



中国人民大学经济学研究所
工作论文

中国工业部门的能源替代 与政策选择

中国工业部门的能源替代与政策选择

郑超愚 鲁成军

内容摘要:

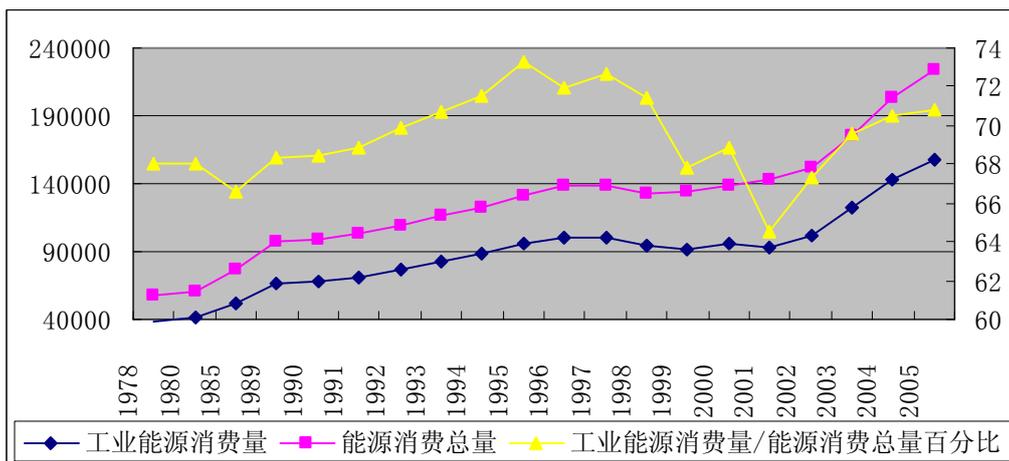
中国工业部门的节能增效是中国节能降耗的核心,在中国当前劳动力相对过剩和资本充裕的背景下,有效地实现劳动与资本对能源的替代,将有助于实现中国经济增长方式由粗放型向集约型的转变,规避中国工业化可持续进程面临的能源约束及其过度消费引发的生态环境约束。研究发现,技术创新、产出规模效应以及能源价格机制改革以及现有的能源体制变革都将通过资本与劳动对能源的替代来实现工业部门的可持续发展,这不仅为反思中国当前一系列旨在促进节能降耗的政策绩效偏离原定目标的现象提供了参考,也为如何实现工业部门乃至中国经济整体可持续发展提供了良好的政策建议。

关键词: 能源替代、政策选择

一、引言

中国当前面临的资源与环境压力随着近 30 年的经济持续高速增长而愈加严峻，多年来粗放式的增长模式依托低成本的能源补贴政策，形成了资源依赖型的增长路径。日益扩大的能源缺口表现为国内能源供给从传统的流量约束转化为流量约束与存量约束并存的双重约束。过去单纯依赖开采国内能源储量无法弥补以石油为核心的能源需求缺口。另一方面，中国已经进入工业化的加速发展阶段，重化工业的比重急剧上升不仅是工业化发展的必然阶段，而且对中国实现大国和平崛起具有重要的战略性意义。但是，重化工业具有资本有机构成高、能耗密集度大等特征，导致了我国工业部门的能源需求构成了全部能源需求的绝大部分。如图 1 所示，中国工业部门的能耗总量占全国总能耗的百分比一直在 70% 上下徘徊。在粗放型的增长模式下，工业产出高速增长背后的代价是国内能源的过度消耗、能源利用的低效和生态环境破坏的不断恶化。工业部门的废物排放构成了全国废物排放的大部分来源，并且近年出现上升趋势。如图 2 所示，近年来，工业部门的二氧化硫和烟尘排放量占全国二氧化硫和烟尘的总排放量的 80% 以上。工业单位产出的能耗更是远远高于全国平均水平。如图 3 所示，工业单位产出能耗与全国单位产出能耗比一直在 1.6 上下徘徊，并且在最近几年出现上升的趋势。

一方面，工业部门的节能增效成为中国整个能源节能增效的核心环节；另一方面，中国工业化进程是中国跨越起飞阶段的必然选择。两者共同决定了中国必须走符合当前国情的新型工业化道路，因而寻找节约式、高效益的工业发展路径，促使工业化能以最小的环境成本和能源消费成本得以顺利地进行是中国经济发展的关键问题。



