



No. C2011001

2011-01

能耗强度止降源于产业结构变化

王子 徐建国¹

北京大学国家发展研究院

No. C2011001 2011年1月3日

摘要：1978-2002年以来我国的能源消耗强度以每年5%的速度迅速下降，2002年后能耗强度止降反升，这与我国产业结构的变化基本同步。受此启发，本文探索能耗强度变化与产业结构变化的关系，发现我国能耗强度的止跌反升与第二产业特别是重工业比重的上升有关。日本和韩国的经验佐证了能耗强度与第二产业的比重同向变化而与第三产业的比重反向变化。基于50个国家的回归分析表明能耗强度与人均收入负相关，与第二产业和净出口占国内生产总值比重正相关。

关键词：能耗强度，产业结构

JEL 分类号：O10, Q43

¹ 作者感谢宋国青教授的启发，感谢世界经济学会第30届年会参与者的批评与建议。文责自负。批评与建议请联系徐建国，电子邮件：jgxu@ccer.edu.cn，电话（86）10-62759293，通讯地址：北京大学中国经济研究中心，邮政编码：100871。

Stagnation of energy efficiency improvement in China

Zi Wang, Jianguo Xu

(National School of Development, Beijing University)

Abstract: Energy consumption intensity in China decreases 5% each year from 1978 until 2002, when the improvement stagnated. This stagnation is accompanied by an increase in the share of the second industry in GDP, especially that of heavy industry. Such a relation between energy consumption intensity and economic structure also exists in the history of Korea and Japan. Regression analysis based on 50 countries shows that energy consumption intensity decreases with per capita income and increases with the share of second industry and net export in GDP.

Key words: Energy efficiency, Industrial structure

JEL code: O10, Q43

1 引言：“错失”的能源效率进步

2008年，我国GDP为7.3万亿美元（2005年不变价格，经购买力平价调整），共消耗20亿吨油当量²，能耗强度为275吨/百万美元。作为比较，2008年世界平均的能耗强度为176吨/百万美元，经济合作与发展组织（OECD）国家的平均能耗为149吨/百万美元。也就是说，每生产一个美元的产出，我国比世界平均多消耗50%的能源，比代表发达国家的OECD国家多消耗了一倍的能源。

与能耗强度高并存的另一个事实是1978年以来我国的能耗强度一直下降，每百万美元能耗从1978年的995吨油当量下降到2008年的275吨油当量，下降72%，平均每年下降4%。同期世界平均能耗强度从1978年的255吨下降到2008年的176吨，平均每年下降1%（图1）。也就是说，我国的能源利用效率一直在提高，并且比世界平均水平提高更快，但是依然远低于世界平均效率。

图1还传达了一个重要的信息：我国能耗强度并非一直下降，而是在2002年出现了一个拐点。能耗强度在2002年达到了266吨/百万美元的低点，这也是我国的历史低点，其后上升到2004年的297吨/百万美元，然后逐渐下降到2008年的275吨/百万美元，与2001年持平。也就是说2008年的能耗效率与2001年相比没有进步。这与1978年到2001年年均每年下降约30吨/百万美元，或者5%，形成强烈对比。

这一对比的含义重大。倘若2002-2008年7年间每年延续1978-2001年间的速度，年均下降5%，到2008年我国的能耗就可以低到192吨/百万美元，比实际值低83吨/百万美元，或者30%。这一数字虽然依然比发达国家的146吨/百万美元高出30%，却已经非常接近176吨/百万美元的世界平均能耗水平。

换言之，从能耗改进的角度来说，我们失去了2001-2008年间的这7年时间，

² 油当量（Oil Equivalent）是将各种能源换算成能发出同样电能的石油，以便于比较不同种类能源消耗以及计算总体能耗的国际标准单位。具体的能源换算公式：

1吨油当量=1.5吨硬煤=3吨褐煤=12兆瓦时电力=7.33桶原油=1百万立方米天然气=0.82吨液化气；核能与水能换算按照发出同样电能所需化石燃料数量，假设能量转换效率为38%。

错失了赶上世界平均水平的时间，后果是每百万美元多耗费 83 吨油当量。以每吨 70 美元计算，相当于每百万美元多耗费 5800 美元的能源。2008 年我国的国内生产总值是 7.3 万亿美元，折算出相当于多耗费 6 亿吨油当量，相当于能耗总量的 30%，价值 420 亿美元。考虑到 2000 年以来我国一直是能源净进口国，且净进口总量从 2000 年的 7 千万吨上升到 2008 年的 1.7 亿吨油当量，如果能源利用效率按照 1978-2001 年的速率改善，我国根本无须净进口能源，2001 年以来的能源价格飙升的格局可能就根本不会出现。

这一假设的情形基于简单的线性预测，目的在于凸显 2002 年的转折的含义重大，其背后的原因值得探究。这在我国能源消费越来越大，已经成为世界第二大能源消费国，占到世界能源消费的 20%，并引发了能源价格的巨幅上涨的背景下，对于我国经济的可持续发展具有重要的意义。

节约能源，提高能源使用效率不仅仅具有经济增长上的含义，另外两个重要的含义是气候变化与环境保护：其一，能源的消费及相关的碳排放增加可能与气候的变化不无关系；其二，能源的消费，特别是煤的大量消费对我国环境造成了沉重的负担，对居民身体健康和生活质量都构成了巨大的威胁，也对经济的可持续发展造成了威胁。

本文探究 2002 年的转折的原因。分析表明，2002 年以来的能耗强度的止跌回升与产业结构的变化在时间上同步，这里面有两层意思。首先，2002 年以来，我国第二产业从 2002 年的 44.8% 高水平上升到 2006 年的 48.7% 并稳定在这一水平。与此同时，服务业在 2002 年达到 41.5% 的高点，其后下降到 2006 年的 40% 并稳定在这一水平，在 2009 年以前再也没有达到 41.5% 的高点。测算表明，第二产业比第三产业多耗能 150%。其次，我国的工业中重工业份额自 1997 年以来，特别是 2002 年以来，一直增加，进一步增加了能耗。利用跨国数据的回归分析表明，能耗强度与人均收入负相关，而与第二产业和净出口占国内生产总值的比重正相关。

本文下文组织如下。紧接着的第 2 节介绍相关的文献，第 3 节介绍我国能源消费的现状，并且与主要其他国家和世界平均水平比较，勾画出能源消费的背景和概况。第 4 节审查能源消费强度的时间序列变化，特别是产业结构变化的关系，并且与日本与韩国的经验作比较，从中归纳出一般的假设。第 5 节利用跨国数据进行检验。第 6 节小结。

