

## 中国能源强度的区域差异分析

宋 枫

能源消费强度是指即单位 GDP 能源消费量，是衡量一国或地区的能源使用效率的重要指标之一。我国能源消费强度在 1978-2002 年期间持续下降，从 1978 年的 15.7 吨标准煤/万元 RMB 下降至 2002 年的 4.9 吨标准煤/万元 RMB (按 1978 年价格计算)，年均下降 2.8%，但 2003-2005 年，能源强度出现反弹，又重新回到了 1999 年的水平。出于对能源安全和应对气候变化的考虑，中国政府也认识到提高能源使用效率是控制能源消费总量、降低温室气体排放量的重要手段，从“十一五”规划开始，中央政府将降低能源强度作为强制性节能降耗目标，向地方政府层层分解考核。

中国能源消费量的迅猛增加吸引了学术界对我国能源使用效率的关注。现存文献一般从以下几个方面对这一问题进行了探讨。第一类研究对我国能源强度进行国际比较(施发启, 2005; Cornillie and Frankhauser, 2004; 王庆一, 2011)，认为我国能源强度远高于欧、美、日等发达国家，因此具有较大的节能潜力。这类研究的一个难点在于如何进行各国货币价值之间的换算，不同的汇率指标会极大的影响国家间能源强度的比较结果。第二类研究探析了我国能源强度的时间变化趋势及影响因素。这些研究大多使用分解法，即从宏观层面入手将能源消费强度的变化分解为经济结构性变化和能源效率变化。能源强度的下降可能是由于高耗能的产业比重下降，也可能是由于生产同一单位产品能源消耗减少，前者我们称为经济结构性变化，后者是能源效率变化。通过分解法可以定量地测算出经济结构因素和能源效率因素对能源强度降低的贡献率。Ma et al. (2010) 在对我国能源经济的相关文献进行梳理时，列举了 20 余个使用分解法分析我国能源强度影响因素的研究。这些研究大多使用 1978-2003 年间国家层面数据，认为这一期间的我国能源强度总体下降，但对下降的原因看法并不一致。一些研究认为，能源效率的提高是导致我国能源强度在 1980 年后快速下降的主要原因，而经济结构的贡献很小甚至于会增加能源强度，如 Garbaccio et al. (1999)。另一些研究则得出了相反的结论，如 Han et (2004)，Fisher-vanden (2003)。少数学者使用了分解法以外的方法考察了能源强度变化的影响因素。史丹(2002)使用相关因素分析法，分别分析了对外开放、产业结构变动和经济体制改革对能源利用效率的影响，认为对外开放、经济体制改革对能源效率的提高起到了正面作用。李廉水和周勇 (2006) 考察了工业部门技术进步对能源效率提高的作用。他们首先使用生产率方法将技术进步分解为科技进步、纯技术效率和规模效率，然后将这三者作为解释变量对能源强度变化进行回归分析，得出结论认为技术进步对工业能

源效率有显著的正向促进作用。Canfei He (2007)考察了三类变量，即市场化、全球化和中央-地方分权对能源强度的影响，认为市场化进程对于能源效率的提高具有重要作用。Fisher 从企业层面入手，考察了能源价格、企业所有权类型、R&D、所处行业和地理位置等因素对企业能源强度的影响，结果表明能源价格和科研投入对企业能源效率的提高具有显著效果。最后，少量的文献探讨了中国能源强度的地区差异性。齐绍洲和罗威（2007）分析了我国地区间能源强度差异是否会随经济差异缩小而收敛；Wang (2011)使用了分解法考察了我国省际能源强度的变化，认为资本积累提高了能源使用效率和地区差异的缩小。

上述研究对于推动我国能源利用效率问题的探讨起到了积极地意义，从研究范围上看，大多数已有文献忽略了能源强度的区域差异性，缺乏对各地区能源强度的变化趋势及其影响因素的定量分析。我国区域发展不平衡，各地资源禀赋、经济结构、技术水平存在差异，在进行节能目标分解时需要量体裁衣，根据各地区的不同特点制定不同的目标，这就必须对各地区能源强度的状况及其影响因素进行定量分析，以帮助政策制定者采取有针对性的措施。针对现有研究的不足，本文使用我国 28 个省市自治区 1995-2007 年能源和经济社会发展的面板数据，使用分解法对我国能源强度的变动趋势和区域差异进行分析。本文第二部分介绍费雪理想指数分解法，第三部分从全国层面和省际层面对我国能源强度的变动趋势进行分析，给出了因素分解结果，第四部分是本文的主要结论。

## 研究方法

能源强度定义为能源消费总量与 GDP 之比，是衡量一国或者地区能源利用效率的一个重要指标。能源强度的变化可以进而分解为各部门间结构的变动（如高耗能的工业部门比重上升会导致总体能源强度的增加）和各部门内能源强度的变化（如节能技术的使用会带来能源利用强度的降低）。

$$e_t \equiv \frac{E_t}{Y_t} = \sum_i \left( \frac{E_{it}}{Y_{it}} \right) \left( \frac{Y_{it}}{Y_t} \right) = \sum_i e_{it} s_{it} \quad (1)$$