注释：主（左）坐标轴表示工业能源消费量、能源消费总量（单位为万吨标准煤），次（右）坐标轴表示工业能源消费总量的百分比。

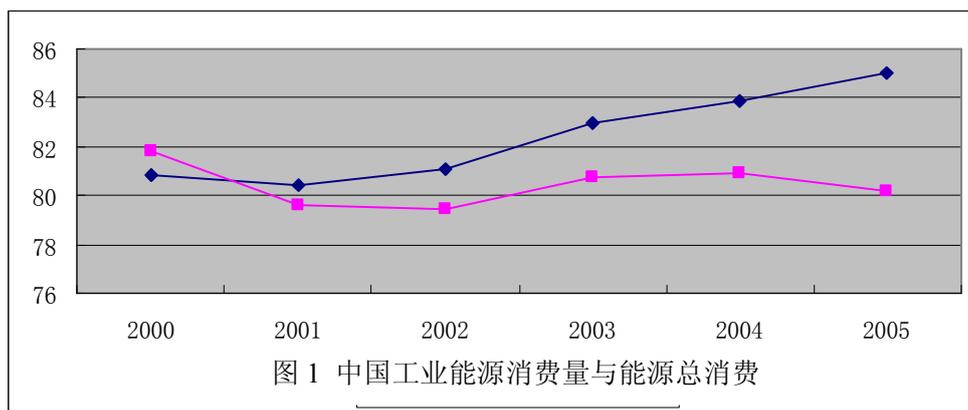
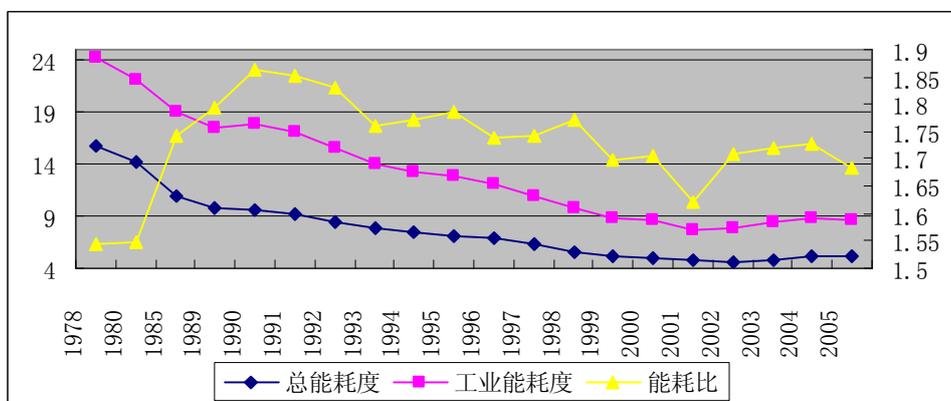


图 2 工业二氧化硫和烟尘占总二氧化硫和烟尘排量的百分比

注释：ISDE/SDE：工业二氧化硫占总二氧化硫排放百分比；ISE/SE：工业烟尘排放量占总排放量的百分比。



注释：主（左）坐标轴表示总能耗度和工业能耗度（单位为万吨标准煤/亿元），次（右）坐标轴表示工业能耗占总能耗比。

二、能源替代与中国工业化进程

能源替代主要指通过对能源消费的内部结构调整或者改变能源与其它非能源的投入比例，以达到节约不可再生能源、降低能源投入成本、提高能源利用效率、保护生态环境并最终实现经济可持续发展的目标。能源替代的内容主要包括能源的内部替代和外部替代。前者主要包括三个方面，即（1）初级能源消费结构的优化，（2）以电能为代表的二次能源替代以煤炭为主的初级能源，（3）新兴能源、可再生能源对煤、石油等不可再生能源的替代；后者主要指基于能源价格的变化，通过资本、劳动对能源的替代，实现三者投入的优化配置，达到降低能源成本、提高产出的目的。

由于能源内部替代过多地通过能源利用效率、开采效率、转化效率和研发效率（如开发新兴能源）来实现，因而更多地带有工程技术性的特征，决定了能源内部替代往往具有周期性长的内在特性；能源外部替代由于基于能源价格的变化来影响要素投入比例、改变要素边际生产力而达到节约能源的目的，因而更多地带有经济性的特征，往往具有替代周期较短的特征。

通过对中国当前能源现状的进一步研究发现，针对中国工业化进程面临的日益严峻的能源挑战形势，当前学者和政府提出的能源发展战略的思路大多集中于能源内部替代战略，即（1）在初级能源消费中，降低煤炭消费比重，提高石油、天然气消费比例，以减小环境污染；（2）提高以电力为主的二次能源的消费比重，降低初级能源的消费比重，提高能源的利用效率；（3）在以电力、煤炭和石油为主的传统能源之外，发展核电、生物能源为代表的新兴能源。

但是，与当前国家大力推行的一系列促进能源内部替代的战略和政策极不协调的是，国内节能降耗取得的绩效十分差强人意。如“十一五”规划《纲要》提出中国到2010年，单位GDP能耗必须降低20%左右，即每年能耗必须降低4.4%的目标近年来远未实现。2006年统计数据显示，全国平均能耗只比2005年下降1.23%。而2007年上半年，能耗不降反升，同比上升0.8%。