2 文献综述

一个经济体的能源利用效率用单位产值能耗来表达，单位产值能耗越低，能源利用效率就越高。单位产值能耗由两个方面的因素决定，一是技术方面的因素，即生产一定量的产品需要多少能源由使用的生产技术决定；二是经济方面的因素，即生产什么，产品价值的高低等等。文献中常把前者成为能源技术效率，后者成为能源经济效率（史丹，2002）。这二者当然是相关的，比如，能源价格的提高可能促进节能技术的进步，再如，经济体制决定的经济运行的效率，进而决定先进的节能技术是否被采用，以及生产过程中是否存在大量的浪费，包括能源浪费。

对于能耗强度与经济的关系没有太多理论支撑，被较多提到的是环境库兹涅茨曲线假说（Environmental Kuznets Curve, EKC），其本意是研究污染排放与经济增长的关系，在一定收入阶段，污染强度随经济增长而上升，到了某个收入水平后转而随增长而降低（Grossman 和 Krueger, 1995），呈现倒 U 型曲线的关系。而后很多研究将其延伸到能耗领域，假定环境污染强度与能耗强度密切相关，从而得到能耗强度与收入水平也呈倒 U 型曲线的关系（Suri 和 Chapman 1998）。

能耗强度与经济的关系更多的在实证研究中得到分析，目前的研究主要从能耗强度的国际比较、变化趋势和影响因素方面进行研究。能耗强度国际比较方面，Nagata (1997) 讨论了能耗强度的衡量指标并对日本和美国的能耗强度进行对比。他发现，用“真实能耗强度”计算，即去除气候、能源价格、人口结构等非技术因素的能耗强度，美国能耗强度在 1989 年比日本高出 23%。而孙立成、

周德群和李群（2008）计算了包括中国在内 12 个国家的全要素能耗强度，发现中国能源利用效率与其他国家相比水平仍然较低，但效率改进迅速。

能耗强度变化趋势方面，Howarth, Schipper 与 Andersson（1993）研究了五个 OECD 国家 1973-1988 年的“真实能耗强度”，发现其均有不同程度的下降。同时这种变化与各国经济结构变化有关，具体而言，该研究发现美国在这段时期制造业、交通能耗强度和居民生活能耗大幅下降，其他部门能耗强度下降较少。挪威服务业和居民能耗强度上升很快，而制造业能耗强度显著下降。西德在这段时期除交通外其他部门能耗强度都显著下降。日本总体能耗强度下降了 28%，但部门平均能耗强度仅下降了 14%，体现了结构变化对能耗强度的影响。这篇文章从具体案例的角度分析了产业结构和部门能耗强度变化对总体能耗强度的影响。

更多的研究集中在能耗强度的影响因素。其中中国在 1978-2002 年间能源利用效率的持续改进受到很多的关注，相当多的研究讨论这段持续改进过程的原因。这部分研究大多采用因素分解法（如 Sun (1998)采用的完全分解法），利用时间序列和行业分解的信息，分离不同因素的影响。受关注较多的因素有：

1) 技术效率因素

Jorgenson（1984）首先从逻辑上阐述了能源利用技术与生产率发展的正向关系。而研究中国能耗强度变化的众多研究 (Huang, 1993; Sinton 和 Levine, 1994; Garbaccio 等, 1999; Zhang, 2003; Fisher-Vanden 等, 2003)都认为技术效率提高，尤其是各产业产业内技术效率提高，是导致中国能耗强度在 1980 年后快速降低的主要原因。而李廉水、周勇（2006）把广义技术进步分解为科技进步、纯技术效率和规模效率，发现技术效率（纯技术效率与规模效率的乘积）是工业部门能源效率提高的主要原因。

2) 结构因素

Garbaccio 等（1999）用因素分解法发现 1978-1995 年，产业结构变化事实上导致中国能源消费的增加。而 Ma 与 Stern(2008)同样用分解法，发现 1980-2003

年中国产业和部门结构变化提高了中国的能耗强度,但在 1994-2003 年这段时间,产业内部门结构变化降低了中国的能耗强度。但由于这只是分解法得到的结果,很难对于具体哪些结构变化,如何影响能耗强度做出更为详细的分析。史丹(2002)对于产业结构对中国能耗强度的影响作了更为细致的分析,发现 1990 年之前,中国产业结构变动,尤其是工业比重的下降,降低了能耗强度;而 1990-1995 年,工业比重重新上升,产业结构对能耗强度有提升作用;1995 年之后,虽然产业结构变化仍然提升能耗强度,但提升作用已经大大降低。本文延续史丹(2002)的思路,试图理解 2002 年之后中国能耗强度下降停滞与产业结构变迁的关系。

3) 能源价格

Cornillie 和 Fankhauser(2004)对转型国家的研究认为能源价格因素是提高能源利用效率的关键因素。而 Huang 和 Tu(2007)对中国的研究也发现能源价格提高有助于降低能耗强度。

4) 对外开放的影响

Suri 和 Chapman(1998)发现对工业化国家而言出口制成品可能提高能耗强度,而进口制成品则降低其能耗强度。张少华、陈浪南(2009)则发现经济全球化对改善中国能源利用效率有所帮助。史丹(2002)认为对中国而言,要素流入和流出在不同时期都有助于能源利用效率的提高:1980-1992 年间,中国能源供不应求,要素的流出带动产业结构变化,有助于能耗强度降低;而 1993 年后,要素流入尤其是大型跨国企业的直接投资提高了外资企业的管理和技术水平,为中国企业做了很好的示范,也提高了能源利用效率。

Ma 和 Stern(2008)对 1980-2003 年中国能耗强度变化做了比较细致的研究,方法仍然基于因素分解。他们发现技术效率提高是 1980-2003 年中国能耗强度降低的主要驱动因素,产业结构变迁则阻碍了能耗强度的降低,而 2000 年之后中国能耗强度的上升则归结为能源技术效率提高的减速甚至出现退步。

综上所述，已有研究对于 1978 年以来的能耗变化做了仔细的研究，对变化的原因做了有益的探索，但是对于 2002 年以来我国能耗效率的停滞不前，据我们所知，还没有进行仔细和深入的研究。本文将对于这一新的重要变化，从国际比较的框架出发，梳理全球能耗水平、强度的变化趋势，并检验经济发展诸多方面的因素对能耗强度的影响，侧重于利用具体案例比较，分析经济结构因素对能耗强度的影响。在这些分析的基础上，本文将对中国的能耗强度变化趋势，尤其是 2002 年之后中国能耗强度下降趋缓乃至反弹做出解释。

3 中国能源消费现状：能耗强度 1978-2002 年持续下降以及之后的停滞

1990 年至 2008 年，世界能源消费总量上升了约 40%。表 1 列出了世界主要能源消费国 1990-2008 年的能源消费水平，我们可以看到，中国 2008 年能源消费总量约为 1990 年水平的 3 倍，能耗增长速度大大快于世界平均水平。尤其是 2000-2008 年这一段，能耗水平翻了一倍。另外，亚洲的发展中国家和地区，如印度、韩国和台湾，能耗水平在这段时期也翻了一番以上。与此相对，日本、美国、德国、法国和英国等发达国家的能源消费水平基本不变，甚至出现负增长。可以说从大的趋势上看，能耗水平的国际差异，与这段时期各国经济增长情况是吻合的。在这段时期崛起的，经济增长速度快的国家，在生产更多产品，创造更多财富的同时，也消耗着更多的能源。

