



No. C2011010

2011-07

东亚能源市场一体化程度测量：主成分分析法¹

余淼杰²

北京大学国家发展研究院

中国经济研究中心

No. C2011010 2011年7月5日

摘要：本文使用主成分分析（PCA）方法测量了东亚 16 个国家目前的能源市场一体化（EMI）状况。这 16 国分别为东盟 10 国、中国、日本、韩国、印度、澳大利亚和新西兰。文中构建的能源市场一体化综合指数由四部分组成，分别是：（1）能源贸易自由化；（2）能源基础设施的发展；（3）能源市场自由化，以及（4）能源价格自由化。EMI 综合指数的获得经过以下两个步骤：笔者首先分别使用 PCA 方法构造上述四个指标。得到四个指标的预测值后，再次采用 PCA 方法计算得到 EMI 指数。结果表明，日本和新西兰等国的能源市场一体化程度最高。相比之下，中国、马来西亚和印度等国 EMI 的分数最低。四个东盟新成员国（CLMV，即柬埔寨、老挝、缅甸和越南）位于两者之间。以上结果无论采取不同的数据还是不同的测量方法都是稳健的。

关键词：能源市场整合；东亚；主成分分析

JEL 编码：F1, Q2, C1

¹ 笔者感谢 Fuku Kimura, 施训鹏、盛誉、查道炯以及 2011 年由亚洲经济研究所（ERIA）在雅加达举行的两次“能源市场一体化” workshop 与会者提出的宝贵建议。感谢苏晓童同学出色的助研工作。当然，文责自负。

² 北京大学国家发展研究院，中国经济研究中心（CCER），100871。电话：（+86）10-6275-3109；传真：（+86）10-6275-1474。邮箱：mjyu@ccer.edu.cn。

一、引言

在东亚峰会（EAS）上，东盟（ASEAN）长久以来都在寻求能源市场一体化（EMI），以支持其经济可持续增长。早在第一份东盟成立宣言发布（1967年8月）的前一年，泰国和老挝就签署了第一份能源协定。1975年东盟石油理事会（ASCOPE）成立之后，能源合作范围扩大到所有其他燃料。为了加强电力联网工作，1981年东盟电力公共事业机关（HAPUA）成立了首脑机构。1986年签订的东盟能源合作协议更是勾画了区域广泛合作的蓝图。

由于各成员国的努力，过去的四十年里，东亚各国已在形成统一的东亚能源市场这一道路上取得重大进展。为了进一步推动市场一体化的进程，我们需要更多相关信息，尤其是各国在EMI方面的现实状况。对各国的现状进行被测量并告知相关政府部门可以推动政策的制定。

今天，东盟10国、中国和印度，即所谓的ACI国家，仍然从世界各地进口大量能源产品，如石油、煤炭、天然气、液化天然气（LNG）和电力等。虽然作为整体的亚洲在能源上接近自给自足，但内部不同地区的能源供给并不平衡。同时，由于处于经济快速增长阶段，ACI各国面临着强劲的能源需求。正如“世界能源展望”（*World Energy Outlook, 2009*）的研究预测，ACI国家将继续作为初级能源需求增长的领头羊。特别是在2010到2030年，印度年均能源需求将增长3.4%，中国将增长2.9%，而东盟国家的增长率预计为2.5%。鉴于东亚地区能源需求的强劲增长，各国联合起来、努力实现地区能源市场一体化就迫在眉睫。

根据Shi和Kimura（2010）最近的研究，地区能源市场整合的进一步工作需要如下三个领域展开：（1）能源贸易与投资的区域协定；（2）能源基础设施的发展和能源市场自由化；（3）能源价格改革和化石燃料的补贴。然而，由于各国经济发展状况存在差异，以上每一个方面情况跨国不同。为了辅助政策的制定，本研究旨在利用主成分分析方法来构建一个指标体系，从而在各方面权重未知的情况下测量东亚峰会地区每个国家在EMI进程中的状况。本研究不仅提供了总体水平的测量，而且给出了每方面的信息（跨国可比），便于在第二步测量中识别其优先顺序，这也是本文对以往文献和研究的贡献之处。

本文结构安排如下：第二部分介绍“东盟+6”能源市场整合状况的一些既存事实。第三部分对主成分分析方法进行详细的技术层面的介绍。第四部分考核各国在能源一体化方面的所有分项指标的预测评分，并据此计算出每个国家的最终得分。第五部分是稳健性检验。第六部分小结。

二、东亚的能源市场一体化

Feenstra (1998) 指出, 贸易一体化和生产分离化是当今世界的两个重要特征。能源的生产和贸易也是如此。在本节中, 为了更好地了解东亚地区目前的贸易情况, 笔者同时考察能源的供给面和需求面。基本结论是: 尽管具有相对丰富的能源资源, 目前东亚仍是一个“能源饥渴”地区。因此, 区域能源贸易和市场一体化在促进东亚地区的可持续发展上起着重要作用, 并且十分必要和迫切。

(一)、东亚的能源供给

无论从能源储备还是从当前可实现的供给来看, 东亚都是一个资源相对丰富的地区。亚洲作为整体在能源供给上接近自给自足, 因而位于亚洲东南部的东盟+6 国大多拥有可观的能源资源。如表 1 所示, 在十六个国家中, 八个国家有探明石油和天然气储备, 七个有大量的煤炭储备。此外, 中国和东盟地区北部的国家蕴含丰富的水力资源, 可用来发电 (Nicolas, 2009)。

东亚的石油产量颇大。根据英国石油集团公司发布的最新的“世界能源统计评论”(BP statistical review of World Energy, 2010), 中国是世界第五大石油生产国。印度、马来西亚和印度尼西亚等国也出产大量石油。天然气储备和生产上我们也可以看到类似的情况。东盟+6 国作为整体拥有超过 7% 的世界天然气总探明储量, 其中印尼、中国和马来西亚的比重最大。结果是东亚的天然气产量约占世界总产量的 12%。³

此外, 东亚地区拥有相当大数量的煤炭, 尤其是在中国和印度。由于东盟+6 国大多是发展中国家, 煤炭仍在经济发展中起着重要作用。今天, 人们已经普遍认识到东亚已成为最重要的“世界工厂”, 并经历经济的高速增长。然而, 如果没有丰富的煤炭资源, 很难想象东亚各国可以实现这样惊人的经济成就。

表 1: 东亚能源资源探明储量和产量 (2009 年)

能源类型	石油		天然气		煤炭	
	储备 (十亿吨)	产量 (百万吨)	储备 (百万兆立方米)	产量 (十亿立方米)	储备 (百万吨)	产量 (百万吨油当量)
文莱	0.1	8.2	0.35	11.4	—	—

³ 根据《世界能源统计评论》(2010), 这一比重相当于美洲的总储备。

中国	2.0	189.0	2.46	85.2	114500	1552.9
印度	0.8	35.4	1.12	39.3	58600	211.5
印度尼西亚	0.6	49.0	3.18	71.9	4328	155.3
马来西亚	0.7	33.2	2.38	62.7	—	—
缅甸	—	—	0.57	11.5	—	—
泰国	0.1	13.6	0.36	30.9	1354	5.3
越南	0.6	16.8	0.68	8.0	150	25.2
日本	—	—	—	—	355	0.7
韩国	—	—	—	—	133	1.1
世界总量	181.7	3820.5	187.49	2987.0	826001	3408.6

数据来源：“世界能源统计评论”，英国石油集团公司。

对于东亚地区而言，虽然能源资源的可用性不是主要问题，但其资源分配并不平衡。一些国家的资源十分丰富，而另一些国家的资源非常稀缺。如表 1 所示，北部的日本和韩国虽然是东亚地区最发达的国家，但两国几乎没有能源资源。与之形成鲜明对比的是，中国和印度作为两个新兴巨人，能源储备丰富且有大量产出。另一个例外是新加坡，几乎没有被赋予任何能源自然资源，因此严重依赖于其近邻（印尼和马来西亚）的能源供应（Nicolas, 2009）。

