 2.844309582 | 9.579507892 | 8.869490025 | 10.88665067 | 19.52789051 |
| 1998 | 16.51427321 | 16.51685906 | 2.820567891 | 9.525758078 | 9.35798162 | 10.31678925 | 19.71427574 |
| 1999 | 16.93569585 | 16.74353274 | 2.67674598 | 9.160044153 | 7.882070871 | 10.12729917 | 19.6151546 |
| 2000 | 17.19029769 | 16.90086481 | 2.648649247 | 9.448842945 | 8.577710247 | 10.40068271 | 19.74781478 |
| 2001 | 17.20060983 | 17.37045161 | 2.696862433 | 9.622351624 | 9.52093176 | 10.62712053 | 20.20761476 |
| 2002 | 16.73336743 | 16.98502952 | 2.742120813 | 9.464308709 | 9.506313358 | 10.6696034 | 19.65619321 |
| 2003 | 17.37045177 | 16.55937785 | 2.885225041 | 9.573130135 | 9.777628886 | 10.71590102 | 19.63919577 |
| 2004 | 16.90195895 | 17.46386176 | 3.512245428 | 9.725282059 | 9.741365604 | 11.09064748 | 19.57623905 |
| 2005 | 17.02651535 | 17.26361022 | 4.080138906 | 9.909203497 | 10.03918357 | 11.12062698 | 19.68358135 |
| 2006 | 17.16971145 | 17.07597246 | 4.441150695 | 9.698882518 | 9.616547001 | 11.25352867 | 19.61027504 |
| 2007 | 17.65139831 | 16.51126435 | 4.892727098 | 9.632048618 | 9.72993278 | 11.66912207 | 19.11613882 |
| 2008 | 17.86526004 | 16.44645519 | 5.153564017 | 9.782963899 | 10.19958174 | 11.67245657 | 19.23746045 |
| 2009 | 18.16087566 | 16.21516426 | 5.417002118 | 9.449533972 | 10.36983266 | 12.01450651 | 18.48923375 |
| 2010 | 18.20018196 | 14.83731465 | 5.722912037 | 8.619441767 | 10.3465061 | 11.02385623 | 17.19236714 |
| 2011 | 16.92095367 | 14.48563861 | 6.554417958 | 9.150005372 | 11.46958747 | 11.72582001 | 17.48480315 |
| 2012 | 16.86260095 | 14.48134196 | 7.234858712 | 9.31842937 | 11.84024121 | 12.36753393 | 17.01943852 |
| 2013 | 16.51938578 | 13.85882662 | 7.418954608 | 9.639072463 | 11.68055773 | 12.81834526 | 16.28705288 |

注：Carbon dioxide emissions are those stemming from the burning of fossil fuels and the manufacture of cement. They include carbon dioxide produced during consumption of solid, liquid, and gas fuels and gas flaring.

谢辞

本文在指导老师的悉心教导和关怀下完成，从课题的研究思路和方法，到研究方向的突破与创新无不凝聚着导师的大量心血。值此论文完成之际，谨向黄民副教授表示衷心的感谢。

本文导师严谨的学术态度、对于问题敏锐的洞察能力和清晰的分析思路，使我受益匪浅，终身受用；导师的细心指导和鼓励，也为我提供了独立思考和解决问题的空间，使我最终能完成磁篇交叉学科的课题研究。

最后，在此向黄民副教授致以最诚挚的敬意与感谢，并祝愿老师在今后的工作研究中不断取得佳绩。

个人简历

个人简历

董家容，女，1994年3月生。

2012年9月入学同济大学化学工程与工艺专业就读。

装
订
线