之所以发生节能绩效与能源政策目标相背离的现象，是因为影响中国能源内部替代的因素兼有复杂性、深刻性的特征。（1）发达国家的历史经验表明以煤为

主的能源向以石油为主的能源转换，基本上遵循传统工业化的路径。在我国石油储量十分有限的情况下，缩小石油供需缺口的途径依赖于国际石油的不断输入，但随着我国国内石油对外依存度的扩大，我国以石油为主的能源进口战略开始受到国际经济和政治不确定性因素的制约，在以美国、日本为代表的国家看来，世界石油供给的“零和博弈”意味着中国日益增加的石油进口剥夺了其它国家的石油消费，导致了我国海外石油开采和收购遭遇了一系列挫折。(2) 以电力为主的二次能源对初级能源的替代，虽然有助于提高能源的利用效率，但依然摆脱不了以煤等不可再生能源为主的中间投入，经济增长对电力的巨大需求实质上相当于对以煤为主的初级能源的二次消费，仍然沿着初级能源消费的传统模式，造成了环境污染和储量的持续递减。(3) 以新兴能源、可再生能源对不可再生能源的替代战略，在目前的技术水平和价格机制下，由于其较高的开发成本难以和传统的能源形成竞争，也制约了新兴能源和可再生能源产出的规模效应和潜在的市场需求。

相比较能源内部替代战略，能源外部替代战略不仅有利于克服能源内部替代所面临的一系列现实约束还有兼有许多内部能源替代难以比拟的优势。(1) 能源外部替代主要基于国内的资本、劳动等投入对能源的替代，可以规避依靠石油进口所遭遇的国际政治经济的不确定性；(2) 能源外部替代打破了单纯以能源（传统能源、新兴能源或可再生能源）替代传统能源的狭隘思路，不仅避免了电力耗煤形成的对不可再生资源的耗费，还规避了新兴能源和可再生能源因成本较高而形成的市场规模约束。(3) 劳动、资本对能源替代主要基于生产要素的边际生产力理论，通过前者对后者的替代实现整体边际生产力的提高和生产成本的降低，主要基于要素禀赋结构和价格机制形成的经济性替代，不同于以主要依托于工程性技术的能源内部替代，从而规避了后者自身具有的周期性较长的特点，具有短期应对能源短缺的灵活性。

此外，从国际经验看，许多国家尤其是后起发展国家，从初期的工业化的能耗密集型的粗放式增长逐步变为能源节约型的集约式增长，在很大程度上取决于自主创新的技术进步、产业规模效应的递增、要素价格的市场化改革、组织变革和管理方式的改变等因素的作用，但最终上述因素都通过资本、劳动和能源等生产要素有机组合的变化，提高要素的利用效率并突破资源的瓶颈约束，实现经济

的持续快速增长。因而，自 20 世纪 70 年代的石油冲击之后，资本、劳动对能源的合理替代逐渐成为国际能源经济研究的重点，影响着各国的能源战略政策的制定。

就当前中国的资本、劳动的供给而言，国内二元经济结构下形成的过剩劳动力使得促进就业、控制失业一直以来是中国经济发展的主要目标之一；中国资本早已摆脱改革初期短缺的状态，在国内反映为储蓄大于投资，贸易双顺差引发的流动性过剩的经济格局。在面临流量与存量双重约束、国际政治环境不确定性以及环境保护三重约束下，实现良好的能源外部替代将是中国工业化进程持续进行的必然选择。这不仅有利于解决单纯外延型增长模式引发的能源高消费的种种弊端，同时也有助于资本、劳动等生产要素的优化配置，通过提高要素的利用效率来扩大产出。此外，三者之间的美好替代还有利于促进就业、优化中国的出口结构和降低能源价格上升带来的产出冲击。因而，中国工业部门的能源外部替代成为本文研究的重心，文中其它部分的能源替代如果没有作特殊说明，一般指能源外部替代。

本文将借助于一系列模型在分析中国能源替代的同时，进一步考察产出效应、技术进步对能源替代的影响，通过分析能源替代的短期和长期效应来寻找劳动与资本对能源的演化路径，并模拟价格改革（能源税）对中国能源替代的影响，从而提供符合中国国情的工业能源替代战略和政策建议。

三、中国工业部门的能源替代分析

目前，国内针对能源替代的研究尚处于起步阶段，但是国际上相应的研究比较成熟，其研究模型从最初基于超对数生产函数(TPF)的角度演变为后来基于超对数成本函数(TCP)的角度，涉及包括能源短期替代弹性的弹性-粘性（Putty-Clay）模型和研究能源长期替代弹性的动态调整（Dynamic Adjustment）模型；对能源价格变化对能源替代的影响也从局部均衡模型（PE）发展到可比较一般均衡模型（CGE）。上述模型对基于能源价格变化引发的能源替代的分析对各国的能源战略的制定产生了重要的影响。无论欧美等市场成熟国家还是俄罗斯、东欧的市场转型国家以及印度等新兴的市场国家都把其资本、劳动与能源投入之间的调整作为能源政策的重要出发点。

本文的研究重心主要基于工业部门的固定资本存量、实际从业人员对包括电力、石油、天然气以及其它不可再生资源在内的能源替代。因而，必须对工业部门的资本、能源、劳动之间的实际成本和要素价格进行系统地估算。