东亚国家能源状况的第三个特点是需求的强劲增长。根据《世界能源展望（2009）》的预测，2007 至 2030 年，东盟初级能源需求将扩大 76%，年均增长率达到 2.5%，远高于世界其他地区的平均水平。具体说来，印度和中国的年均能源需求增长率分别为 3.4% 和 2.9%。即使在安全温室气体（GHG）排放水平内，东盟的年度需求增长（2.1%）仍远高于全球平均水平（1.5%）。以中国为例，十年后中国将超过美国成为世界上最大的石油和天然气进口消费国。在新世界的头三十年里，中国和印度将一起成为天然气消费增长速度最快的国家。所有这些统计数据清楚地表明，东亚地区在当今世界能源市场上占有重要地位。

综上所述，虽然东亚作为整体是一个资源（相对）丰富的地区，但其能源市场并不平衡且差异明显。较其迅速增长的初级能源需求而言，东亚能源供应相对短缺。这种整个地区能源的过度需求要求各国在区域合作和区域内能源贸易上作出进一步努力。然而东亚地区能源市场的一体化道阻且长，这一部分将在下文展开。

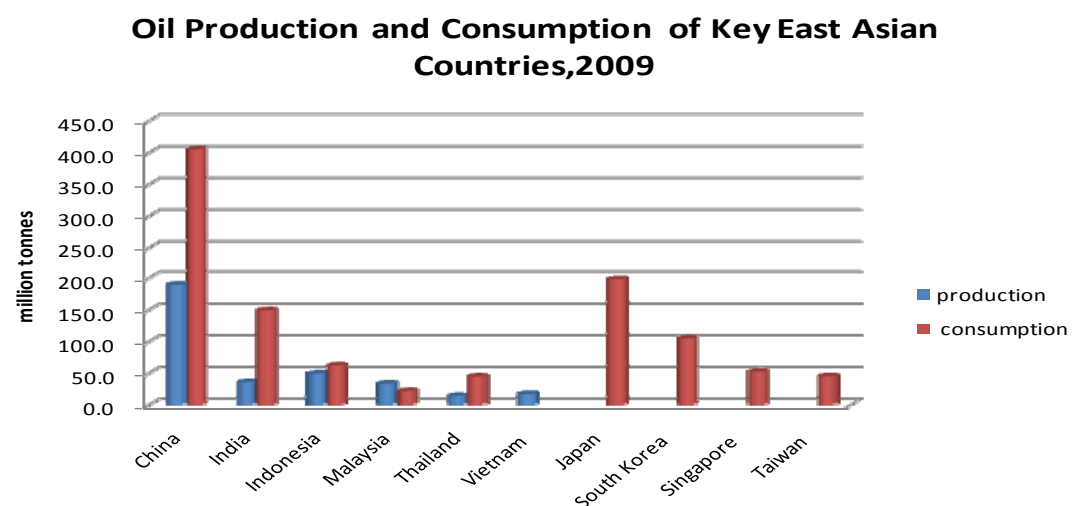
（二）、东亚内部的能源贸易

如前所述，亚洲作为整体来看能源供求基本平衡。东亚拥有丰富的石油、煤炭和天然气资源。然而，受资源分布不均和能源需求高增长的影响，东亚仍然是一个石油净进口地区。不平衡的资源分布使区域能源贸易得以需要和发生。在这一节，我们将考察当前每一种能源在东亚地区的贸易状

况。这些能源包括石油、天然气、煤炭和电力。

1. 石油贸易

我们首先来看石油贸易。如图 1 所示，2009 年东亚各国的石油生产和消费存在巨大缺口。在这些国家中，中国、印度、日本和韩国是最大的进口国。事实上，2008 年中、印、日三国石油总进口量达到 6.12 亿吨。这一数字和美国或整个欧洲的石油进口量已十分接近（同年二者的石油进口量分别为 6.37 和 6.81 亿吨）。通过出口进口的石油，新加坡成为这一区域最大的出口国和转口港。东亚地区其他的石油出口国有澳大利亚、中国、印度和日本，但出口量非常小。



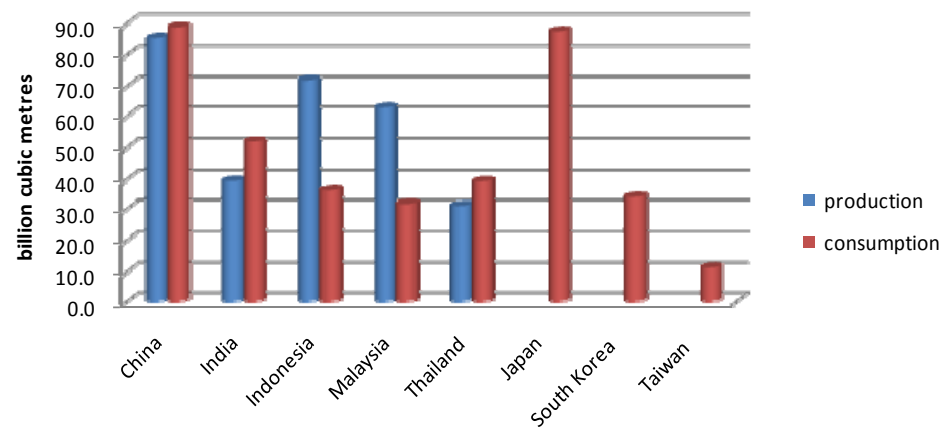
数据来源：“世界能源统计评论”，英国石油集团公司，2010。

表 1： 主要东亚国家的石油生产和消费

2. 天然气贸易

天然气可以通过天然气管道或转化为液化天然气（LNG）后用船运输。如图 2 所示，只有中国、印度等少数几个国家天然气生产和消费的缺口较小。其他国家（或地区）如日本、韩国、台湾有巨大的需求缺口。相反，印尼和马来西亚等国有额外的供给用来出口。

Natural Gas Production and Consumption of Key East Asian Countries, 2009

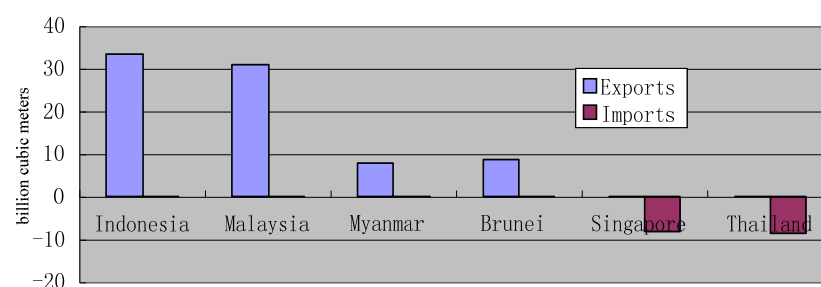


数据来源：“世界能源统计评论”，英国石油集团公司，2010。

图 2： 主要东亚国家的天然气生产和消费

图 3 显示了东盟国家管道天然气的贸易格局。结果正如我们所料，印度尼西亚、马来西亚、缅甸和文莱等国为天然气净出口国，而新加坡和泰国则是净进口国。特别的，印尼、马来西亚和缅甸都将天然气出口到单一国家。具体说来，缅甸只出口到泰国，印尼和马来西亚只出口到新加坡。