结合表 1 中下半张表中各国能源净出口的数据看得更加清楚。中国从 1990 年的净出口 3800 万吨油当量能源，变为了 2008 年净进口 1.7 亿吨油当量能源，其中主要为石油进口。印度、韩国、台湾的情况与中国类似，能源净进口水平至少都翻了一番。发达国家中，美国能源净进口最多，且增长迅速，这可能与其不断增长的生活能耗有关。日本、德国和法国也一直是能源进口的大户，能源流入逐渐小幅上升。英国能源禀赋从较少依赖进口转变为约 25% 能源依赖进口。总结起来，从 1990 年至今，世界能源越来越多的流向亚洲新兴市场经济体，支撑着这些经济的发展。

下面我们来看单位 GDP 能耗水平，这个指标可以在大体上反映出一个国家的能耗强度，也就是能源利用效率水平。图 1 比较了中国、美国、日本和韩国在 1978-2008 年的能耗强度变化情况。我们可以发现，中国能耗强度远高于其他国家和世界平均水平；但在 2002 年之前，中国能源利用效率的改进幅度也远高于世界平均水平：1978 年中国能耗强度约为世界平均水平的 4 倍，而 2002 年低点是已经下降到仅高出 40%。对于这段持续的能耗强度下降，之前研究大多认为能源技术效率的改进是主要原因(Huang, 1993; Sinton 和 Levine, 1994; Garbaccio 等, 1999; Zhang, 2003; Fisher-Vanden 等, 2003; 李廉水、周勇, 2006)。而对于产业结构变化的作用则有不同的看法，Fisher-Vanden 等（2003）认为产业结构变迁阻碍了中国能耗强度的降低，而史丹（2002）则认为 1978-1990 年，产业结构变化有助于中国能耗强度的降低，而 1990 年之后则是阻碍作用。同时史丹（2002）认为，能源经济效率的改进，尤其是中国市场化的提高，对于 1978-2002 年持续的能源利用效率改进有很大作用。

如前文所述，另一值得关注的现象是，2002 年之后中国相对世界平均水平的能耗强度又有所反弹，到 2008 年，中国能耗强度已高出世界平均水平 56%，1978-2002 年持续下降的趋势有了明显的反转。对于这个现象现有的研究还关注得不多，Ma 和 Stern (2008)认为能源技术效率改进速度的放慢和倒退是这段时期能耗强度下降停滞的主要原因。

我们把比较的范围扩大，表 2 列出了 2008 年主要能源消费国中，能耗强度最大的十个国家。我们可以看到排在前面的多是前苏联转型国家。对比这些国家 1990-2008 年能耗强度变化可以看到，这些高耗能国家的能源利用效率改进总体上是十分迅速的，除了冰岛，其他国家的能耗强度都有相当程度的下降，冰岛的能耗上升可能与其收入迅速上升，加上地理气候寒冷共同导致的生活耗能增加有关。中国能耗强度在 2008 年排名第 9，但 1990-2008 年能耗强度的下降幅度却居第 2，百分比居第一，可见中国能源利用效率改进幅度，在世界处于领先地位。

中国能源利用效率改进幅度领先于世界平均在表 3 中得到更加清楚的显示。

1990-2008年，世界平均能耗下降了19%，而中国下降了50%，在主要能源消耗国中是下降最快的。作为比较，能耗强度较高的俄罗斯下降了29%，南非下降了12%，加拿大下降了17%。OECD国家平均下降了22%，而美国下降了28%。发达国家的能耗下降可以大致归结为两个因素。一是能源利用技术的进步，二是产业结构的变化，特别是把能耗高的制造业转移到不发达国家去。

我国能源消费的另外一个特征是煤的比例偏大，占到70%左右，而世界平均水平2000年仅为25%，2008年上升到29%，这一上升主要是由于中国的能源消费份额的上升。³主要国家中，只有南非比我们高，达到78%的水平，印度约为52%，也显著比我们低。煤的特点是利用率较低，二氧化碳和污染物排放强度较大，给减轻碳排放强度和环境保护带来较大压力。

总结起来，世界能源消费近二十年来不断增长，能源不断流入新兴市场经济体，尤其是中国。中国的能耗强度远高于世界平均水平，但1978-2002年期间，中国能源利用效率持续改进，能耗强度大幅降低。2002年之后，相对于世界平均水平，中国能源利用效率持续改善的趋势出现了停滞甚至反转。下一部分我们将利用能源消费和经济发展的时间序列以及跨国比较数据，来理解这个能源利用效率变化的这一关键性反转。

4 能耗强度与产业结构

在分析了中国能源消费的现状后，我们需要对中国能耗强度变化的时间序列做更为详细的分析，以理解影响这一变化的重要因素。

图2呈现出的重要事实是，2002年之后我国能耗强度下降停滞，甚至反弹，与产业结构的变化在时间上有同步性。2002年我国第三产业增加值占GDP比重达到了改革以来历史高点，约为41.5%，结束了从1985年的28.6%开始的持续

³ 1990-2008年我国在全世界的能源消费份额从10.4%上升到18%，上升了7.6个百分点，而能源消费结构中煤的比重比世界平均水平高了44个百分点，二者相乘导致世界能源消费中煤的比重上升了3.3个百分点，占到1990到2008年世界能源消费煤的比重上升的80%以上。

增长；而后缓慢下降到 2008 年的 40%。与此同时，2002 年我国能耗强度达到改革后低点 266 吨油当量/百万美元，结束之前持续高速的下降，之后反弹至 297 吨油当量/百万美元，并在 280 左右徘徊。2008 年的 275 吨油当量/百万美元尚高于 2002 年的能耗强度水平。

结合表 5 我们可以看到，第二产业能耗强度远高于第三产业，二产能耗强度为三产的近 3 倍。其中又以制造业能耗强度最高，超出我国总体能耗强度水平约 70%。第三产业中除了交通运输行业能耗强度较高外，其他行业能耗强度不高。2002-2008 年间，我国第二产业增加值比重从 44.7% 上升到 48.6%，同时第三产业增加值比重从 41.5% 下降至 40%。即使产业能耗强度不变，这一结构变化也足以导致中国能耗强度下降进程的停滞甚至反弹。