这里表示 t 年的总能源消费，是第 t 年的 GDP，指部门 i 在 t 年的能源消费，是部门 i 的经济活动衡量指标（可以是但不限于是该部门的 GDP）。这样，我们将一国或者地区的总的能源强度分解为该国或者地区内的各个部门内的能源效率（ $e_{it}$ ）的加权平均值，权重是各部门经济活动的份额（ $s_{it}$ ）。

使用指数分解法可以进一步将能源强度的变化分解为经济结构的变化（部门间变化）和

能源效率的变化（部门内变化）。定义基年的能源强度为，可以构建一个表示能源强度变化的能源强度指数  $I_t = \frac{e_t}{e_0}$ ，即第  $t$  年的能源强度与基年的能源强度之比。

$$\frac{e_t}{e_0} \equiv I_t = \frac{\sum_i e_{it} s_{it}}{\sum_i e_{i0} s_{i0}} \quad (2)$$

为了将能源强度变化的影响因素进一步区分开来，可以进一步构建两种能源强度指数：前者的部门内能源效率不变，部门间经济活动发生了转移，我们可以称之为结构指数；后者的各部门经济水平保持不变，能源效率发生变化，我们称之为效率指数。结构指数和效率指数将能源强度中由经济结构和能源效率引发的变化分离开来。根据选择的基年不同，结构指数和效率指数又可分为 Laspeyres 指数和 Paasche 指数，前者选择第一年作为基年，后者选择最后一年作为基年，分别定义为：

$$\begin{aligned} L_t^{stru} &= \frac{\sum_i e_{i0} s_{it}}{\sum_i e_{i0} s_{i0}} & P_t^{stru} &= \frac{\sum_i e_{it} s_{it}}{\sum_i e_{it} s_{i0}} \\ L_t^{eff} &= \frac{\sum_i e_{it} s_{it}}{\sum_i e_{i0} s_{i0}} & P_t^{eff} &= \frac{\sum_i e_{it} s_{it}}{\sum_i e_{i0} s_{it}} \end{aligned} \quad (3)$$

Laspeyres 指数和 Paasche 指数的共同缺点是存在分解残差，即结构指数和效率指数的乘积不等于能源强度指数。由于难以判断残差属性，因而对于效率因素还是结构因素在能源强度变化中的相对贡献就很难做出准确解释。而 Fisher 理想指数是 Laspeyres 指数和 Paasche 指数的几何平均值，其理想特质是完全将能源强度分解为结构指数和效率指数，不存在分解残差，因而可以直接得到结构贡献率和效率贡献率。

$$F_t^{stru} = \sqrt{L_t^{stru} P_t^{stru}} \quad F_t^{eff} = \sqrt{L_t^{eff} P_t^{eff}} \quad (4)$$

通过简单的运算，我们可以得到

$$\frac{e_t}{e_0} \equiv I_t = F_t^{act} F_t^{eff} \quad (5)$$

能源强度的下降会节省能源消费，定义节能量为

$$\Delta E_t = E_t - \hat{E}_t \quad (6)$$

其中， $E_t$ 为实际能源消费量， $\hat{E}_t$ 为保持基准年能源强度不变的假设情况下t时期能源消费量。分解法表明，我们可以计算出经济机构和能源效率的变动对节能的贡献：

$$\Delta E_t = \Delta E_t \left( \frac{\ln(F_t^{stru})}{\ln(I_t)} + \frac{\ln(F_t^{eff})}{\ln(I_t)} \right) = \Delta E_t^{stru} + \Delta E_t^{eff} \quad (7)$$

## 中国能源强度变动的因素分解结果

### 1. 全国层面

借鉴 Boyd and Roop(2004)和 Metcalf(2008)的研究，我们将全国经济总体分解为六个部门，分别为农业、工业、建筑业和交通运输、国内贸易和居民消费，表 1 总结了各部门的经济规模衡量指标和统计数据。经济数据和能源数据分别来自于历年的《中国统计年鉴》和《能源统计年鉴》。

图 1 为 1995-2007 年间全国能源强度变化趋势和分解结果。将 1995 年作为基年，2007 年的能源强度为 1995 年的 58%。效率指数和结构指数分别为 1995 年的 65%和 90%。也就是说，如果能源效率在 1995 年-2007 年间没有改变，经济结构的变化使得能源强度在 2007 年下降到 1995 年的 90%；如果经济结构在 1995 年-2007 年间没有变化，能源效率的变化使得能源强度在 2007 年下降到 1995 年的 65%。

能源强度的降低使得我国在 1995-2007 年间共计节约了 67.8 亿吨标准煤，根据式 (6) - (7)，我们可以测算出，平均而言 13% 的能源节约来自于结构的变化，87%源于效率的提高。图 2 表明 1996-2007 年间经济结构和使用效率对能源节约相对贡献率。可以看出，这一时期的能源使用效率的提高是节能的主要贡献因素，但是其贡献逐渐降低，由 99.7%降低至 83.4%；而经济结构贡献由最初的 0.4%上升至 16.6%。