ASEAN Natural Gas Trade, 2008

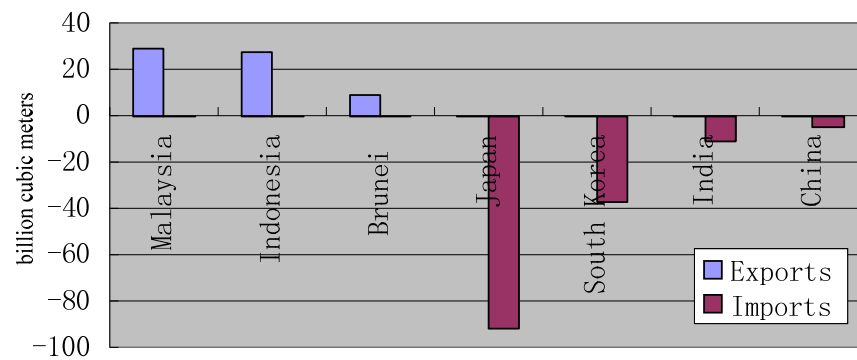


数据来源：“世界能源统计评论”，英国石油集团公司，2010。

图 3： 东盟国家的管道天然气贸易

天然气也作为液化天然气（LNG）在东亚内部贸易。同样，LNG 的主要出口国是马来西亚、印尼和文莱。进口方面，仅日本的 LNG 进口占比就超过了世界总量的 40%。此外，韩国、印度和中国等国为亚洲其他的大型 LNG 进口国，如图 4 所示。

ASEAN LNG Trade, 2008



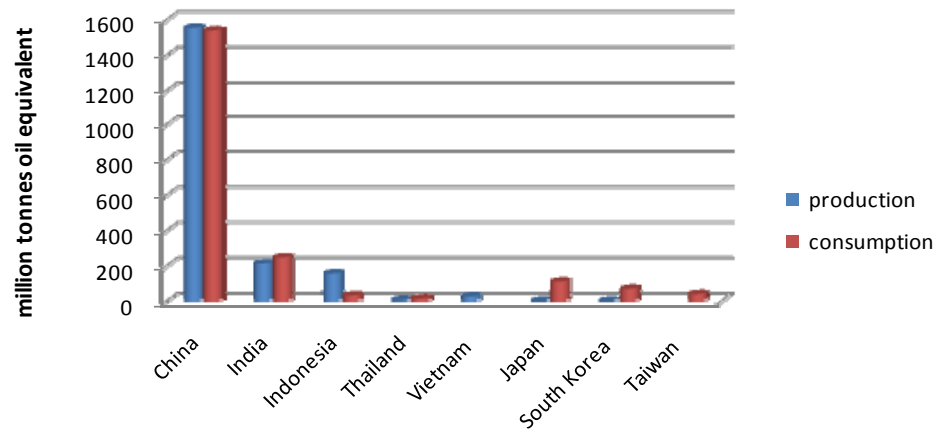
数据来源：“世界能源统计评论”，英国石油集团公司，2010。

图 4： 东盟国家的液化天然气贸易

3. 煤炭贸易

众所周知，中国是煤炭的大型供应国，2009 年其煤炭供给量高达 15.53 亿吨（油当量）。由于快速增长的经济的需要，中国也是一个巨大的煤炭消费国。2009 年中国的煤炭消费量达到 15.37 亿吨。如图 5 所示，以上两个数字远远超过东亚其他国家。然而在 2004 至 2007 年间，即使煤炭产量年均增长 8%，同期中国的煤炭出口年均降幅超过 12%。这很大程度上是因为中国日益增长的国内需求。我们再来看看其他国家，无论是煤炭生产和消费，印度都位居第二，尽管总量只分别相当于中国的产量或消费的 1/8。虽然排名靠前，印度仍然是一个煤炭进口国。东亚煤炭市场的最大出口国是澳大利亚和印度尼西亚，2007 年两国的总出口约 4.91 亿短吨（1 短吨为 2000 磅），占全球出口的 46%。另一方面，中国、印度、日本和韩国是东亚的煤炭进口国。

Coal Production and Consumption of Key East Asian Countries, 2009



数据来源：“世界能源统计评论”，英国石油集团公司，2010。

图 5： 主要东亚国家的煤炭生产和消费

4. 电力贸易

中国是东亚地区最大的电力出口国。2007 年，中国一共向香港和澳门出口电力 14 亿千瓦时，占整个亚洲出口的 19%。同一时期，中国进口 4.77 亿千瓦时，占整个亚洲电力进口的 8%。除此之外，东亚地区还有三个已完成的电网互联项目，分别连接泰国-马来西亚、马来西亚-新加坡和泰国-老挝，从而促进东南亚区域的电力贸易。在东亚地区，印度和泰国是两个重要的电力进口国，2007 年分别进口 4.96 和 4.488 亿千瓦时。

（三）、目前东亚的能源市场一体化

东亚各国为追求地区能源市场一体化（以下简称 EMI）已经做出了长期的努力。泰国和老挝于 1966 年签署的能源协议可以被认为是第一个成果，这一协定甚至比第一个东盟宣言还要早一年。此后，涉及所有燃料的多种形式的合作已逐步得到规划和实现。Shi 和 Kimura（2010）对各国为了促进能源合作所作出的努力进行了一个很好的总结。简言之，以下三方面是东亚 EMI 的强劲推动力：（1）一系列的东盟能源合作行动计划（APAEC，1999，2004，2009）突出了建设一个可靠、透明和合作的能源市场的重要性。（2）东盟经济共同体（AEC）蓝图强调通过跨东盟能源网络中的区域合作建立互联安排。其中，跨东盟能源网络包括跨东盟天然气管道（TAGP）和东盟电网（APG）（APAEC，1999）；（3）对能源合作的财政支持。东盟从对话伙伴，即欧联、日本、澳大利亚、中国、韩国和印度等国获得项目拨款和资助。这些项目有煤炭和清洁煤技术、能源效率和节能（EE

&C)、可再生能源和区域能源政策和规划等。这些资金可以推动 EAS 地区的基础设施、能源和资源、信息和通信技术等领域的发展。

此外，东亚国家特别是东盟国家定期举行的部长会议也对促进区域 EMI 发挥了至关重要的作用。过去的几十年里，除东盟之外，在以东盟为中心的原则下，许多制度性的合作框架得以建立，如东盟加一、东盟加三（东盟加中国，日本和韩国）和东亚峰会（EAS）。这些框架内也有定期的能源部长级会议。会议上采纳了许多工作计划和方案，涉及的领域有能源安全、能源效率和节能、石油市场和可再生能源等。

Shi 和 Kimura (2010) 指出为了实现更大程度的 EMI，有四个方面需要继续努力。为了更好地理解衡量能源市场一体化的定量指标，笔者在这里列出他们研究中的主要发现，见表 2。

表 2: Shi 和 Kimura (2010) 研究中 EMI 现状简介

方面	现状
能源贸易和投资的区域协定	已有的双边和多边自由贸易协定已广泛涉及到能源贸易和投资。 除了区域内部，东盟已就自由贸易 (FTAs) 和全面经济伙伴关系协定 (CEPAs) 同很多对话伙伴展开协商，其中就包括“+6”国家。 个别东盟成员国和其对话国的双边贸易协定已取得实质进展，然而东盟对话伙伴之间的双边 FTA 大多都在谈判中。
能源基础设施建设发展	尽管印度有潜力加入项目合作，但目前已成形的能源基础设施项目仅限于东盟和中国地区。 两个代表性项目是 APG 和 TAGP。东亚地区的政治互信是管道天然气和电力贸易的一个巨大壁垒，因而影响着能源基础设施的需求。
国内能源市场自由化	部分国家已经开始尝试市场自由化，但仍有很多工作要做。 在东亚峰会地区，澳大利亚、日本、新西兰、菲律宾和新加坡已经开始开放能源市场，而其他国家的能源市场都或多或少存在以下限制：市场由一些垂直一体化的供应商垄断、价格管制、贸易条件限制、电力网络和天然气管道不开放等等。
能源定价改革和化石燃料补贴	东亚峰会国家很多都存在价格限制和对能源产品进行补贴的情况。 澳大利亚、日本、韩国、新西兰和菲律宾已放开对能源价格管制。相比于煤炭、石油和天然气，电力价格的限制更加常见。

资料来源：Shi 和 Kimura (2010)

到目前为止，各方似乎一致认为能源市场的进一步整合不仅是内生的区域经济的要求，同时也有利于东亚地区人们福利的提高。但是，关键之处在于目前 EMI 进展状况，如果没有这些信息，