邻国韩国和日本的经验可以佐证产业结构与能耗强度的相关变化关系。图 3 给出了韩国能耗强度与产业结构的关系图显示韩国也经历了同样的故事。其第二产业增加值比重从 1970-1990 年期间处于上升态势，其能耗强度也稳步上升。从 1990 年到金融危机以前，能耗强度上升而第二产业比重没有明显上升，可能是因为第二产业内部结构的变化，尤其是韩国汽车工业出口的高速扩张有关。考虑到这段时期全球平均能耗强度持续下降，这种变化更加有说服力。而在金融危机以后，韩国的第二产业比重下降，能耗强度也开始随之下降。日本的故事正好相反。从图 4 可以看到，1970 年代以来，日本第二产业一直稳步下降，而其能耗强度也稳步下降。日本的情形与产业转移理论相符，发达国家在一定阶段将高耗能、高污染企业转移到发展中国家，完成内部产业结构变迁，工业比重下降和服务业比重上升使其能耗强度快速下降。日本能耗强度下降的另外一个原因是节能技术的进步。

除了第二产业比重的上升，中国工业的“重化”对 2002 年之后能耗强度停滞不降甚至反弹，也有一定的解释力。从图 5 中我们可以看到，2002 年之后，中国的重工业能耗效率改进要略好于轻工业。2002-2006 年间，中国轻工业能耗强度上升了 11%，而重工业能耗强度略微下降了 0.28%。但是，中国工业平均能耗

强度仍然上升了 8%，这里面的原因是，重工业的能耗远高于轻工业，而中国重工业增加值占工业增加值的比重，由 2002 年的 63%，上升到了 2006 年的 70%，因此，工业重化导致了工业平均能耗强度的显著上升。

联系前面的分析，我们可以看到：重工业能耗强度远高于轻工业，工业的重化导致工业能耗强度的上升；而工业能耗强度远高于服务业，工业比重的上升导致总体能耗强度的上升，结构因素作用抵消并超过了产业内部能耗效率提升的作用，导致了能耗强度的止降反升。

为了量化上述逻辑对解释中国 2002 年后能耗强度下降趋势的变化的解释力，我们可以进行一个简单的估算：利用 2002 年和 2006 年中国的总体能耗强度、三次产业能耗强度以及轻重工业能耗强度，可以推算出假定产业结构不变化的情况下，中国的能耗强度与实际数据会有多大差异。这里面有三个层次的估算。

2002 年我国能耗强度为 266 吨油当量/百万美元，而 2006 年为 291 吨油当量/百万美元，上升了 25 吨油当量/百万美元。现在假设 2006 年三次产业增加值比重与 2002 年相同，即将 2006 年三次产业能耗强度（分别为 88，434，174 吨油当量/百万美元）按照 2002 年三次产业增加值比重（分别为 13.7%，44.8% 和 41.5%）加权平均，得到产业结构不变下能耗强度为 278.5 吨油当量/百万美元，比实际值低 12.5 吨油当量/百万美元，占上升的 25 吨油当量/百万美元的一半。换句话说，产业结构的变化可以解释 2002-2006 年中国能耗强度上升的 50%。

进一步的，我们可以计算工业“重化”对我国工业能耗强度提升的作用。2002 年我国工业能耗强度为 411 吨油当量/百万美元，2006 年为 444 吨油当量/百万美元，上升 33 吨油当量/百万美元。如果将 2006 年我国轻重工业能耗强度（分别为 171 和 563 吨油当量/百万美元）按照 2002 年轻重工业增加值占工业比重（分别为 37% 和 63%）加权平均，得到没有“重化”的工业能耗强度为 416 吨油当量/百万美元，仅比 2002 年上升 5 吨油当量/百万美元，即工业“重化”解释了工业能耗强度上升的 85%。

把两个因素结合考虑，如果既没有第二产业比重上升，又没有工业“重化”。即先将 2006 年轻重工业能耗强度按 2002 年轻重工业增加值比重加权，得到没有“重化”的工业能耗强度，416 吨油当量/百万美元；再把没有“重化”的工业能耗强度加入 2006 年三次产业能耗强度中，按照 2002 年三次产业增加值比重加权，得到既不工业“重化”，又没有产业结构变化的能耗强度，结果为 270 吨油当量/百万美元，仅比 2002 年高出 4 吨油当量/百万美元。也就是说，产业结构变化的两个因素解释了 2002-2006 年中国能耗强度 84% 的提高。

另外一个角度的估算是给定我国各产业的能耗强度，假定我国的产业结构是世界平均或者发达国家的水平，从中可以推算出一个给定我国现有技术水平但是没有产业结构扭曲的能耗强度。我国 2008 年的三产占比分别为 11.3%，48.6%，和 40.1%。假设服务业占比上升到 55%，也就是中等收入国家的平均水平（相当于印度的水平），减少的部分由农业和工业平分，那么三产占比分别为 8.5%，36.5%，55%。然后根据能源的技术效率不下降的假设，三产内部的能耗占按照有数据的历史最优水平计算，也就是农业 84 吨油当量，工业 344 吨油当量，服务业 172 吨油当量，则总的能耗约为 228 吨油当量/百万美元，比 2008 年的实际值降低了 47 吨油当量/百万美元，或者降低了 17%。换句话说，产业结构的变化至少导致每百万美元多消耗 47 吨油当量。

上面的测算只是假定产业结构没有发生不利于能耗强度降低的变化会怎么样，说明了能耗强度的升高是因为产业结构发生了不利于能耗效率提高的变化。上述测算不能解释为什么 1978-2002 年以来我国能耗强度一直快速下降的趋势发生了反转。一个假说是能源利用技术发生了停滞，这一假说在我国能耗依然显著高于世界平均能耗的背景下并不是一个完整的解释，至少还需要进一步回答在国民经济整体和制造业都大幅增长的背景下能源利用技术为什么会停止进步。上文数据表明我国能源消耗强度依然大大高于发达国家，改进的空间依然很大。具体到工业内部，改进的空间也仍然很大，2007 年我国第二产业的能耗强度为 411 吨油当量/百万美元，相应的美国数据为 158 吨油当量/百万美元，大大低于我国。这里面有两个可能的原因，一是我国的能源利用技术仍然低于美国，能源利用技

术仍然需要大幅改进；二是我国的工业中高能耗行业占较大比重，倘若如此，其含义是我国能源利用效率的进步依赖于经济结构的调整。

5 回归分析

从上面的分析中我们可以归纳出一般性的推论，并且进行更大样本的跨国比较，以验证前面分析的结论。我们利用英国石油公司（BP）的世界能源统计报告（BP statistical review of world energy）中的数据，跨度为 1965-2008 年，去除了数据不全的前苏联国家，剩下了 50 个国家，这 50 个国家在 2008 年能源消费总量占到全世界的 90%，其 GDP 在全球也占了 90% 的比重。因此，样本的代表性不成问题。