### 2. 省际层面

使用同样的分解方法，我对中国省际能源强度进行因素分解，对能源强度及其影响因素的区域差异性进行分析。和全国层面的分析相同，各地区的经济总体仍然分为六个部门，数据均来自于历年的《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》。其中，某些省域个别年份缺失的数据用插值法进行了补充。由于西藏、宁夏数据不全，故在所有的模型中均未包含该地区，重庆并入四川，最终数据共包括 28 个省市。

表 2 首先给出了 1996 年和 2007 年各省市能源强度及排名变化情况<sup>1</sup>。1995 年我国能源强度排名前五位是：海南（1）、福建（2）、广东（3）、浙江（4）和江苏（5）；排名在后五位的是：新疆（24）、吉林（25）、甘肃（26）、贵州（27）、山西（28）。2007 年我国能源强度排名前五位是北京（1）、广东（2）、浙江（3）、江苏（4）和海南（5）；排名在后五位的是甘肃（24）、河北（25）、青海（26）、山西（27）和贵州（28）。在这一时期，能源强度排名上升较多的省市（ $\geq 2$ ）包括北京、天津、吉林、江西、陕西和新疆，排名降低较多（ $\geq 2$ ）的省份包括河北、福建、山东、河南、广西、海南、云南和青海，排名没有大的改变的省份包括山西、内蒙古、辽宁、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、湖北、湖南、广东、四川、贵州和甘肃。我们将这 29 个省市地区进一步分为分为五大区域，分别为华北、东北、华东、中南部和西部。1995 年和 2007 年间对比，区域能源效率排名没有发生改变，仍然是华东、中南部、东北、华北和西部地区。

表 3 给出了 1996 和 2007 年各省市能源强度指数、结构指数和效率指数的分解结果对比。在 1995-2007 年间，除福建、海南外，其余省市地区的能源强度均有所改善。从分解结果来看，有 13 个地区的经济结构向高耗能部门转移，其能源强度的改善主要是由于部门内能源效率的提高。平均而言，经济结构的变动对能源强度降低的贡献率仅为负 1%<sup>2</sup>，几乎可以忽略不计。部门内能源效率的提高对能源强度的降低起到决定性作用，贡献率为 101%。由表 3 可以看出华北和华东地区经济结构向能耗高的部门转移趋势明显，其经济结构对能源强度降低的贡献力为负；同时这些地区部门内能源效率提高也较多，因而其能源强度降低幅度要高于东北、中南部和西部地区。在这一时期高能耗部门增加造成能源强度增加较多（ $>10\%$ ）的省市包括天津、上海、江西、山东、河南、海南、青海。

从区域角度来看，各省市之间的能源强度变化存在较大差异。图 2-4 分别使用核分布估计对比了 1996 年和 2007 年省际能源强度指数、结构指数和效率指数的分布变化趋势。从图 2 看出，能源强度在 1996 和 2007 年均呈单峰分布且向低数值端移动，与以上我们观察到得各省能源强度普遍降低现象一致。但 2007 年能源强度峰值以及附近范围密度降低，分布比 1996 年更为分散，反应了各地区能源强度改进的步调并不一致，地区差异在扩大。从图 3 和 4 可以看出，尽管经济结构和能源效率的分布都在 1996-2007 年间更为分散，但前者更为显著。1996 年绝大多数省市的结构指数都在 1 左右，而 2007 年则有超过一半的省市结构指数大于 1，这反应了各省之间经济结构的分化。

<sup>1</sup> 能源强度越低代表能源利用效率越高，所以能源强度越低排名越高。

<sup>2</sup> 由于省际分析只包含 28 个省市自治区，因此平均分解结果与全国层面分解结果略有差异。

一个有趣的现象是，北京和上海作为我国经济领跑的两大城市，他们的能源强变化路径却十分不同。北京市经济结构的改善和部门内能源效率的提高都促进了能源强度的降低，前者的贡献略大于后者（46% vs. 34%）；而上海市经济在同一时期向高耗能部门（主要是运输部门）有所转移<sup>3</sup>，其对能源强度的反向作用受到了部门内能源使用效率显著提高的抵消，最终才促使了能源强度的改善。

## 结论与建议

本文利用中国国家层面和省际层面 1995-2007 年的经济与能源统计数据，使用费雪指数分解法对我国能源强度变化的影响渠道和地区差异进行了分析，结论如下：

第一，从全国层面来看，1995-2007 年间我国能源强度呈下降趋势，主要贡献来自于能源效率的提高，经济结构调整的贡献较为有限。这一结论符合我国经济发展的历史阶段特征，我国从 1978 年改革开放一直在进行工业化进程，高耗能的工业、运输业保持了高速发展，因而经济结构调整带来能源强度变动并不大。

第二，从省际层面来看，1995-2007 年各省、市、自治区的能源强度都普遍降低，但各省市区之间的能源强度的绝对水平与变动幅度差距在扩大。在这一时期，由地区间经济结构变化导致的能源强度变化分化明显，并与部门内能源效率的作用相互加强，造成了地区间能源强度分布趋于分散。