决策者就无从下手。因此，本文旨在使用主成分分析方法提供一个可靠的综合的定量指数来回答这一棘手的问题。我们接下来介绍 PCA 方法的技术要点。

三、主成分分析法

主成分分析（PCA）是一种识别数据路径的方法，通过突出数据间的异同之处而将数据重新表达。由于高维数据无法图示，因此人们很难发现其内含的路径。PCA则是一种分析数据的强大工具，可以在数据明确的权重不可得的情况下，构造一个跨国可比的指数。

在数据分析领域里，主成分分析法十分流行。Jolliffe（1986）是最早的系统论述PCA方法的研究之一。不同于给每一要素分配一个特设的权重，PCA方法能够找到最适用于每个成分的权重，特别是主要成分可以相继捕获原始数据的最大变化。PCA方法能确保最少的信息丢失，因而可以很好的应用于现实世界的经济分析。例如，song和sheng（2007）用PCA方法来解释中国1979年改革后的经济增长就是一个有趣的应用。

PCA方法的实质有如下几点。首先，PCA方法是为了寻求原始变量的线性组合，这样产生的派生变量捕获最大的方差。正如Shlens（2005）所强调的，这一步可以通过对数据矩阵的奇异值分解（SVD）完成。设数据X是一个n* p的矩阵，通过对数据剔除趋势（demean）我们可以得到特征阵列（eigen-arrays）U，U也是单位长度的主要成分（PCs）。同样，我们也可以得到作为主要成分相应载荷的特征根（eigen-genes）V。前q（q<p）个主要成分将被选来代表数据。当然，我们很有可能遇到变量缺失的情况，不过我们仍可以用修订的PCA方法来处理数据丢失的问题。在这里，我们使用Wiberg的方法。

现在我们进一步正式的引入PCA方法。⁴具体而言，考虑一个m* n的矩阵Y=[y1, y2,...yn]，其中每一个向量的均值为 $\bar{Y} = [\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_n]$ 。我们首先对数据剔除趋势（demean）

$X = [y_1 - \bar{y}_1, y_2 - \bar{y}_2, \dots, y_n - \bar{y}_n]$ 。X矩阵的协方差如下： $C_X = \frac{XX^T}{n-1}$ ，这是一个对称正

矩阵。下一步是对协方差矩阵进行特征值分解。特别的，我们需要计算m维特征向量

$E = [e_1, e_2, \dots, e_m]$ 及其对应的特征值 $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m]$ 。需要注意的是，

$C_X E = [C_X e_1, C_X e_2, \dots, C_X e_m] = [\lambda_1 e_1, \lambda_2 e_2, \dots, \lambda_m e_m]$ ，其中第二个等号由特征值和特征向量的性质

⁴ 对技术细节不感兴趣的读者可以直接跳到这一部分的末尾。

得到。现在，我们可以将矩阵作如下转化：

$$C_X E = [\lambda_1 e_1, \lambda_2 e_2, \dots, \lambda_m e_m] = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{21} & \dots & e_{m1} \\ e_{12} & e_{22} & \dots & e_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{1m} & e_{2m} & \dots & e_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \lambda_m \end{bmatrix} = ED,$$

其中D为特征值矩阵。因此，我们得到： $C_X = EDE^{-1}$

接下来的任务是找到一个正交矩阵P，满足 $Q=PX$ ，且其协方差是对角化了的，即非对角项都为零。我们可以证明该正交矩阵P即为特征向量矩阵E。若要规范的推导，考虑矩阵

$Q = [q_1, q_2, \dots, q_n]$ ，我们有： $Q = E^T X$ ，其协方差矩阵为：

$$C_Q = \frac{QQ^T}{n-1} = \frac{E^T XX^T E}{n-1} = E^T \left(\frac{XX^T}{n-1} \right) E = E^T C_X E = E^T EDE^{-1} E = D,$$

其中倒数第二个等号是因为之前已经得到的 $C_X = EDE^{-1}$ ，而最后的等号成立是基于事实：一个正交矩阵的逆是其转置。也就是说，矩阵 C_Q 的协方差矩阵确是一个对角矩阵。

最后一步从特征向量矩阵E中选出同最大特征值 λ_k 相联系的特征向量 e_k 。新的 $1 \times n$ 维向量 $q_k = e_k^T X$ 即是原始向量X的主要成分。通过这样的方法，最初的 $m \times n$ 维矩阵转化为一个 $1 \times n$ 维矩阵。

现在我们可以用一种读者友好的方式来对教科书上的繁琐步骤做一总结。我们首先用矩阵形式对原始数据降维，并计算其协方差。之后，我们找到了协方差矩阵的特征向量和相关的特征值。接着，我们将所有的特征值排序并选出最大的一个。最后一步是求出矩阵的主要成分，仅仅将选中的特征向量同最初降维后的矩阵相乘就可以得到。

四、测量能源市场一体化状况

这一部分的主要目的是测量和计算东亚各国，特别是东盟+6国的EMI分数。根据Shi和Kimura（2010）的做法，最终的得分来自于以下四个指标的主要成分：（1）区域能源贸易自由化；（2）能源基础设施发展；（3）国内能源市场自由化，和（4）能源价格自由化。

为了计算最后的 EMI 得分，以下两个计算步骤必不可少。首先，我们需要确定每个主要成分的子成分。一旦子成分被选择出来，我们就可以采用 PCA 方法计算主要成分的预测值并作为一个指数记录下来。第二，有了这四个预测的指标，我们能够计算出 EMI 的预计的主成分（即最后得分）。

本节的其余部分组织如下：笔者首先检查各主要指标的每个子部分来获得其预测得分。最后计算各国 EMI 的总得分。

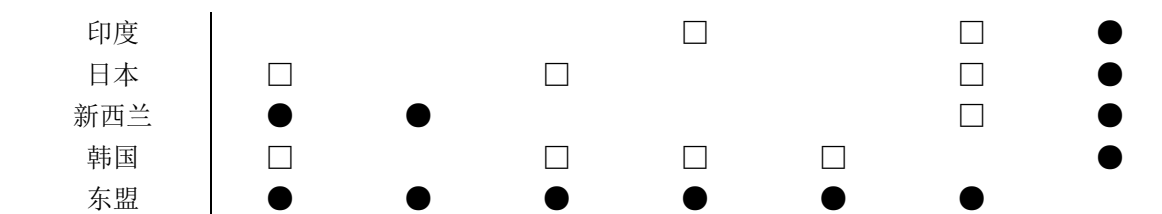
（一）、测量能源贸易一体化程度

正如 Nicolas (2009) 记载的，东盟自由贸易协定始于 1992 年。在 2010 年，完全的自由贸易涉及东盟最初的 6 个国家，不过这一范围将在 2015 年之前扩大到 CMLV（柬埔寨，缅甸，老挝和越南）国家。因此，现在东盟国家的主要目标是形成一个包括其他亚太国家的更大的自由贸易区。目前人们热议的方案有三种。第一种是东盟加上中国形成一个新的东盟+1 自由贸易区。第二种是东盟+3 自由贸易区，包括东盟 10 国和中日韩三国。最后一个可能是将东盟+3 的自由贸易协定范围扩展到东盟+6，额外加上澳大利亚、印度和新西兰。本文关注最后一个方案，采用更广阔的视野来考察亚太 16 国的能源市场一体化。

目前东盟自由贸易协定的内容不仅包括定期的商品关税的降低，而且涉及各种非关税贸易壁垒的逐步淘汰。特别是它也将对能源部门的贸易自由化作为重点。目前，东盟 10 国已同亚太地区的其他国家签订 FTA 或 EPA（经济合作协定）。因此，可以直接用与一国有 FTA 关系的亚太地区国家的数量来衡量该国能源部门贸易自由化的状况。例如，每个东盟国家已同澳大利亚、中国、印度、日本、韩国和新西兰签署或实现了 FTA，但反过来却并非如此。中国只同东盟 10 国和新西兰签署了 FTA，和澳大利亚的谈判还在进行中。因而按签署了 FTA 的国家数来计算，每一个东盟国家有 16 分。相比之下，中国只有 12 分，并且在同其他四个国家签署 FTA 上仍然没有取得重大进展。