1, 资本存量和资本价格

中国工业部门的固定资本存量主要包括设备资本存量和建筑资本存量两部分。对工业部门资本存量的估算主要采取永续盘存法 (PIM) 对我国 1978 至 2005 年的工业资本存量进行了系统估算。测算资本使用价格比较通用的方程主要是 Romer (1999) 提出的, 他认为影响资本的使用价格除了利率以外, 还有预期通胀率、税率和资本自身价格的变化等因素, 因而本文将通过借鉴 Romer 的资本使用价格测算方程来估算中国工业部门的资本使用价格。工业部门的资本存量、资本使用价格以及资本使用成本的测算方程:

$$K_t = I_t + (1 - d)K_{t-1} = K_{t-1} + I_t - dK_{t-1} \quad (1)$$

$$p_k(t) = [r(t) + d - \frac{q_k(t)}{q_k(t)}](1 - f_t) \quad (2)$$

$$C_k(t) = p_k(t) \square K(t) \quad (3)$$

其中, K_t 表示该年的工业资本存量, K_{t-1} 表示上一年的固定资本存量, I_t 表示当年的工业资本形成总额, d 表示资本折旧率, $p_k(t)$, $r(t)$, $\frac{q_k(t)}{q_k(t)}$, f_t , $C_k(t)$ 分别表示资本的实际使用价格, 银行针对固定资产的贷款利率 (取三年期贷款利率), 预期的资本市场价格变化率, 公司税率, 真实使用成本。由于影响资本的使用价格除了利率以外, 还有预期通胀率、税率和资本自身价格的变化。我国目前的公司所得税率对资本的实际价格影响非常小, 故取 $f_t = 0$ 。预期通胀率的选取主要基于理性预期的假设, 即预期资本存量价格的变化率等于实际通胀率。因而 $\frac{q_k(t)}{q_k(t)} = p(t)$, 从而工业资本的使用成本转化为

$$C_k(t) = p_k(t)q_k(t) = [r(t) + d(t) - p(t)]q_k(t) \quad (4)$$

此外, 为了协调工资、资本存量以及能源实际价格指数, 统一用 GDP 平减

指数表示通胀率。

2, 能源消费总量和价格

关于能源消费的统计, 现有的统计资料主要给出了初级能源消费数据, 而没有给出系统的包括电力等二次能源在内的总能源消费数据, 并且也没有给出明确的能源价格数据。因而我们选用燃料动力价格指数表示能源价格指数。从而在求出基年能源价格的基础上, 估算出历年能源价格。

工业的能源消费主要包括对电力和初级能源的终端消费。在初次能源消费中, 煤炭的大部分(近年来达 70%以上)以中间投入的形式用于发电和供暖供热, 而石油、天然气也有部分用于发电。但石油、天然气和煤炭用于相互之间生产的中间投入较小, 因而该部分中间投入相对于电力耗费的初级能源数量而言, 可以忽略不计。

假设全社会的能源消费成本为

$$TC = \sum C_i \quad (5)$$

其中 $i=1, 2, 3, 4$, 分别表示电力、原煤、石油和天然气以及其它能源, C_i 表示全社会消费的电力、原煤和天然气等能源的各自成本。

则工业部门的能源消费成本为

$C_{in} = \sum \omega_i C_i$, ω_i 表示工业消费的每种能源成本占该能源全社会终端消费的比例。

由于工业部门消费的电力成本远远大于其消费的原煤和石油成本, 因而工业部门消费的电力成本采取精确的直接计算方法, 即

$$C_{elec} = p_{elec} \cdot Q_{elec} \quad (6)$$

消费的其它能源成本则采取近似方法, 即 $C_{in,i} = w_i \cdot C_i$, w_i 为工业部门消费的能源总量占全部终端消费能源的比例。从而得出工业部门消费的能源成本为

$$C_{in} = \sum \omega_i C_i + p_{elec} \cdot Q_{elec} \quad (7)$$

其中, $i=1, 2, 3$ 分别表示原煤、石油和天然气以及其它能源的终端消费。从能源消费流程图可以看出, 工业消费的能源量(除电力外)为

$$Q_{in} = \sum \psi_i (Q_i - Q_m) \quad (8)$$

其中 Q_i , Q_m , ψ_i 分别表示全社会各种能源的消费总量, 中间消费量, 工业终端消费占全社会终端消费的比例系数。全社会消费的石油和原煤等能源成本可以近似于石油和原煤行业的当年产值 $Y_i(t)$ 。

3, 劳动力和劳动力总成本: 劳动力价格和劳动力总成本可以通过实际平均工资指数和实际总工资额加以表示。由于国内只给出职工的工资数额, 忽略了大量城镇非正式职工工资收入。同时, 由于人均工资收入的统计数据并不完全, 所以本文用职工工资指数替代工业部门的工资指数, 从而求出各个时期的工业部门的平均工资, 就业人数为第二产业就业人数减去建筑业的就业人数, 其数据可以由历年的《中国统计年鉴》查得。