根据以上分析，我们得出以下几点政策建议：第一，工业化阶段特有的产业结构，是造成我国单位GDP能源强度高于发达国家的重要原因。我国已经进入工业化阶段中期，在十二区期间，应继续以调整产业结构为主线，限制高耗能产品产能的扩张，限制“两高一资（高耗能、高污染和资源性）”型产品的出口，降低高耗能产业在国民经济中的比重，增加高附加值、高知识和技术含量成分产业的比重。第二，从分解结果来看，能源强度变化的区域差异主要来自于部门内能源使用效率，各地区经济结构的差异虽然趋于分化，但对于能源强度的空间差异影响并不大。这表明虽然短期内经济结构难有大的改变，但各省市之间应加强节能技术、节能管理经验的交流与推广，减小各地区间部门内能源使用效率的差距。

---

<sup>3</sup> 上海市货物周转量由 1995 年的 207 亿吨公里上升至 2007 年的 11385 亿吨公里，增加了 55 倍。

## 参考文献

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》, 第 10 期

齐志新、陈文颖 2007, “中国的能源强度究竟有多高”, 《数量经济技术经济研究》, 第 8 期

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》, 第 9 期,

齐绍洲、罗威, 2007, 地区经济增长与能源消费强度的差异分析, 《经济研究》, 第 7 期

Boyd, G. A. and J. M. Roop (2004). "A Note on the Fisher Ideal Index Decomposition for Structural Change in Energy Intensity." *The Energy Journal* 25(1): 87-101.

Cornillie, J. and S. Fankhauser (2004). "The Energy Intensity of Transition Countries." *Energy Economics* 26(3): 283-295.

Garbaccio, R. F., M. S. Ho, et al. (1999). "Why Has the Energy-Output Ratio Fallen in China?" *The Energy Journal* 20(3): 63-92.

He, C. (2007). "Energy Intensity in Light of China's Economic Transition." *Eurasian Geography and Economics*.

Ma, H., L. Oxley, et al. (2010). "China's Energy Economy: A Survey of the Literature." *Economic Systems* 34(2): 105-132.

Metcalf, G. E. (2008). "An Empirical Analysis of Energy Intensity and Its Determinants at the State Level." *The Energy Journal* 29(3).

Wang, C. (2011). "Sources of Energy Productivity Growth and Its Distribution Dynamics in China." *Resource and Energy Economics* 33: 279-292.