表 3：东亚峰会地区 FTA 和 EPA 状况

	澳大利亚	中国	印度	日本	新西兰	韩国	东盟
澳大利亚		□		□	●	□	●
中国	□				●		●



注释：●：FTA 已签署；□：谈判中

资料来源：Shi 和 Kimura (2010)

然而，仅这一项得分和现实还差的很远。还有一些其他的经济指标可以帮助我们了解东亚地区的能源贸易自由化状况。在这里笔者考虑以下五个指标：（1）能源净进口与消费之比。较大的该指数表明一国严重依赖国际能源市场，因为大部分国内能源消费都来自进口。（2）能源产量（千吨石油当量）和总能耗。这两个指标衡量一国能源市场的经济规模。（3）人均能源消费量（公斤石油当量/人）。这一指标同时反映一国的经济规模和人口数量。（4）单位 GDP 能耗（公斤石油当量/美元，按照 2005 年购买力平价计算），可以考察能源使用的效率。这一数字越大，表明该国越有效率。表 3A 给出了上述基本指标的汇总统计。

表 3A：能源贸易自由化各项指标汇总统计

变量	均值	标准误	最小值	最大值
已签署的 FTA 数量	9.625	0.957	9	12
能源净进口与消费之比	-35.13	170.3	-630	100
能源产量（千吨石油当量）	221997	445529	0	1.80E+06
总能耗（千吨石油当量）	262702	485155	2767	2.00E+06
人均能源消费量（公斤石油当量）	2694	2285	319	7190
单位 GDP 能耗	5.876	1.455	4	9

根据上述信息，我们可以使用 PCA 方法计算出能源贸易自由化的总体预测分数。表 3B 列出了能源贸易自由化数据六个特征向量的特征值。

表 3B：使用 PCA 方法得出的能源贸易自由化的特征值

成分	特征值	差值	比例	累计比例
C1	2.5529	0.9009	0.4255	0.4255

C2	1.6520	0.5710	0.2753	0.7008
C3	1.081	0.5741	0.1802	0.881
C4	0.5069	0.3253	0.0845	0.9655
C5	0.1816	0.1560	0.0303	0.9957
C6	0.0256	.	0.0043	1

数据来源：作者自己计算。

图 6 将六个特征值由大到小排序，并显示了 95% 的置信区间。在这里，我们也计算了异方差引导（heteroskedastic bootstrap）置信区间。显然，最高特征值为 2.552，最低只有 0.02。

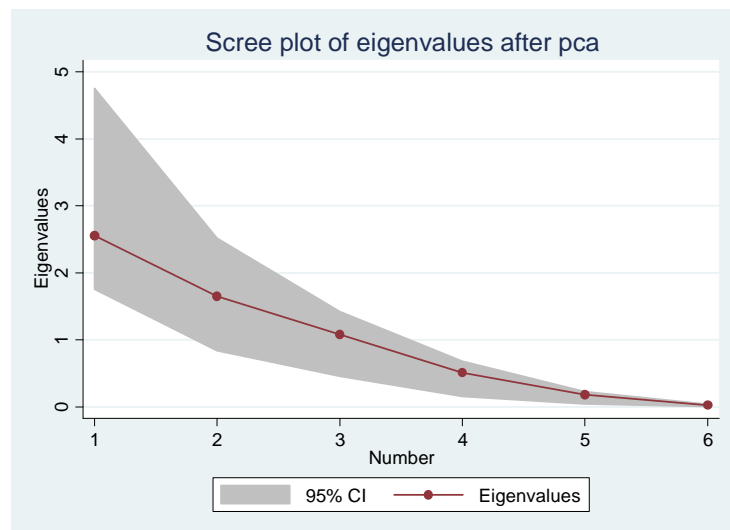


图 6：能源贸易自由化指标的特征值

下一步是考察主要成分（PC）得分和原始数据的相关性。从表 3C 可以看到，已签署的 FTA 数量这一变量主要载荷在 C2 和 C3 上。同样，能源净进口与消费之比大量分配在 C3 和 C1 上。能源产量显著依赖于 C1 和 C4，总能耗则为 C1 和 C4。最后，C5 和 C2、C4 和 C3 分别占人均能源消费量和单位 GDP 能耗很大权重。

表 3C：能源贸易自由化原始数据和特征向量的相关性

变量	C1	C2	C3	C4	C5	C6
----	----	----	----	----	----	----

已签署的 FTA 数量	0.252	0.534	0.318	-0.698	-0.251	-0.026
能源净进口与消费之比	0.194	-0.249	0.840	0.108	0.423	0.063
能源产量（千吨石油当量）	0.575	0.215	-0.164	0.266	0.013	0.724
总能耗（千吨石油当量）	0.562	0.241	-0.041	0.407	-0.038	-0.676
人均能源消费量（公斤石油当量）	-0.302	0.633	-0.104	0.076	0.700	-0.013
单位 GDP 能耗	-0.401	0.384	0.392	0.509	-0.515	0.115

数据来源：作者自己计算。

有了这六个特征值，我们现在选择其中权重最大的（即 2.552）并用它来计算各国能源贸易自由化的得分。表 3D 给出了各国的分数。显然，收到国家的经济规模较大的影响，中国、印度和印度尼西亚的能源贸易自由化程度较高。回想一下，能源产量和总能耗两个变量的确可以反映一国的经济规模。这一点可以从另一个角度被证实，因为文莱和新加坡这样的小国在能源贸易自由化上得分垫底。

表 3D：使用 PCA 方法计算得到的能源贸易自由化分数

国家	分数	国家	分数	国家	分数
中国	5.1034	老挝	-0.1645	日本	-0.4068
印度	1.3743	澳大利亚	-0.2799	缅甸	-0.4884
印度尼西亚	0.6093	马来西亚	-0.3075	菲律宾	-0.6024
越南	0.1934	韩国	-0.3319	新加坡	-1.8452
泰国	-0.0770	新西兰	-0.3474	文莱	-2.3081
柬埔寨	-0.1213				

数据来源：作者自己计算。

（二）、测量能源基础设施建设发展状况

根据 Shi 和 Kimura（2010）研究，能源基础设施状况是衡量东亚地区 EMI 的另一个重要的角度。我们选择以下指标来测量该这一点：（1）用电量（千瓦时/人），（2）公路部门能耗（占总能耗的%），以及（3）人均公路部门油耗（千吨油当量）。用电量虽然不是测量能源基础设施的直接指标，但是二者正相关。相比之下，公路部门能耗和人均公路部门油耗可以分别从总量和人均的角度直接衡量能源基建发展状况。另一个潜在的指标是东盟各国天然气管道的长度。在这里，笔者先不将其包括入内而是在之后的稳健性检验中使用。表 4A 总结了上述指标的基本统计数据。

表 4A: 能源基建发展状况各项指标汇总统计

变量	均值	标准误	最小值	最大值
用电量 (千瓦时/人)	361.8	154.5	24	933
公路部门能耗	13.37	5.88	4	27
人均公路部门油耗	0.2	0.40	0	1

数据来源: 作者自己计算。

同之前一样, 我们首先用 PCA 方法计算上述三个变量的特征值的预测分数。具体说来, 就是先计算出三个变量的协方差矩阵, 然后获取其特征向量和相关的特征值。表 4B 将能源基础设施发展的特征值从大到小进行了排序。

表 4B: 使用 PCA 方法得出的能源基建发展的特征值

成分	特征值	差值	比例	累计比例
C1	1.5047	0.5154	0.5016	0.5016
C2	0.9893	0.4834	0.3298	0.8314
C3	0.5059	.	0.1686	1