回归分析的因变量为各国各年度能耗强度，自变量包括人均实际 GDP，人均实际 GDP 增长率，第二产业增加值占 GDP 的比重及其二次项，以及净出口占 GDP 的比重。人均 GDP 代表一国的发达程度，也代表了其经济效率特别是能源利用效率，我们期望与能耗强度负相关。因为这一变量的分布严重右偏，我们取了自然对数。加入人均 GDP 增长率是为了考察更快的经济增长是会加大还是减少能耗。一方面，经济增长较快的国家往往是穷国，能耗较高；另一方面，经济增长较快的国家很可能效率提高，能耗下降，因此，这一变量的符号并不确定。基于上文的讨论，我们期望第二产业增加值占 GDP 的比重能耗强度正相关，加入这一比例的二次项是考虑到潜在的非线性因素。加入净出口是因为出口行业属于制造业，能耗较高，而且发达国家往往将能耗高的产业转移出去，已有研究也发现了这样的结果（Suri 和 Chapman（1998）），因此，我们期望净出口与能耗正相关。我们采用了国家时间双向固定效应面板回归，目的是控制没有进入回归的国别因素，比如气候上的区别，和时间变化趋势的影响，发掘各国能耗强度在与进入分析的变量的相关性。

表 6 报告了回归的结果。人均 GDP 与能耗强度负相关，即国家随着收入上升，其能源消费效率提高。这与 EKC 理论预测不尽相符，可能的原因是我们的

回归更多的考虑了截面上效应，而 EKC 理论的预测更多的针对时间序列特征，在截面上人均 GDP 水平隐含了经济效率的信息，经济效率高的国家能耗强度相应较低。人均 GDP 增速与能耗强度呈负相关，即经济高速增长将造成能耗强度下降，这与中国的经验与此相符，但是在子样本回归中这一系数并不显著，分析时需要注意。第二产业比重与能耗强度关系显著为正，验证了我们前面关于产业结构和能耗强度关系的分析。第二产业比重二次项与能耗强度关系显著为负，显示产业结构和能耗强度的非线性关系，产业结构对能耗强度的影响随着二产比重增加而下降。净出口比重与能耗强度显著正相关，这一点与的结论一致，出口，尤其是重工业出口的迅速增长，可能迅速推升一国能耗强度。

6 小结

本文研究 1978 年以来我国能耗强度的变化情况，特别是 2002 年以来我国能耗强度下降趋于停滞这一现象。本文发现中国能源利用效率改善过程的停滞，与我国产业结构变化有关。首先，我国第二产业增加值比重在 2002 年之后持续上升，而第三产业比重在达到 2002 年高点之后不断回落；而工业能耗强度远高于服务业，如果不考虑产业内能耗强度变化，第二产业比重上升也足以推动能耗强度下降的停滞甚至反弹。日本和韩国的经验也佐证了产业结构变化对能耗强度变化的影响。

其次，我国工业在 2002 年后出现了明显的“重化”趋势，即重工业占工业比重不断上升。由于重工业能耗强度远高于轻工业，从而导致了工业平均能耗的上升。综合起来，重工业能耗强度远高于轻工业，工业的重化导致工业能耗强度的上升；而工业能耗强度远高于服务业和农业，工业能耗强度和比重的上升导致总体能耗强度的上升。

为验证个案比较分析的结论，本文还利用 50 个国家 1965-2008 年的数据，研究了能耗强度与收入水平、经济增速、产业结构和全球化程度的关系。发现能耗强度与收入水平显著负相关，而与第二产业增加值以及净出口占 GDP 比重正

相关。回归分析进一步验证了产业结构与能耗强度的关系。

参考文献:

1. Cornillie, J. and S. Fankhauser, 2004, The energy intensity of transition countries. *Energy Economics*. **26**: p. 283-295.
2. Fisher-Vanden, K., et al., 2003, What is driving China's decline in energy intensity. *Resource and Energy Economics*, **26**: p. 77-97.
3. Garbaccio, R.F., M.S. Ho, and D.W. Jorgenson, 1999, Why has the energy-output ratio fallen in China? *Energy Journal*, **20**: p. 63-91.
4. Grossman, G.M. and A.B. Krueger, 1995, Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, **110**(2): p. 353-377.
5. Hang, L. and M. Tu, 2007, The impacts of energy prices on energy intensity: evidence from China. *Energy Policy*. **35**: p. 2978-2988.
6. Howarth, R., L. Schipper, and B. Andersson, 1993, The structure and intensity of energy use: trends in five OECD nations. *The Energy Journal*, **33**: p27-45.
7. Huang, J.P., 1993, Industrial energy use and structural change: a case study of the People's Republic of China. *Energy Economics*, **15**: p. 131-136.
8. Jorgenson, D.W., 1984, The role of energy in productivity growth. *The American Economic Review*. **74**(2): p. 26-30.
9. Ma, C. and D. Stern, 2008, China's changing energy intensity trend: a decomposition analysis. *Energy Economics*, **30**: p. 1037-1053.
10. Nagata, Y., 1997, The US/Japan comparison of energy intensity: estimating the real gap. *Energy Policy*. **25**: p. 683-691.
11. Sinton, J.E. and M.D. Levine, 1994, Changing energy intensity in Chinese industry: the relative importance of structural shift and intensity change. *Energy Policy*,. **22**: p. 239-255.
12. Sun, J.W., 1998, Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model. *Energy Economics*, **20**: p. 85-100.
13. Suri, V. and D. Chapman, 1998, Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, p. 195-208.

14. Zhang, Z., 2003, Why did the energy intensity fall in China's industrial sector in the 1990s? The relative importance of structural change and intensity change. *Energy Economics*, **25**: p. 625-638.
15. 李廉水, 周勇, 2006, 技术进步能提高能源效率吗? --基于中国工业部门的实证检验. 《管理世界》, 2006年第10期 82-89页。
16. 刘畅, 孔宪丽, 高铁梅, 2008, 中国工业行业能源消耗强度变动及影响因素的实证分析. 《资源科学》, 第30卷第9期 1290-1299页。
17. 史丹, 2006, 中国能源效率的地区差异与节能潜力分析, 《中国工业经济》, 2006年第10期 49-58页。
18. 史丹, 2002, 我国经济增长过程中能源利用效率的改进, 《经济研究》, 2002年第9期 49-56页。
19. 孙立成, 周德群, 李群, 2008, 能源利用效率动态变化的中外比较研究. 《数量经济技术经济研究》, 2008年第1期。
20. 张少华, 陈浪南, 2009, 经济全球化对我国能源利用效率影响的实证研究——基于中国行业面板数据, 《经济科学》, 2009年第1期 102-111页。