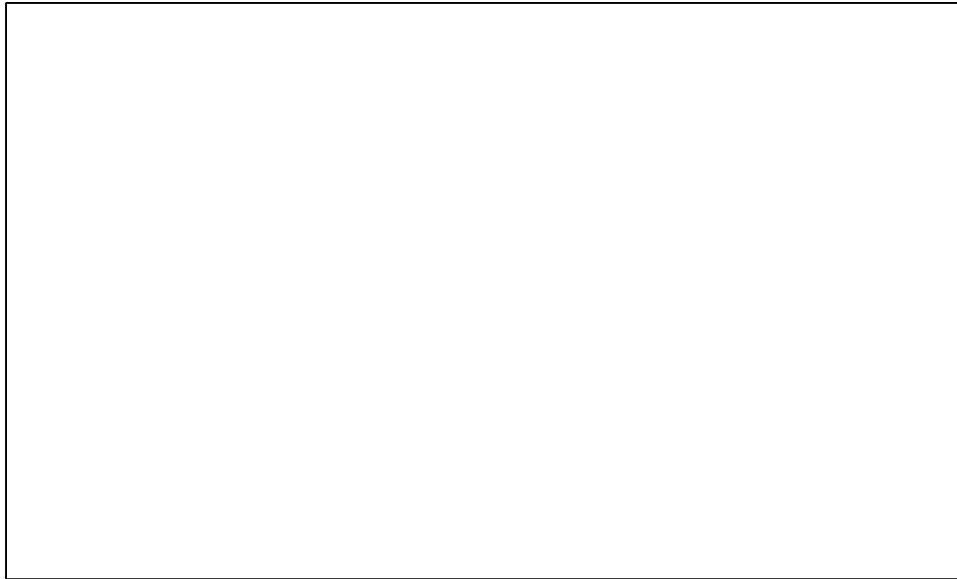


图 1. 中国 1995-2007 年能源强度变化趋势及分解结果

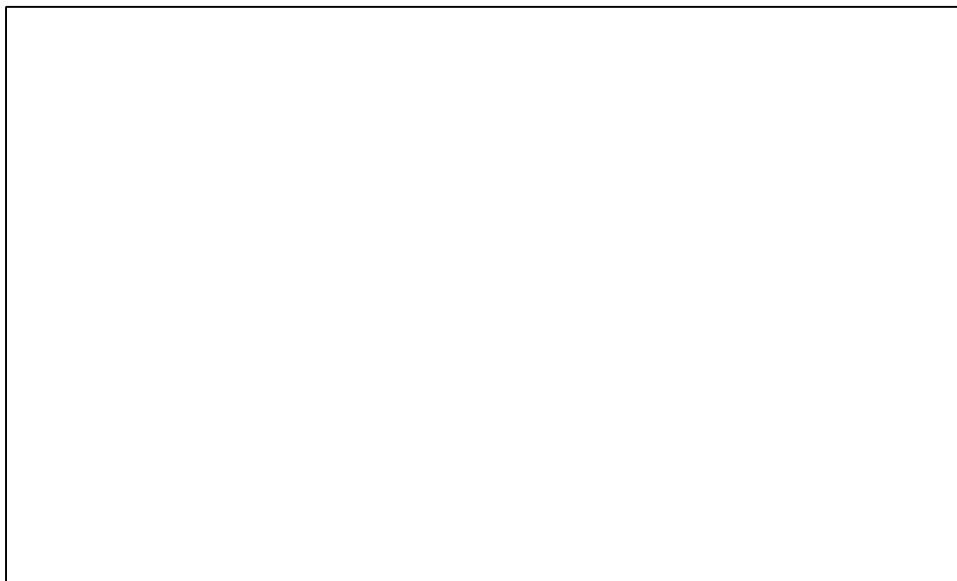


图 2. 能源强度下降带来的节能量（以 1995 年能源强度为基准）



表 1 全国各部门经济规模和能源效率衡量指标和统计描述

经济结构		能源效率				
经济部门	衡量指标	平均值	标准差	衡量指标	平均值	标准差
农、林、牧、 渔、水利业	第一产业增加值(亿 元)	541	384	吨标准煤/万元增 加值	0.43	0.33
工业	工业增加值（亿元）	1627	1718	吨标准煤/万元增 加值	2.47	1.23
建筑业	建筑业增加值（亿元）	229	184	吨标准煤/万元增 加值	0.31	0.22
交通运输	货物周转量总计（亿 吨公里）	1381	1927	吨标准煤/万吨公 里	0.37	0.27
批发、零售业和 住宿、餐饮业	社会消费品零售总额 （亿元）	1382	1195	吨标准煤/万元销 售额	0.23	0.2
生活消费	消费支出（亿元）	1458	1108	吨标准煤/万元消 费支出	0.42	0.31

注：按 1995 年不变价格计算。

表 2 各省、市、自治区代表性年份能源强度与排名变化

地区	省、市、自治区	1995		2007	
		能源强度 (吨标煤/万元 GDP)	排 名	能源强度 (吨标煤/万元 GDP)	排 名
华北	北京	1.56	12	0.56	1
	天津	2	17	0.83	9
	河北	2.14	20	1.59	25
	山西	3.91	28	1.92	27
	内蒙古	2.19	22	1.46	22
东北	辽宁	2.09	19	1.23	18
	吉林	2.57	25	1.4	21
	黑龙江	1.63	14	0.99	13
华东	上海	1.23	7	0.77	6
	江苏	1.09	5	0.67	4
	浙江	0.87	4	0.63	3
	安徽	1.67	15	1.03	14
	福建	0.73	2	0.79	7
	江西	1.57	13	0.81	8
	山东	1.15	6	0.99	12
中南部	河南	1.45	9	1.08	16
	湖北	2.02	18	1.29	19
	湖南	1.88	16	1.18	17
	广东	0.84	3	0.62	2
	广西	1.26	8	1.06	15
	海南	0.56	1	0.68	5
西部	四川	1.49	10	0.88	10
	贵州	3.64	27	2.3	28
	云南	1.51	11	1.47	23
	陕西	2.18	21	0.96	11
	甘肃	3.32	26	1.58	24
	青海	2.31	23	1.68	26
	新疆	2.42	24	1.35	20

注：按 1995 年不变价格计算。

表 3 1995 年和 2007 年省际能源强度变化分解结果

地区		1996			2007		
		能源强度指数	结构指数	效率指数	能源强度指数	结构指数	效率指数
	各省平均	<b>0.93</b>	<b>0.99</b>	<b>0.94</b>	<b>0.67</b>	<b>1.01</b>	<b>0.66</b>
华北	北京	0.95	0.93	1.03	0.36	0.57	0.63
	天津	0.78	0.98	0.79	0.42	1.16	0.36
	河北	0.86	1.02	0.84	0.74	1.06	0.70
	山西	0.91	1.00	0.90	0.49	1.06	0.46
	内蒙古	0.94	0.98	0.95	0.66	1.03	0.65
东北	辽宁	0.86	0.99	0.87	0.59	1.02	0.58
	吉林	0.92	0.96	0.95	0.55	0.94	0.58
	黑龙江	0.87	1.00	0.87	0.61	0.87	0.70
华东	上海	0.91	0.94	0.96	0.62	1.53	0.41
	江苏	0.90	0.96	0.93	0.62	0.96	0.65
	浙江	0.95	1.01	0.94	0.72	0.96	0.75
	安徽	1.01	0.98	1.03	0.62	1.05	0.59
	福建	0.97	0.97	1.00	1.07	1.06	1.01
	江西	0.81	0.98	0.82	0.51	1.13	0.46
	山东	0.87	0.99	0.88	0.86	1.12	0.77
中南部	河南	0.87	0.98	0.89	0.74	0.98	0.76
	湖北	0.95	0.99	0.96	0.64	0.93	0.69
	湖南	0.92	0.99	0.94	0.63	0.93	0.67
	广东	0.97	1.02	0.95	0.74	1.00	0.74
	广西	0.95	0.97	0.99	0.84	1.04	0.81
	海南	1.15	1.06	1.08	1.22	1.30	0.93
西部	四川	0.94	0.99	0.95	0.59	0.93	0.64
	贵州	1.01	0.98	1.02	0.63	0.83	0.76
	云南	0.91	0.99	0.92	0.97	0.86	1.13
	陕西	0.98	0.99	0.99	0.44	0.95	0.46
	甘肃	0.84	0.92	0.91	0.48	0.85	0.56
	青海	0.97	0.98	0.99	0.73	1.14	0.64
	新疆	1.09	1.03	1.05	0.56	1.09	0.51