数据来源: 作者自己计算。

从图 7 可以看到, 最高的特征值 (1.504) 约为最低 (0.505) 的 3 倍。同时, 笔者再次计算和给出了每个特征值的异方差引导置信区间。

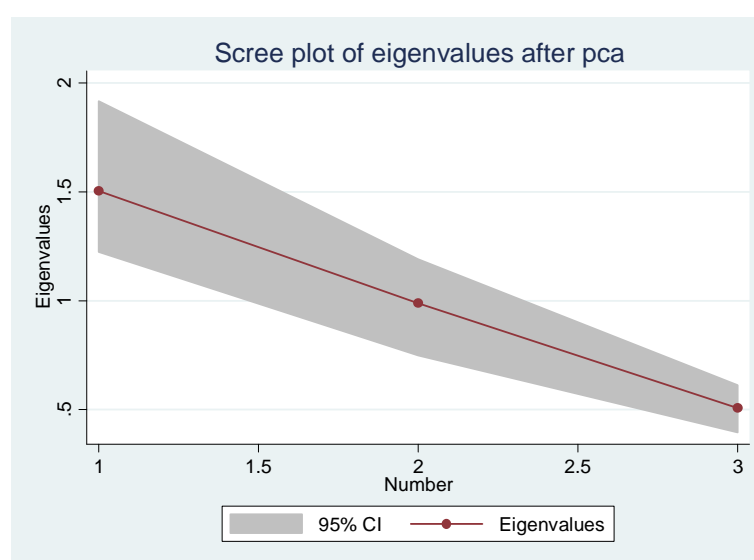


图 7： 能源基建发展指标的特征值

接下来是主成分（PC）得分和原始数据的相关性。表 4C 显示，用电量主要承载在 C2 上。相比之下，公路部门能耗和人均公路部门油耗都显著依赖于 C1 和 C3。

表 4C： 能源基建发展原始数据和特征向量的相关性

变量	C1	C2	C3	未解释部分
用电量（千瓦时/人）	0.264	0.937	0.228	0
公路部门能耗	0.703	-0.025	-0.711	0
人均公路部门油耗	0.660	-0.348	0.667	0

数据来源：作者自己计算。

最后一步是将与最高的特征值相匹配的特征向量同标准化了的数据相乘，从而计算每个国家的能源基建发展状况得分，结果列于表 4D。可以看到，新西兰、澳大利亚和文莱等拥有得天独厚的资源优势的国家具有更高的得分。但由于缺失数据，我们并没有老挝的分数。因而从某种程度上来说，这一指数比较并不完整。在下文，笔者将使用 Wilberg 的方法来解决这个问题。

表 4D： 使用 PCA 方法计算得到的能源基础设施发展得分

国家	分数	国家	分数	国家	分数
新西兰	2.9688	泰国	0.1086	印度	-0.9024
澳大利亚	1.9972	印度尼西亚	-0.1451	中国	-1.3488
文莱	1.3899	日本	-0.2557	缅甸	-1.4274
菲律宾	0.8442	韩国	-0.3772	柬埔寨	-1.4274
越南	0.2506	新加坡	-0.8630	老挝	.
马来西亚	0.2301				

数据来源：作者自己计算。

（三）、测量国内能源市场自由化程度

Shi-Kimura（2010）提出一种对东亚能源市场一体化程度定性评估的方法，即指出每一国政策和现状的优劣之处。在这里笔者量化了他们的研究中的每项因素。具体来说，如果该因素在 Shi-Kimura（2010）研究里是正的（+），就赋予其 1 分；相反，如果是负数（-），就记一个-1。此外，笔者还从 Shi-Kimura（2010）研究中提取了其他一些指标，例如核能（占总能耗的%）和可燃可再生能源和废弃物（占总能源的%）。基于这样的定量测量，可以得到以下有关能源市场一体化的数据。

表 5A: 由 Shi-Kimura (2010)定性指数得到的 EMI 数据

国家	石油	煤炭	天然气	电	核能	可再生资源
澳大利亚	2	1	-1	4	1.3	4.3
文莱	0	—	-3	-5	0.0	0.0
柬埔寨	1	—	0	0	0.1	70.5
中国	-3	1	-2	-1	3.2	9.9
印度	1	-3	1	-2	2.7	27.2
印度尼西亚	-1	3	3	-3	3.7	27.5
日本	3	3	2	1	15.3	1.4
老挝	—	1	—	-2	—	—
马来西亚	-2	1	-2	-4	0.8	4.0
缅甸	1	1	1	0	1.9	66.3
新西兰	2	0	2	3	25.9	6.6
菲律宾	2	—	-1	4	23.8	19.2
新加坡	3	—	2	2	0.0	0.0
韩国	2	2	1	-3	16.9	1.2
泰国	2	-1	3	-1	0.7	17.8
越南	1	0	-2	3	4.6	44.0

数据来源：作者自己计算。

然后我们可以得到数据的汇总统计情况，列在表 5B。在前四个指标上，一国可以实现的最大数值为 4，这表明该国在能源市场一体化方面有四个优点。相比之下，一些国家有的分数-3，意味着该国有三个缺陷。

表 5B 能源市场自由化各项指标汇总统计

变量	均值	标准误	最小值	最大值
石油	0.9351	1.6918	-3	3
煤炭	0.7324	1.4477	-3	3
天然气	0.2658	1.9137	-3	3
电	-0.25	2.8636	-5	4
核能	6.7624	8.7077	0	25.9
可再生资源	19.690	22.641	0	70.5

数据来源：作者自己计算。

类似之前的做法，笔者接下来通过求出六个变量的协方差矩阵来计算六个主成分的特征向量，

如表 5C 所示。

表 5C: 使用 PCA 方法得出的能源市场自由化的特征值

成分	特征值	差异	比例	累计比例
C1	2.0785	0.6480	0.3464	0.3464
C2	1.4305	0.4624	0.2384	0.5848
C3	0.9682	0.2418	0.1614	0.7462
C4	0.7264	0.2030	0.1211	0.8673
C5	0.5233	0.2503	0.0872	0.9545
C6	0.2731	.	0.0455	1

数据来源: 作者自己计算。

图 8 从大到小绘出了六个特征值和 95% 的置信区间。可以看到, 特征值最高为 2.55, 最低为 0.02。

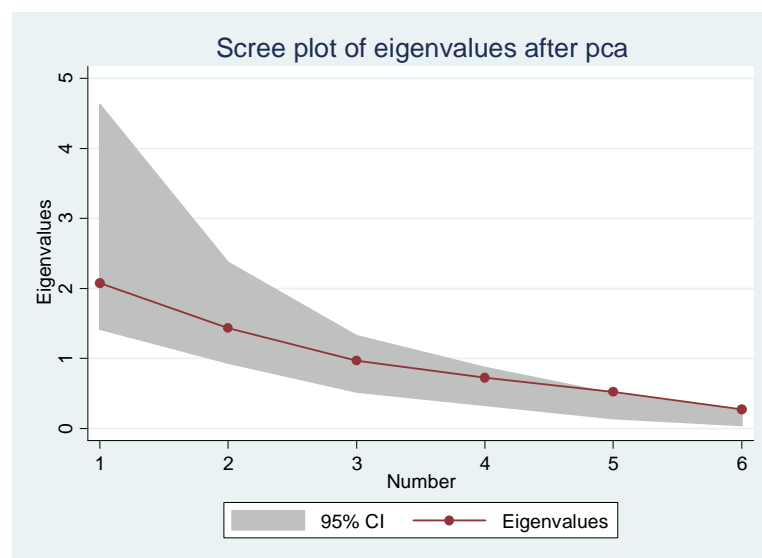


图 8: 能源市场自由化指标的特征值

下一步是计算主要成分 (PC) 得分和原始数据的相关性。表 5D 表明, 石油市场的自由化这一变量依赖 C1 的程度最大。而煤炭、天然气和电力市场自由化的主要部分分别落在 C4、C3 和 C6 上。相比之下, 核能主要反映在 C2 和 C4 上, 可再生资源则在 C5 上。