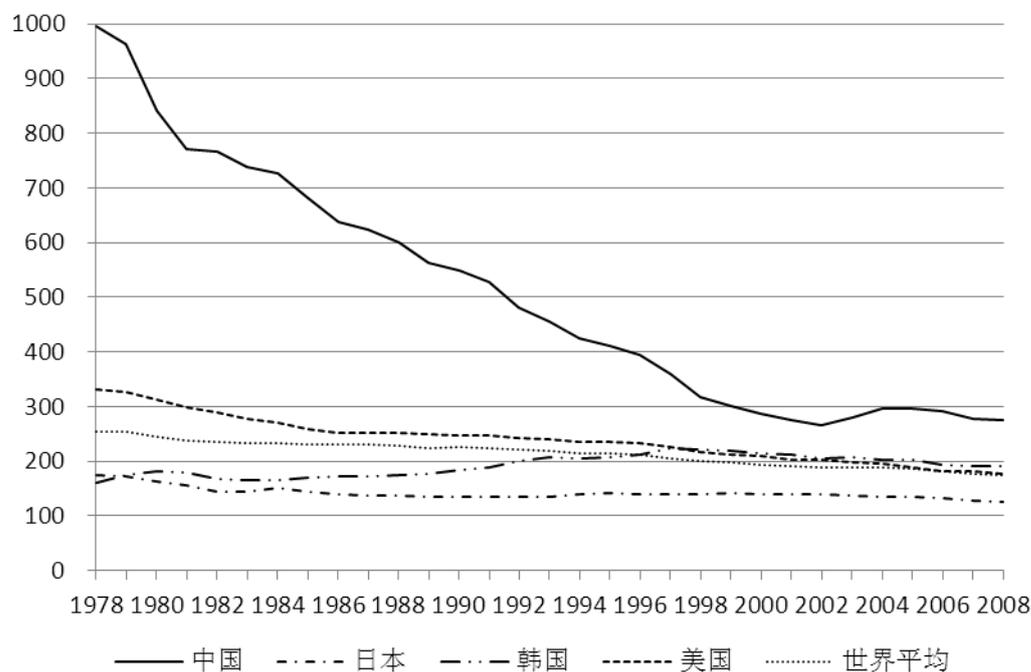


图 1：中国能耗强度 2002 年停止下降。能耗强度是能源消费总量与实际 GDP 的比例（吨油当量/百万美元）。能源消费总量数据来自英国石油公司(BP)世界能源统计报告(BP statistical review of world energy)，实际 GDP 数据来自世界银行的世界发展指标(WDI)数据库，用 2005 年不变价格表示，经购买力平价调整。

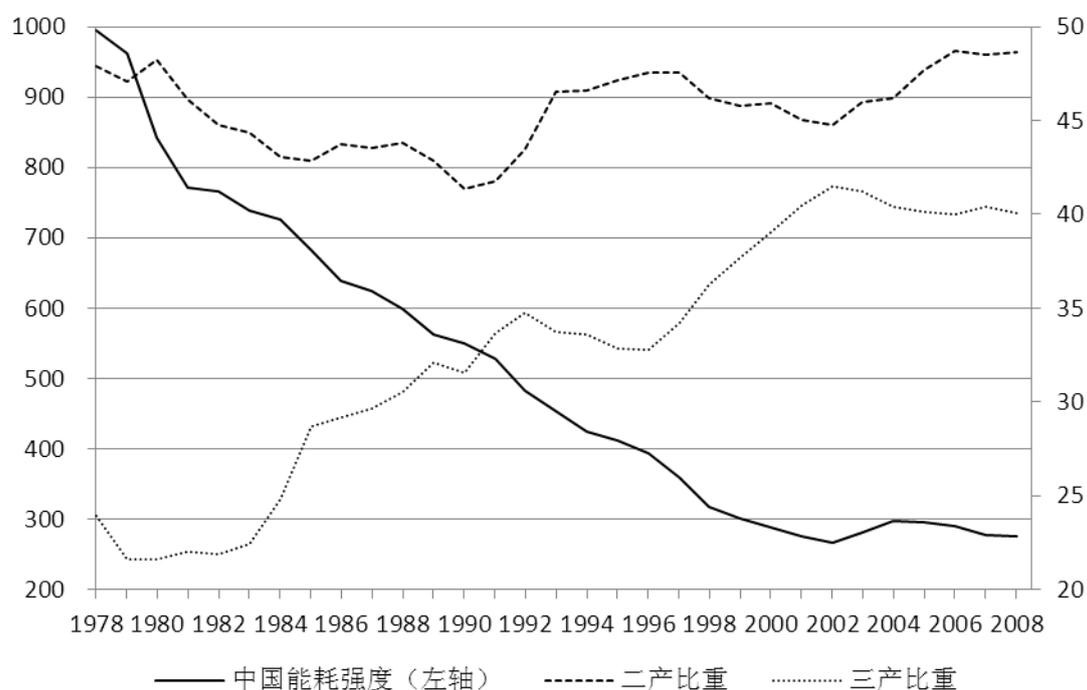


图 2：中国能耗强度止降与产业结构变化同步。能耗强度是能源消费总量与实际 GDP 的比例（吨油当量/百万美元）。能源消费总量数据来自英国石油公司（BP）世界能源统计报告（BP statistical review of world energy），实际 GDP 数据来自 WDI 数据库，用 2005 年不变价格表示，经购买力评价调整，产业结构数据来自《中国统计年鉴 2009》。

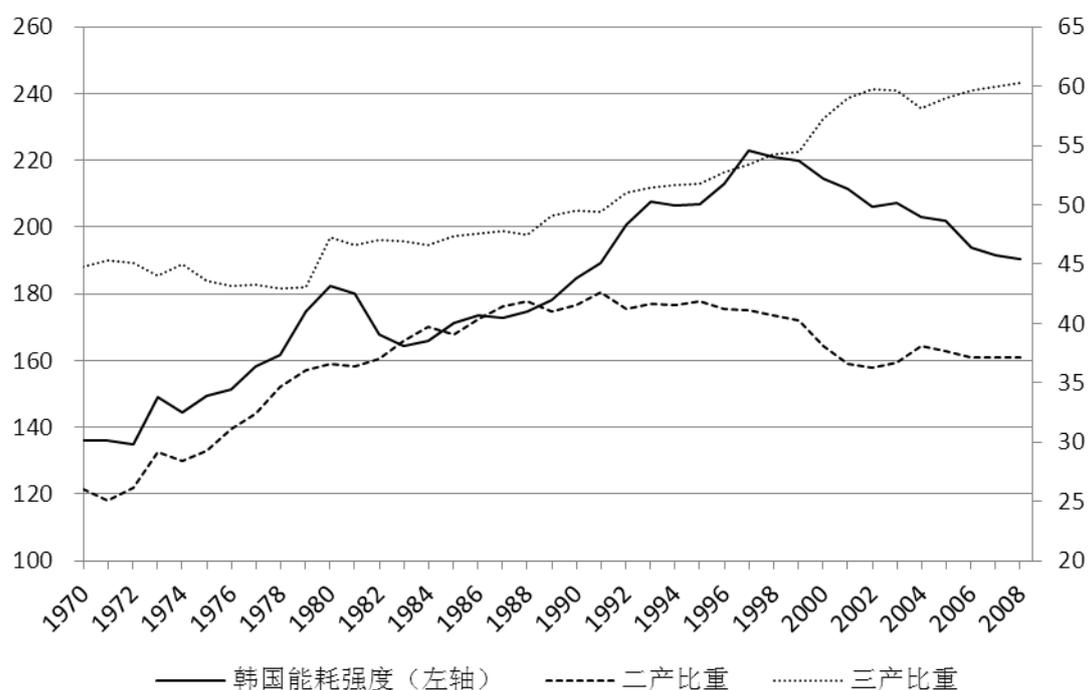


图 3: 韩国能耗强度与二产比重同步升降。能耗强度是能源消费总量与实际 GDP 的比例(吨油当量/百万美元)。能源消费总量数据来自英国石油公司(BP)世界能源统计报告(BP statistical review of world energy), 实际 GDP 数据来自 WDI 数据库, 用 2005 年不变价格表示, 经购买力平价调整。产业结构数据来自联合国统计数据库。