(一) 工业部门能源交叉弹性 (CPE) 和 Morishima 替代弹性 (MES) 分析

本文将在针对 Allen 替代弹性模型的修正基础上, 通过 MES 模型考察中国劳动、资本与能源之间的交叉价格弹性和替代弹性的演变路径, 考察技术进步、产出效应对能源替代的影响。

目前国际上分析能源替代的模型主要有 Allen 模型, 其主要基于超对数成本函数来分析要素之间的交叉价格弹性, 即一种要素投入总量的变化对另一种要素价格变动的反应程度, 因而无法解释两种要素之间的替代关系 (MES), 即单位产品中两种要素比例的变化对其中一种要素价格变化的反应程度。这就意味着, 即使能源与资本之间 CPE 为负 (互补关系), 但是 MES 可能为正。也就是说, 虽然随着能源价格的上升, 导致资本投入总量的减少, 但是在诸如单位产品的微观层面上, 资本与能源的比例却随着能源价格的上升而上升。一个可能的解释是, 当能源价格提高时, 微观单位内的资本能源投入比上升, 因而单位产品的资本需求上升。但是在宏观层面, 能源价格上升使得社会需求偏向能源非密集型产品, 从而导致能源密集型产品需求下降, 而能源密集型产品往往兼有资本密集型的特征, 因而能源密集型产品下降也会通过产品需求结构的变化诱发资本投入的下降, 从而导致资本与能源在宏观层面上表现为互补关系。

1, 交叉价格弹性 (CPE) 与 Morishima 替代弹性 (MES) 的估算

相对于 Allen 模型的上述不足, MES 模型较好地地区别了要素的交叉价格弹性和净替代弹性。其中 Allen 模型和 MES 模型的具体形式如下:

Allen 模型:

$$CPE_{ij} = E_{ij} = \frac{\partial \ln x_j}{\partial \ln p_i} = s_j \sigma_{ij} \quad (9)$$

$$s_i = a_i + \sum_{j=1}^n b_{ij} \ln p_j \quad (10)$$

MES 模型:

$$\begin{aligned} MES_{ji} &= \frac{\partial \ln(x_j/x_i)}{\partial \ln p_i} = \frac{\partial \ln(x_j(y,p)/x_i)}{\partial \ln p_i} - \frac{\partial \ln x_i(y,p)}{\partial \ln p_i} \\ &= CPE_{ji} - OPE_{ii} \end{aligned} \quad (11)$$

其中, s_j 表示第 j 种投入要素成本在总成本中的所占份额。 a_i 表示常系数, σ_{ij} 表示第 j 种要素对第 i 种要素的 Allen 替代率 (AES)。 CPE_{ji} 指交叉价格弹性, 表示随着要素 i 价格的变化, 要素 j 的需求的相对变化。 OPE_{ii} 表示要素 i 的自价格弹性。

表 1 绝对交叉价格弹性和净交叉价格弹性的不同取值情形

情形	CPE	MES	分析结果
I	负	正	MES 和 Allen 都互补
II	负	正	Allen 互补, MES 替代
III	正	正	MES 和 Allen 都替代

2, 资本、劳动与能源的交叉价格弹性(CPE)和 Morishima 替代弹性(MES)

研究结果表明 (见图 4), 能源自价格弹性大约在 0.1 上下徘徊, 劳动力自价格弹性在 0.3 上下徘徊而资本自价格弹性近乎为 1。这表明中国的能源需求相对劳动力和资本需求更缺乏弹性。资本的自价格弹性在 20 世纪 90 年代中期以前, 一直在 0.9 上下徘徊, 而此后则呈现缓慢上升的趋势。一个可能的解释是, 1998 年之后的银行商业化改革、金融市场的拓展以及诸如准备金、再贷款、再贴现等市场化调控手段的运用, 使得中国缓解计划经济残余的“金融压抑”约束取得了突破性进展, 中国金融体制初步形成了市场化框架, 促使了资本自价格弹性的增加。

能源自价格弹性随着时间的延续而趋于增长的历史路径表明能源需求对价格的反应程度在 80 年代中期之前一直呈现下降趋势, 但在 90 年代前期出现短暂

的上升之后，又持续下降至 90 年代末。但继 2002 年以后，工业能耗面临着“十一五”发展规划提出的节能降耗的外部约束，以及市场化进程的深化导致能源价格从过去价格缺位下的低廉价格向市场价格的回归，促进了能源自价格弹性趋于上升的变化趋势。此外，国际化进程下资源性产品与基础性产品逐步与国际价格的接轨，又额外加大了能源需求对能源价格的敏感程度。但另一方面，中国重工业化形成的能源依赖型的工业增长模式又构成了能源自价格弹性增加的消融力量。上述几种影响能源自价格弹性的背离力量的共同作用，导致了能源自价格弹性呈现增长但不显著的趋势特征。

就资本、劳动对能源的替代而言，图 5 显示资本与能源之间的绝对替代呈现不确定性趋势，这表现为 CPE_{ke} 在过去的 30 年中呈现正负交替的显著特征。但是，就资本与能源的净替代关系而言，排除因通货膨胀较高引发资本使用价格为负的个别年份外， MES_{ke} 基本为正，这表明单位投入中的资本能源比随着能源价格的上升而趋于上升。