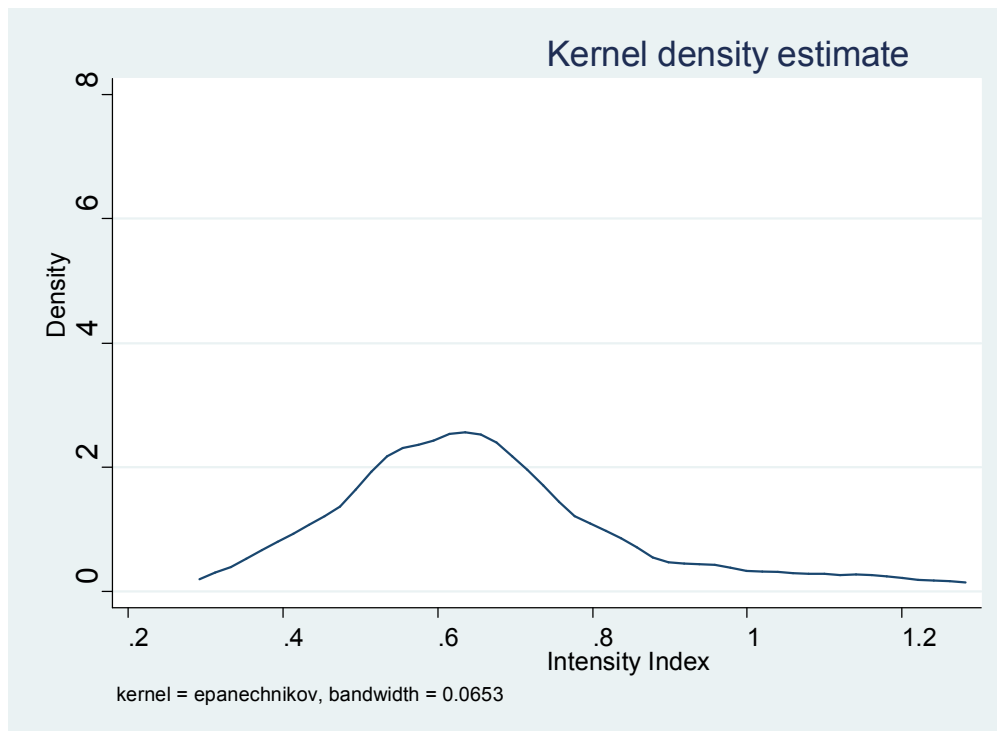
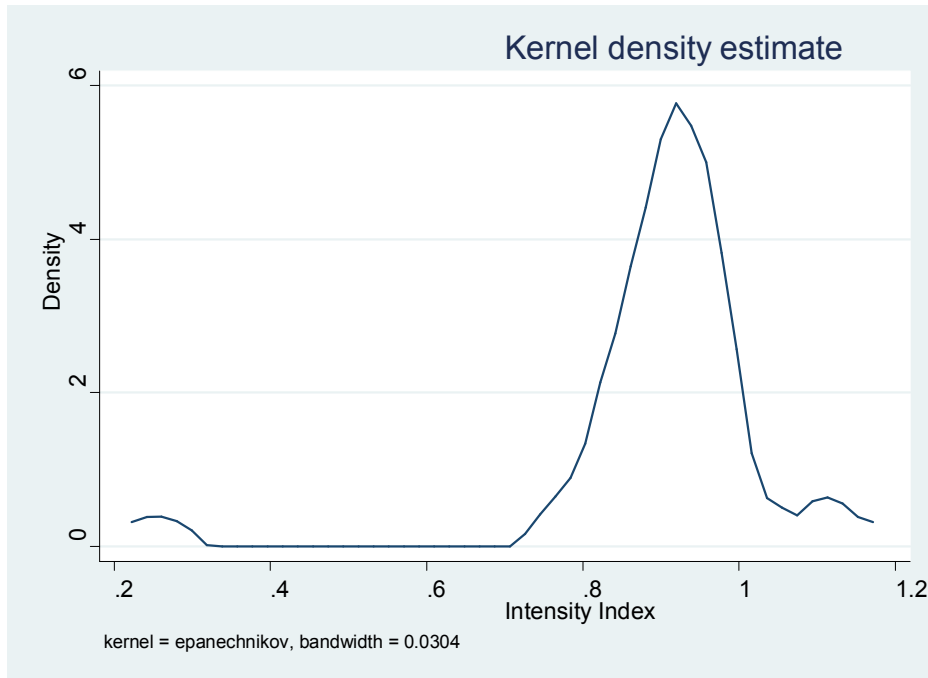