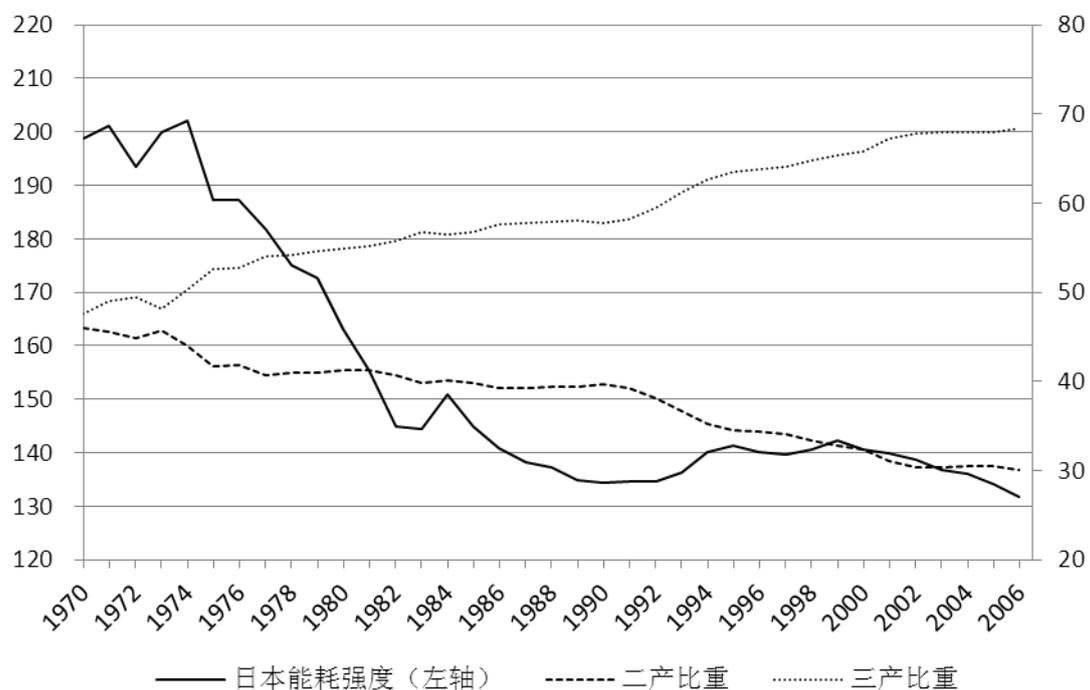


图 4: 日本能耗强度与二产比重同步下降。能耗强度是能源消费总量与实际 GDP 的比例 (吨油当量/百万美元)。能源消费总量数据来自英国石油公司 (BP) 世界能源统计报告 (BP statistical review of world energy), 实际 GDP 数据来自世界银行的世界发展指标 (WDI) 数据库, 用 2005 年不变价格表示, 经购买力平价调整。产业结构数据来自联合国统计数据库。

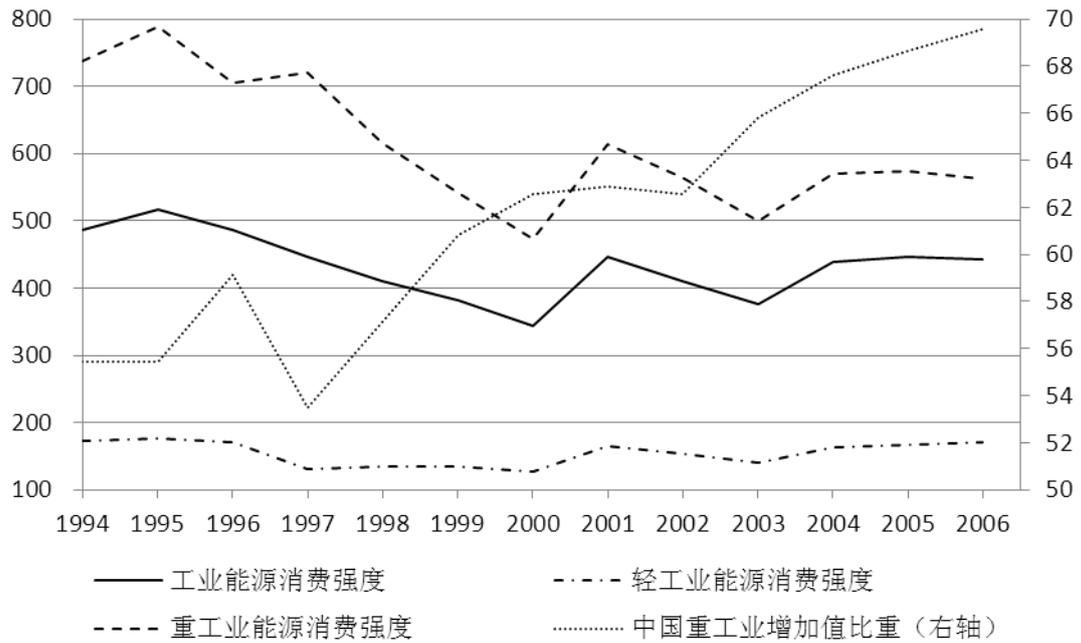


图 5：工业重化与工业能耗的止降反升。能耗强度是能源消费总量与实际产出的比例（吨油当量/百万美元）。能源消费总量数据来自英国石油公司（BP）世界能源统计报告（BP statistical review of world energy），实际 GDP 数据来自世界银行的世界发展指标（WDI）数据库，用 2005 年不变价格表示，经购买力平价调整。产业能源消费总量来自《中国能源统计年鉴 2007》，产业增加值数据来自《中国统计年鉴 2009》，重工业增加值占工业增加值比重，来自《中国工业经济统计年鉴 2009》。

表 1：世界能源消费与贸易

本表报告 1990 年以来我国和主要国家的能源消费与贸易状况，消费总量和净出口单位为百万吨油当量，数据来源为英国石油公司（BP）世界能源统计报告（BP statistical review of world energy）。其中，能源净出口为可贸易能源（石油、天然气、煤）的生产量与消费量的差额，消费变化为 18 年变化率，净出口变化为绝对数。