相对于资本与能源的替代关系而言，劳动与能源无论在绝对替代还是净替代上都显著为正，这说明单纯的能源价格变化有利于实现劳动对能源的替代，从而达到节约能源的目标。

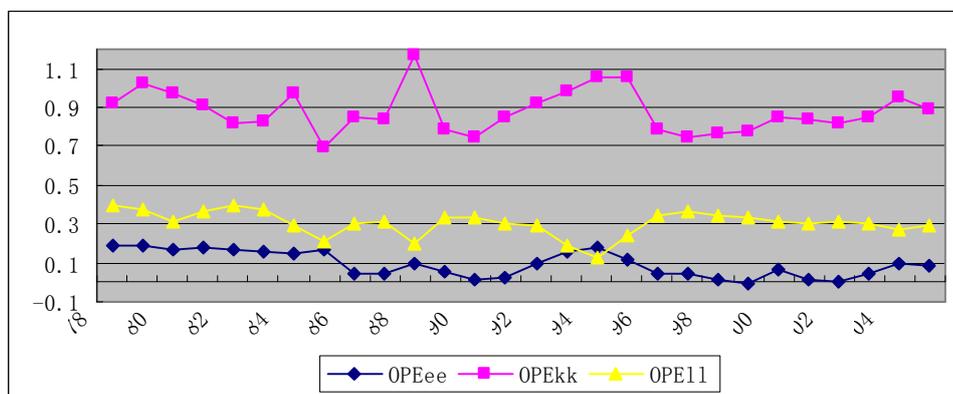


图 4 能源、资本、劳动的自价格弹性

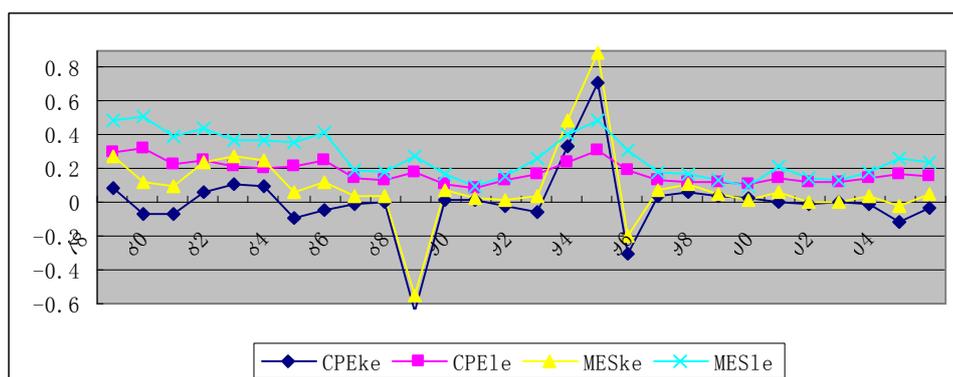


图 5 能源与资本、劳动的绝对交叉价格弹性和净交叉价格弹性

(二) 技术进步与产出规模对能源替代的影响

技术进步和产出效应一直被认为是促进中国工业部门的能耗效率提高的重要因素, 现有的能源战略和政策也多次强调技术进步和规模经济效应对节能降耗的重要意义。因此, 弄清楚技术进步和产出效应对能源替代的具体影响, 将有助于进一步理解中国工业部门的能源替代。

由于 Allen 模型和 MES 模型都包含了技术进步和产出效应等可能影响能源替代的因素, 无法单独区分技术进步和产出效应对能源替代的影响。因而必须对 Allen 模型进行适当的修正, 在原有模型中引进技术进步趋势参数和实际产出以期找出技术进步和产出规模对能源替代的效应, 如式 (12) 所示:

$$s_i = a_i + \sum_{j=1}^n b_{ij} \ln p_j + D_y f \ln y + D_t j t \quad (12)$$

其中 D_y , D_t 分别表示考虑产出效应和技术因素的虚拟变量 (见表 2)。 f , j 分别表示产出和技术的参数, y 和 t 表示真实产出和技术进步趋势参数。模型的实证分析分为三种情形: 情形 I: 不存在技术进步和产出效应; 情形 II: 存在产出效应; 情形 III: 存在技术进步效应。

表 2 模型的虚拟变量设定

虚拟变量	情形 I	情形 II	情形 III
D_y	$D_y = 1$	$D_y = 0$	$D_y = 1$
D_t	$D_t = 1$	$D_t = 1$	$D_t = 1$

结果发现, 技术进步降低了能源、资本的自价格弹性系数而提高了劳动的自价格弹性; 在资本与能源的替代上, 表现为资本节约型的特征。而在劳动与能源的替代上, 则体现为能源节约型特征, 即提高了劳动对能源的替代水平。产出效应提高了资本的自价格弹性, 而导致能源和劳动的自价格弹性下降。降低了资本对能源和劳动的替代而提高了劳动对能源的替代。