图 2. 各地区能源强度分布核密度估计：1996 年 vs. 2007

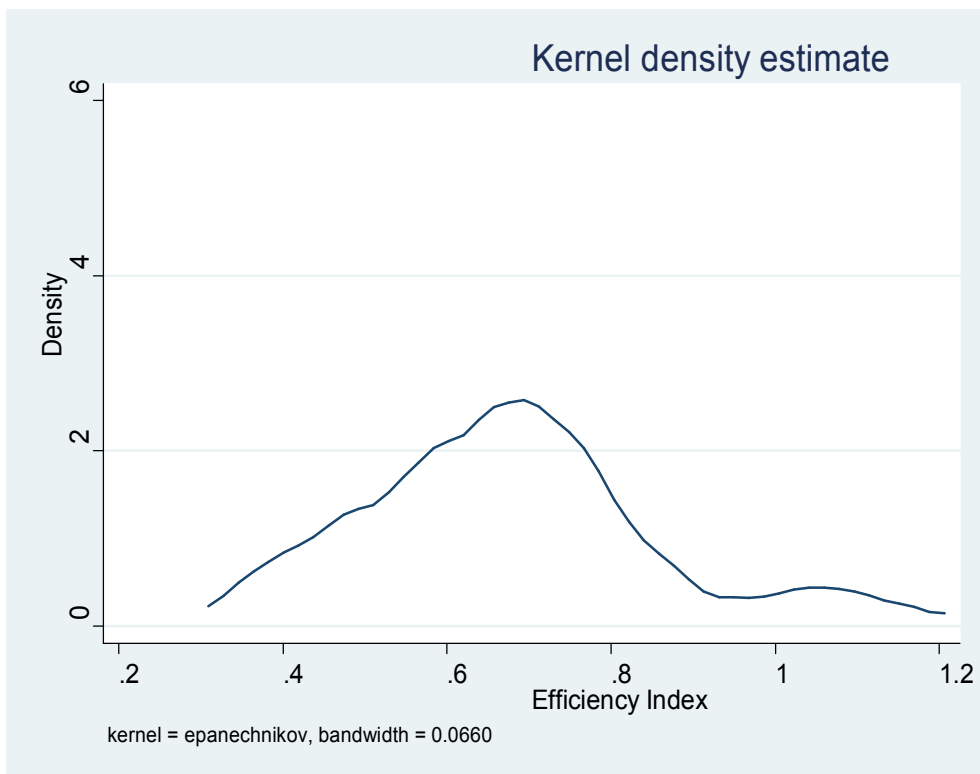
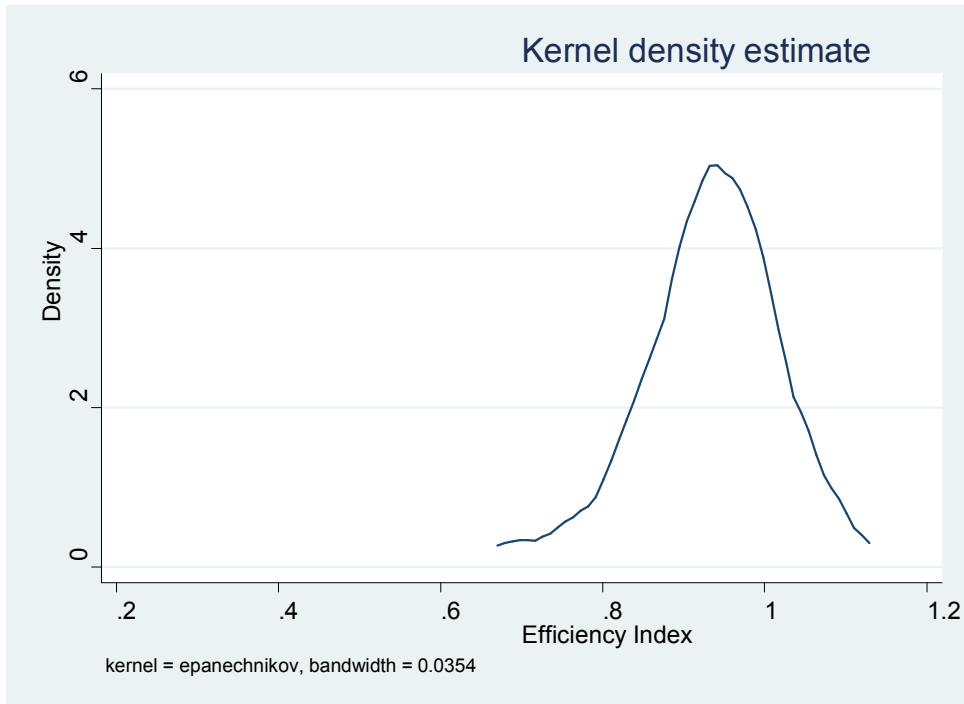