表 5D: 能源市场自由化原始数据和特征向量的相关性

变量	C1	C2	C3	C4	C5	C6	未解释部分
石油	0.5953	0.155	0.1093	-0.1661	-0.3921	0.6545	0
煤炭	0.0585	-0.6304	0.1642	0.7055	-0.2561	0.0944	0
天然气	0.3868	0.0754	0.7995	-0.0416	0.1429	-0.4281	0
电	0.4921	0.2498	-0.4854	0.2561	-0.3096	-0.5462	0
核能	0.4898	-0.2865	-0.274	0.0269	0.7646	0.1329	0
可再生资源	-0.1027	0.6545	0.1055	0.6377	0.2826	0.2519	0

数据来源：作者自己计算。

最后，我们计算每个国家的能源市场自由化得分，使用的方法还是用有最高特征值的特征向量乘以标准化转换后的数据。如表 5E 所示，新西兰的能源市场一体化程度最高，马来西亚最低。

表 5E：使用 PCA 方法计算得到的能源市场自由化分数

国家	自由化得分	国家	自由化得分
新西兰	2.3899	老挝	-0.2326
日本	1.9467	缅甸	-0.2598
菲律宾	1.8116	印度	-0.5429
新加坡	1.1869	柬埔寨	-0.6321
韩国	0.7558	印度尼西亚	-0.7168
澳大利亚	0.6226	文莱	-2.0821
泰国	0.3960	中国	-2.1167
越南	-0.1381	马来西亚	-2.3887

数据来源：作者自己计算。

（四）、测量能源价格和化石燃料补贴状况

同前几项一样，我们可以按照 Shi-Kimura (2010) 中提到的定性指标来衡量能源价格状况。具体而言，我们给石油、煤炭和天然气市场中的每一个积极的方面赋值 1；相反，如果一国在这方面表现较差，就给 -1 分。此外，我们还在分析中考虑以下三个指标：（1）柴油零售价（美元/公升）；（2）汽油零售价（美元/公升）；（3）化石燃料总能耗（占总能耗%）。根据这样的标准，我们得到用来衡量能源价格和补贴行为的数据，列于表 6A。

表 6A：能源价格和补贴数据

国家	石油	煤炭	天然气	电	柴油价格	天然气价格	化石燃料总能耗 (%)
----	----	----	-----	---	------	-------	-------------

澳大利亚	1	1	1	0	0.94	0.74	94.4
文莱	-1	-	-1	-2	0.21	0.38	100.0
柬埔寨	-1	-	-1		0.89	0.94	29.1
中国	-2	0	-1	0	1.01	0.99	86.9
印度	-1	0	0	-2	0.70	1.09	70.0
印度尼西亚	-1	1	-1	-2	0.46	0.60	68.8
日本	1	1	1	0	1.54	1.74	83.2
老挝	-1		-1	-1	0.76	0.92	
马来西亚	-1		-1	-1	0.53	0.53	95.5
缅甸	-1		-1	-1	0.52	0.43	31.7
新西兰	1	1	1	1	0.85	1.09	67.4
菲律宾	2	1	1	1	0.81	0.91	57.0
新加坡	1	-	1	1	0.90	1.07	100.0
韩国	2	1	1	1			81.9
泰国	-1	1	-1	-1	0.64	0.87	81.2
越南	0	1	-1	-1	0.77	0.80	51.4

表 6B 给出了以上指标的汇总统计情况。

表 6B: 能源价格自由化各项指标汇总统计

变量	均值	标准误	最小值	最大值
石油	-0.125	1.2583	-2	2
煤炭	0.8062	0.3409	0	1.0279
天然气	-0.1875	0.9811	-1	1
电	-0.4841	1.0895	-2	1
柴油价格	0.7689	0.2910	0.21	1.54
天然气价格	0.8739	0.3226	0.38	1.74
化石燃料总能耗 (%)	73.006	22.047	29.1	100

数据来源: 作者自己计算。

再一次我们遵循“食谱”的步骤, 先计算六个变量的协方差矩阵, 从而得到与特征值相关的特征向量, 如表 6C 所示。

表 6C: 使用 PCA 方法得出的能源价格自由化的特征值

成分	特征值	差值	比例	累计比例
C1	3.5639	2.0922	0.5091	0.5091

C2	1.4717	0.3357	0.2102	0.7194
C3	1.1360	0.6957	0.1623	0.8817
C4	0.4403	0.1644	0.0629	0.9446
C5	0.2760	0.2027	0.0394	0.9840
C6	0.0733	0.0346	0.0105	0.9945
C7	0.0387	.	0.0055	1

数据来源：作者自己计算。

同样，图 9 以递减的趋势给出了每个特征向量的特征值。特征值最高达到 6.1，最低只有 0.2。

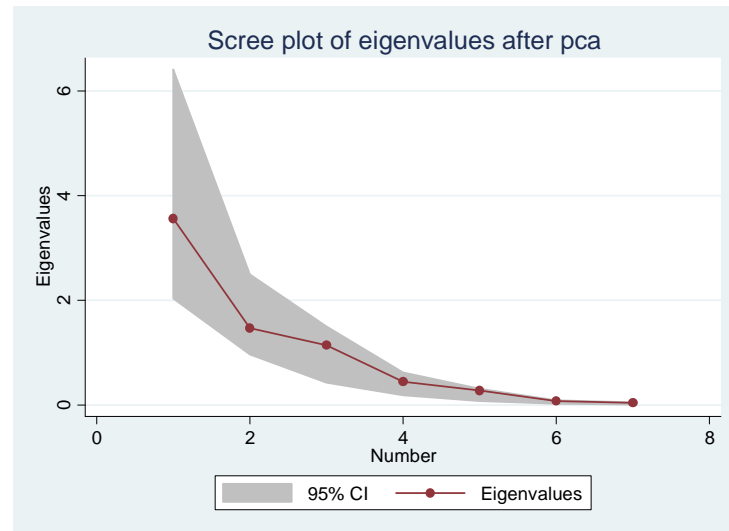


图 9：能源价格自由化指标的特征值

表 6D 列出了能源价格自由化的观测数据和特征向量的相关性。对于石油价格自由化而言，最重要的组成部分是 C1，煤炭、天然气和电力则分别是 C2、C1 和 C5。连续数据方面，柴油和天然气定价分别依赖 C1 和 C6。最后，C6 也是化石燃料消费的主要部分。

表 6D： 能源价格自由化原始数据和特征向量的相关性

变量	C1	C2	C3	C4	C5	C6	未解释部分
石油	0.456	0.297	0.257	-0.074	-0.336	-0.002	-0.7206
煤炭	0.138	0.712	-0.066	0.625	0.161	0.073	0.2182
天然气	0.485	0.015	0.245	-0.173	-0.463	-0.239	0.6349
电	0.455	0.099	0.127	-0.442	0.704	0.260	0.0908

柴油价格	0.413	-0.261	-0.442	0.222	0.251	-0.659	-0.1424
天然气价格	0.390	-0.352	-0.426	0.241	-0.222	0.660	0.0266
化石燃料总能耗（%）	0.091	-0.451	0.690	0.520	0.199	0.030	-0.0277

数据来源：作者自己计算。

基于表 6D，我们接下来用 PCA 方法计算能源价格自由化的得分，结果列于表 6E。可以发现，日本在能源价格自由化上得分最高，之后是韩国、菲律宾和新西兰。相比之下，文莱和印尼等国得分最低。

表 6E：使用 PCA 方法计算得到的能源价格自由化得分

国家	自由化得分	国家	自由化得分
日本	3.4566	越南	-0.6707
韩国	2.1080	老挝	-0.8987
新加坡	2.0943	泰国	-1.0101
菲律宾	2.0921	印度	-1.0326
新西兰	2.0466	马来西亚	-1.6417
澳大利亚	1.4448	缅甸	-1.9095
中国	-0.6655	印度尼西亚	-2.0603
柬埔寨	-0.6683	文莱	-2.6850