表 3 不同情形下的要素自价格弹性和交叉价格弹性

价格弹性	情形 I	情形 II	情形 III
CPEee	-0.25	-0.23	-0.10
CPEkk	-0.94	-1.01	-0.72
CPEll	-0.59	-0.08	-0.75
CPEke	-0.25	-0.27	-0.30
CPEle	0.01	0.02	0.09
CPEkl	0.48	0.34	0.68

无论是单位投入中的劳动—能源比还是资本—能源比，对能源价格变化的反应程度都大于没有产出效应时的比值。技术进步又进一步增大了资本与劳动力对能源的净交叉价格弹性，即提高了资本对劳动的替代水平。其中，技术变化对资本—能源的净交叉价格弹性影响更大，这意味着技术节能在资本日益深化的工业行业的作用非常显著，从侧面说明了中国目前节能必须依靠技术进步。在资本对能源的替代上，产出效应和技术进步都降低了两者之间的替代，这很大程度上归因于中国当前重工业化为特征的工业结构表现为资本与能源之间的互补，技术进步提高了资本的能耗效率，延长了资本的技术寿命，因而在能源价格上涨的情况下，由于资本存量面临调整成本的约束，因而无法及时调整，从而导致资本存量下降，形成了两者之间的互补关系。产出效应更多地借助于中国当前重工业化比重的深化。由于重工业对工业部门产出增加的贡献率越来越大，并且其自身的资本与能源密集型的特征更加明显，这在资本与能源之间表现为互补性的关系。

（三）工业部门的能源替代的短期（静态）和长期（动态）路径

1，短期内，由于资本与劳动对能源的替代将受到调整成本的制约，因而实际中，能源价格的上升并不必然形成资本与能源对劳动的绝对交叉价格弹性的正面影响。相反，由于资本投资存在着事前投资的灵活调整性和事后投资的不可逆性，将导致资本与劳动对能源的替代不能迅速地作出调整。只有当资本调整成本小于调整后节约的能源成本时，才会发生资本的更新投资。根据 Putty-Clay 模型的实证研究发现，能源价格的持续上升在短期内反映为资本存量的下降，并导致

资本更新的发生。由该模型推导而来的临界资本均衡模型（式 13¹）发现，

$$\log(\bar{\nu}) - \log(\nu^*) = \frac{s_l}{1-s_e}(\log z - \log \bar{z}) + \frac{1}{1-s_e}(\log p - \log \bar{p}) \quad (13)$$

在短期内，能源价格上升，资本与能源之间呈现互补的关系，通过脉冲效应发现，能源价格对资本存量减少的影响呈现负面效应，而对劳动投入则表现为良好的促进效应。就 1978-2005 年的资本与能源之间的替代而言，更新后的资本能源比明显大于之前的临界资本能源比（如图 6 所示），这说明资本更新实际上降低了单位产出的能耗。

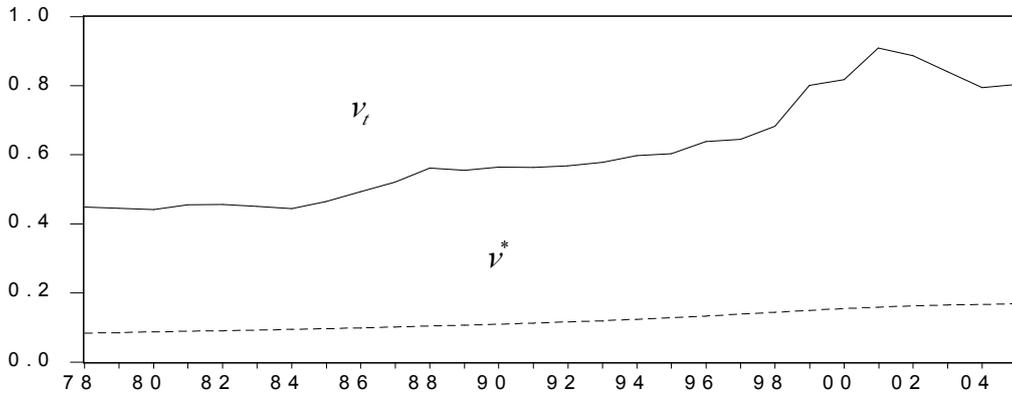


图 6 临界资本 ν^* 和更新资本 ν_t 的趋势图

2，相对于能源替代的短期成本制约，能源替代的长期替代率因资本或劳动的调整成本的消失而增大，在能源价格长期呈现布朗运动的背景下，Allen 替代弹性模型转化为式（14），此时资本、劳动与能源的替代弹性分别为 1.14，1.52。同时，发现技术进步对能源替代的影响系数由 0.17 转变为正 0.60。

$$\begin{aligned} \log C_t = & a_0 + \log I_t + a_1 \log(p_{e,t} / p_{l,t}) + a_2 \log(p_{k,t} / p_{l,t}) + a_3 \log Y_t + \lambda t \\ & + \frac{1}{2} b_{11} [\log(p_{e,t} / p_{l,t})]^2 + b_{12} \log(p_{e,t} / p_{l,t}) (p_{k,t} / p_{l,t}) + b_{13} \log(p_{e,t} / p_{l,t}) \log Y_t \\ & + \frac{1}{2} b_{22} (\log(p_{k,t} / p_{l,t}))^2 + b_{23} \log(p_{k,t} / p_{l,t}) \log Y_t + \frac{1}{2} b_{33} (\log Y_t)^2 \end{aligned}$$