图 3. 各地区效率指数分布核密度估计：1996 年 vs. 2007

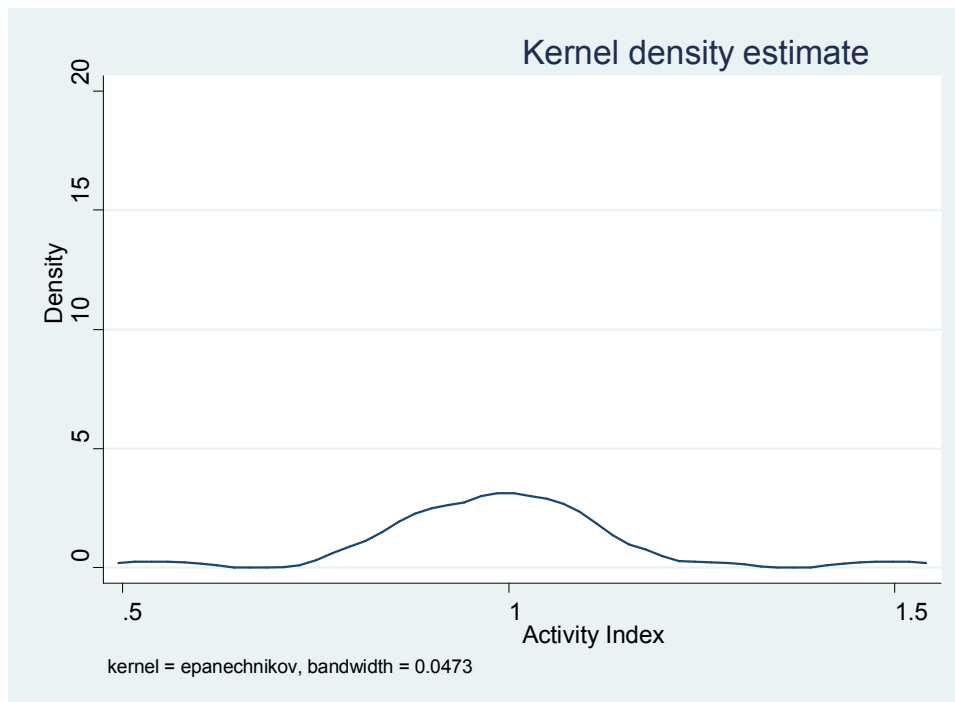
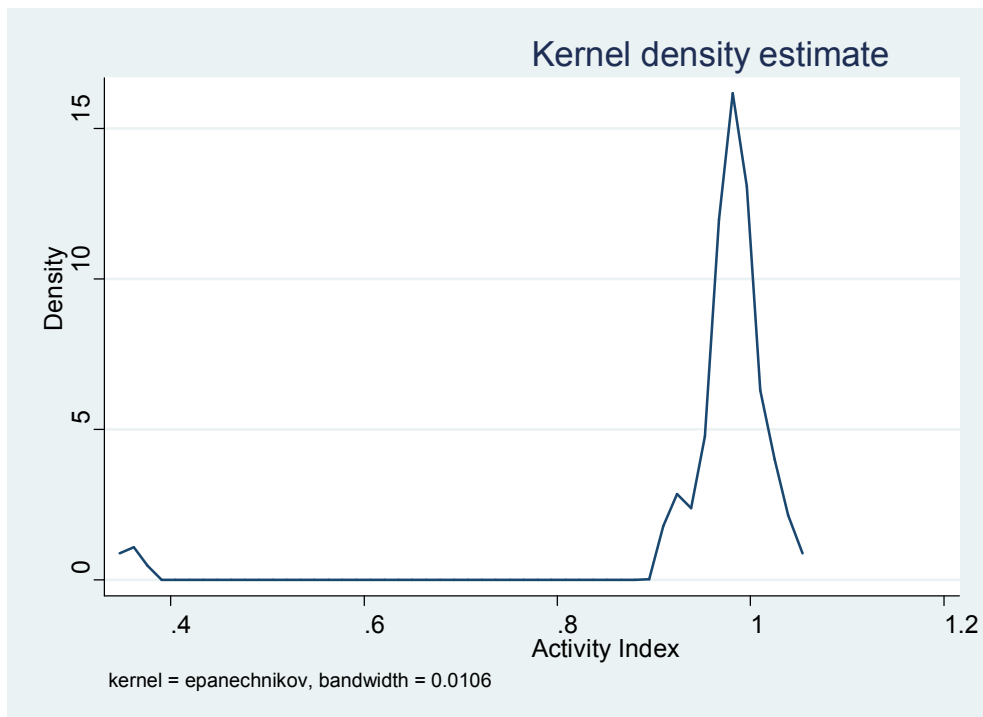


图 4. 各地区结构指数分布核密度估计：1996 年 vs. 2007