数据来源：作者自己计算。

（五）、第二次主成分分析结果

到目前为止，我们已经计算了四类预测分数来衡量能源市场一体化，即：（1）能源贸易自由化；（2）能源基础设施的发展；（3）能源市场自由化，以及（4）能源价格自由化。表 7A 给出了这些变量的汇总统计情况：

表 7A：四个变量的汇总统计

变量	均值	标准误	最小值	最大值
国家编码	8.5	4.760	1	16
能源贸易自由化	1.82E-08	1.597	-2.3081	5.1034
能源基建发展	0.0695	1.286	-1.4274	2.9688

能源市场自由化	1.02E-07	1.441	-2.3886	2.3899
能源价格自由化	4.10E-08	1.8878	-2.6845	3.4566

数据来源：作者自己计算。

再一次，我们可以计算以这四个变量为基础的数据的协方差，然后是四个特征向量及相应的特征值。我们将特征值在表 7B 中降序排列。

表 7B: 使用 PCA 方法得出的 EMI 综合指数的特征值

成分	特征值	差值	比例	累计比例
C1	2.1966	1.1653	0.5491	0.5491
C2	1.0312	0.3972	0.2578	0.8070
C3	0.6340	0.4959	0.1585	0.9655
C4	0.1381	.	0.0345	1

数据来源：作者自己计算。

接着是图示的各特征值和异方差置信区间。

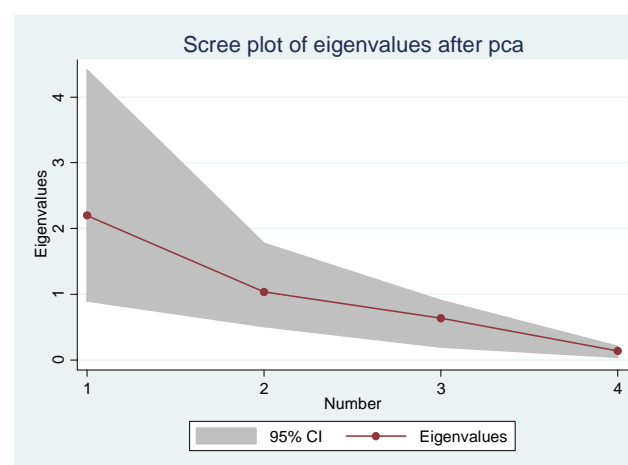


图 10: EMI 指数的特征值

特征向量和四个预测变量的相关情况总结如下：

表 7C: EMI 指数数据和特征向量的相关性

变量	C1	C2	C3	C4	未解释部分
能源贸易自由化	-0.369	0.644	0.653	0.151	0
能源基建发展	0.408	-0.519	0.750	-0.037	0
能源市场自由化	0.617	0.286	-0.101	0.726	0
能源价格自由化	0.563	0.484	-0.004	-0.670	0

数据来源：作者自己计算。

基于这些信息，我们现在能够计算出各国能源市场一体化的综合指数，见表 7D。

表 7D：使用 PCA 方法计算得到的能源市场一体化得分

排名	国家	EMI 得分	排名	国家	EMI 得分
1	新西兰	2.5580	9	文莱	-0.7296
2	日本	1.7761	10	柬埔寨	-0.9241
3	菲律宾	1.7159	11	缅甸	-1.0486
4	澳大利亚	1.3289	12	印度尼西亚	-1.1205
5	新加坡	1.1947	13	印度	-1.1606
6	韩国	0.8364	14	马来西亚	-1.3673
7	泰国	-0.1213	15	中国	-2.6790
8	越南	-0.2592			

数据来源：作者自己计算。

显然，新西兰的能源市场一体化得分最高，为 2.56，然后是日本、菲律宾、澳大利亚、新加坡和韩国。相比之下，中国的能源市场一体化得分最低，只有-2.67。马来西亚、印度和印度尼西亚只比垫底的中国略好。其余国家介于以上两个集团之间，并且基本上属于 CLMV 国家。

尽管绝大部分东亚国家的分数和排名已经确定，老挝的数据仍然缺失。因此，笔者在计算中舍弃能源基础建设发展状况，重新进行主成分分析的常规步骤。表 7E 列出了新的排名。同 7D 一样，日本和新西兰 EMI 的得分最高，中国和马来西亚与得分最低。CLMV 国家仍然处于两者之间。

表 7E：使用 PCA 方法计算得到的能源市场一体化得分（含缺失值）

排名	国家	EMI 得分	排名	国家	EMI 得分
----	----	--------	----	----	--------

1	日本	2.1941	9	老挝	-0.3838
2	新西兰	1.9079	10	柬埔寨	-0.5031
3	菲律宾	1.7034	11	缅甸	-0.6749
4	新加坡	1.6706	12	印度	-0.9018
5	韩国	1.1514	13	印度尼西亚	-1.1751
6	澳大利亚	0.8497	14	文莱	-1.4201
7	泰国	-0.1426	15	马来西亚	-1.6301
8	越南	-0.3364	16	中国	-2.3094

数据来源：作者自己计算。

五、小结

虽然就储备和产量而言，东亚是一个能源相对丰富的地区，但由于能源分布不均和过度需求，东亚仍面临着能源供应不足的问题。因此，东亚各国迫切需要区域内能源贸易和在一体化市场方面进一步的合作。这反过来要求我们用一种科学的方法来衡量该地区每个国家在 EMI 中的状况和地位。

本文旨在通过提供东亚各国能源市场一体化程度来解答以上问题。特别的，本文关注的是整个东亚 16 国，包括东盟 10 国、中国、日本、韩国、印度、澳大利亚和新西兰。笔者使用一种可靠的统计方法，即主成分分析（PCA），来衡量能源市场一体化（EMI）程度。具体而言，反映 EMI 的得分由四个重要部分组成：（1）能源贸易自由化；（2）能源基础设施的发展；（3）能源市场自由化，以及（4）能源价格自由化。由于每个主要成分还包括许多次级指标，因此每个国家的 EMI 最后分数分两个步计算。笔者首先计算每个主成分的测量得分；然后通过再次应用 PCA 方法得到 EMI 程度的最后得分。

笔者的估计表明，日本和新西兰等国具有最高程度的能源市场一体化。相比之下，中国、马来西亚和印度等国 EMI 分数最低。相对较差的东盟国家（即 CLMV 国家）位于两者之间。以上结果在采取不同方法和数据下都是稳健的。

这一结果的政策内涵很简单。由于能源市场的进一步整合有利于每一个国家，东亚各国应尽最大努力提高其能源市场一体化程度。有了手头的 EMI 估计得分，其中已经在 EMI 进程落后于别人的国家应该迎头赶上。

参考文献

- Feenstra, Robert (1998), "Integration of Trade and Disintegration of Production in the Global Economy," *Journal of Economic Perspectives*, pp. 31-50.
- Jolliffe, I.T. (1986), "Principal component analysis". Springer Verlag, New York, University of Geneva.
- Nicolas, Françoise (2009), "ASEAN Energy Cooperation: An Increasingly Daunting Challenge," paper from Institut Français des Relations Internationales (IFRI), available at IFRI: www.ifri.org/downloads/fnicolas.pdf
- Shi, Xunpeng and Fukunari Kimura (2010), "Review of Initiatives Toward, and Estimated Benefits from, Integrating the Energy Market in the East Asia Summit Region," ERIA Research Project Report 2009, No. 13.
- Shlens Jonathon (2005), "A Tutorial on Principal Component Analysis," Working paper, University of California, San Diego.
- Song Ligang and Yu Sheng (2007), "The Impact of Reform on Economic Growth in China: A Principal Component Analysis," Paper provided by World Institute for Development Economic Research (UNU-WIDER) in its series Working Papers with number RP2008/12.
- Hui Zou, Trevor Hastie, and Robert Tibshirani (2006), "Sparse Principal Component Analysis," *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15(2), pp. 265-286.