消费总量（百万吨油当量）														
	中国	印度	日本	韩国	台湾	俄罗斯	南非	加拿大	巴西	美国	德国	法国	英国	世界
1990	685	181	431	90	50	862	90	251	124	1963	349	218	211	8097
1995	917	236	489	147	66	658	100	277	150	2117	332	235	214	8545
2000	967	295	510	189	94	614	107	300	183	2310	329	254	223	9260
2005	1572	362	520	222	109	649	119	323	198	2342	324	260	225	10565
2008	2007	441	509	236	109	681	131	335	228	2302	310	255	211	11315
变化	193%	144%	18%	162%	118%	-21%	46%	33%	84%	17%	-11%	17%	0%	40%

净出口（百万吨油当量）													
	中国	印度	日本	韩国	台湾	俄罗斯	南非	加拿大	巴西	美国	德国	法国	英国
1990	38	-27	-362	-69	-41	426	12	63	-40	-315	-179	-127	-8
1995	-19	-46	-402	-129	-57	313	20	120	-49	-466	-204	-128	33
2000	-69	-84	-418	-161	-84	368	23	124	-40	-649	-214	-142	40
2005	-125	-113	-435	-186	-99	555	22	127	-23	-733	-215	-146	-29
2008	-167	-152	-434	-200	-99	577	14	128	-32	-625	-213	-142	-53
变化	-205	-125	-72	-131	-58	151	2	65	8	-311	-34	-15	-45

表 2：世界能耗强度最高 10 个国家（2008）

本表报告 2008 年能耗强度最高的 10 个国家（地区）的能耗强度情况。能耗强度是能源消费总量与实际 GDP 的比例（吨油当量/百万美元）。能源消费总量数据来自英国石油公司（BP）世界能源统计报告（BP statistical review of world energy），实际 GDP 数据来自世界银行的世界发展指标（WDI）数据库，用 2005 年不变价格表示，经购买力平价调整。最后两列为 1990-2008 年能耗变化情况。

名次	国家或地区	能耗强度					1990-2008 下降	
		1990	1995	2000	2005	2008	绝对值	百分比
1	乌兹别克斯坦	1165	1390	1241	883	768	-397	-34%
2	土库曼斯坦	981	1133	1392	836	722	-259	-26%
3	乌克兰	643	726	741	517	426	-217	-34%
4	哈萨克斯坦	641	714	508	432	404	-237	-37%
5	冰岛	258	285	291	261	341	83	32%
6	俄罗斯	460	566	487	382	326	-134	-29%
7	南非	327	348	325	299	288	-39	-12%
8	加拿大	335	339	301	286	279	-56	-17%
9	中国	549	412	288	296	275	-274	-50%
10	新加坡	320	300	232	250	266	-54	-17%
	世界平均	226	214	194	186	176	-50	-22%

表 3：世界能源消费强度

本表报告中国和主要国家的能耗强度。能耗强度是能源消费总量与实际 GDP 的比例（吨油当量/百万美元）。能源消费总量数据来自英国石油公司（BP）世界能源统计报告（BP statistical review of world energy），实际 GDP 数据来自世界银行的世界发展指标（WDI）数据库，用 2005 年不变价格表示，经购买力平价调整。最后一行为 1990-2008 年能耗强度变化百分比。

	中国	印度	日本	韩国	台湾	俄罗斯	南非	加拿大	巴西	美国	OECD 平均	世界平均
1990	549	176	134	185	193	460	327	335	115	246	192	226
1995	412	180	141	207	182	566	348	339	120	235	186	214
2000	288	169	141	214	197	487	325	301	133	209	172	194
2005	296	148	134	202	195	382	299	286	125	189	160	186
2008	275	142	127	191	176	326	288	279	125	177	149	176
1990-2008	-50%	-19%	-5%	3%	-9%	-29%	-12%	-17%	9%	-28%	-22%	-19%

表 4：能源消费结构

本表报告世界主要能源消费国家一次能源消费中石油，天然气和煤的比重（%），余下的部分为核能，风能，太阳能等清洁能源。能源消费总量数据来自英国石油公司（BP）世界能源统计报告（BP statistical review of world energy）。

		南非	中国	印度	日本	韩国	台湾	俄罗斯	美国	世界
2000 年	石油	21	23	36	50	55	53	20	39	39
	天然气	0	2.3	8	13	9	6.5	52	26	24
	煤	76	69	49	19	23	31	17	25	25
2008 年	石油	19	18.9	33	44	44	44	19	39	35
	天然气	0	3.6	8.4	17	14	9.6	55	26	24
	煤	78	70	52	25	28	37	15	25	29

表 5：我国行业能源消费强度

本表报告中国三次产业的能耗强度，产业能耗强度为产业能源消费总量与产业增加值之比（吨油当量/百万美元），产业能源消费总量来自《中国能源统计年鉴 2008》，产业增加值数据来自《中国统计年鉴 2009》。

	总能耗强度	第一产业	第二产业	第三产业				
				采矿业	制造业		交通运输仓储邮政	批发零售住宿餐饮
2005	296	86	450	305	519	177	370	68
2006	291	87	434	275	503	174	372	68
2007	278	78	411	281	481	174	376	66

表 6. 能耗强度影响因素的跨国比较

本表报告能耗强度对人均实际 GDP，人均实际 GDP 的增长率，第二产业增加值占 GDP 的比重，净出口占 GDP 的比重的回归以考察这些变量对能耗强度的影响。回归方法为双向固定效应面板回归，目的是控制没有进入回归的国别因素和时间变化的趋势。第一行为全样本回归，后三行为将样本分为三段区间子样本进行的回归。样本为世界 50 个主要能源消费国家 1965-2008 年的数据，2008 年样本国家的能源消费总量占世界的 90%，实际 GDP 占世界的 90%。能耗强度是能源消费总量与实际 GDP 的比例（吨油当量/百万美元）。能源消费总量数据来自英国石油公司（BP）世界能源统计报告（BP statistical review of world energy），实际 GDP 数据来自世界银行的世界发展指标（WDI）数据库，用 2005 年不变价格表示，经购买力平价调整，其他数据来自于联合国统计数据库。t 值为调整异方差后的稳健值，*，**，*** 分别表示估计系数在 10%，5%，1% 的水平上显著不等于零。

	人均实际 GDP		人均 GDP 增长率		第二产业比重		第二产业比重平方		净出口比重		调整后 R ²	样本量
	系数	t 值	系数	t 值	系数	t 值	系数	t 值	系数	t 值		
1965-2008	-118.32***	-8.42	-1.22***	-3.11	9.03***	8.23	-0.09***	-7.96	0.75***	3.20	0.85	1875
1965-1978	-199.46***	-7.46	-0.32	-1.20	7.94***	3.61	-0.06*	-1.82	-1.26***	-4.13	0.99	418
1979-1992	-98.69***	-4.23	0.50*	1.82	5.65**	1.99	-0.05	-1.32	1.11***	4.32	0.96	673
1993-2008	-94.23***	-6.23	0.07	0.23	2.68***	2.64	-0.05***	-3.66	1.18***	8.37	0.95	784