¹其中 $\bar{\nu} = \bar{k} / \bar{e}$ 为能源价格上升时的资本能源比， ν^* 表示达到新的均衡状态时的资本能源比， z ， \bar{z} 分别表示提供的资本存量和能源成本、均衡状态所需要的资本存量和能源成本； p ， \bar{p} 表示现有的能源价格和均衡时的能源价格， s_l ， s_e 分别表示均衡状态劳动成本占总成本的比例、能源成本占资本存量和能源成本总和的比例。

(四) 体制性因素对能源替代的影响

中国改革的深化表现为中央计划性因素的削弱和地方性权力的相对扩大。过去单纯中央计划的大一统经济模式演变为区域间自主性不断增强的竞争模式。这意味着基于地方利益的激励机制可能会对能源替代产生着非常显著的作用。资本较为充分的流动性和劳动流动的相对滞后,在地方政府依赖投资促进增长的偏好驱动下,扭曲为资本的“重商主义”。地方政府节能降耗的政策目标让步于资本引进和工资增长上。与完全竞争性的市场经济条件下形成的帕累托最优状态不同的是,在一个受地方政府利益驱动的转型经济中,能源替代战略的实施往往会导致扭曲型的竞争和非帕累托最优结果。

针对中国转型时期的现实情况,在假设边际产出递减以及资本自由流动导致全国资本回报率为恒定的情况下,借助于柯布-道格拉斯函数,分析能源消费对工资的间接影响(式15)、直接影响(式16)、总影响(式17)以及能源消费对工业资本的边际影响(式18):

$$(dw/de)_i = (f_k - f_k - kf_{kk} - ef_{ek})(-f_{ke}/f_{kk}) = kf_{ke} + e(f_{ke})^2/f_{kk} \quad (15)$$

$$(dw/de)_d = (f_e - kf_{ke} - f_e - ef_{ee}) = -(kf_{ke} + ef_{ee}) \quad (16)$$

$$dw/de = (dw/de)_i + (dw/de)_d = e(f_{ke})^2/f_{kk} - ef_{ee} \quad (17)$$

$$dk/de = -f_{ke}/f_{kk} \quad (18)$$

分析结果发现,从1978-2005年的经验检测,发现 $0 < dk/de < dw/de$ (见图7),可见能源的边际资本积累小于能源消费的边际工资。就能源对工资的边际影响而言,其间接效应要大于直接效应,这说明通过扩大能源消费拉动资本投资,进而带动工资增长的效应要大于直接的能耗带来的工资增长(如图8)。这也解释中国工业部门资本深化过程中伴随着能耗增加和工资增加的现象。对于现有的中国地区性竞争机制而言,一个地区对能源消费强度做出的让步越大,该地区的工资增加就相对越快。这就意味着在地方政府兼具能源监管和经济发展双重职能的体制下,区域间竞争的目的在于以其它区域投资和能耗减少为代价进而提高本区域的工

资收入和税收收入时，节能降耗为核心的能源替代让位于资本重商主义，单个地区在能源替代方面做出的努力将对增加社会产出不产生任何积极意义，反而演变成为一种扭曲性的寻租行为形式，必然导致地区的能源节能（替代战略）缺乏综合性和长远性，从而无法形成统一性和整体性的国家能源替代战略。

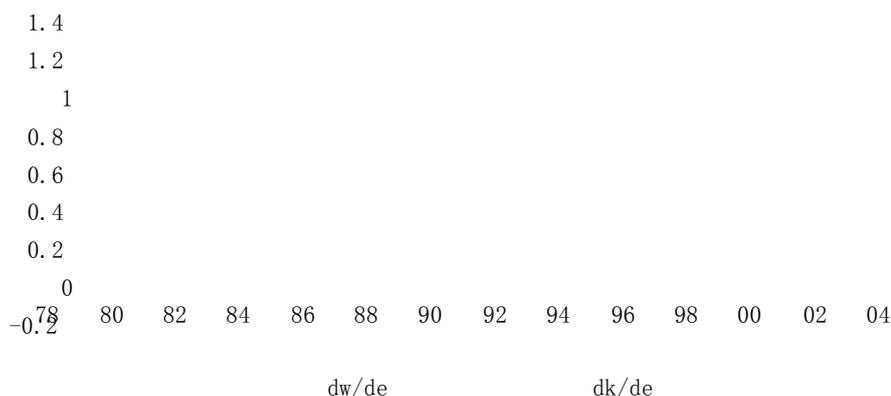


图 7 能源的边际工资和边际资本趋势

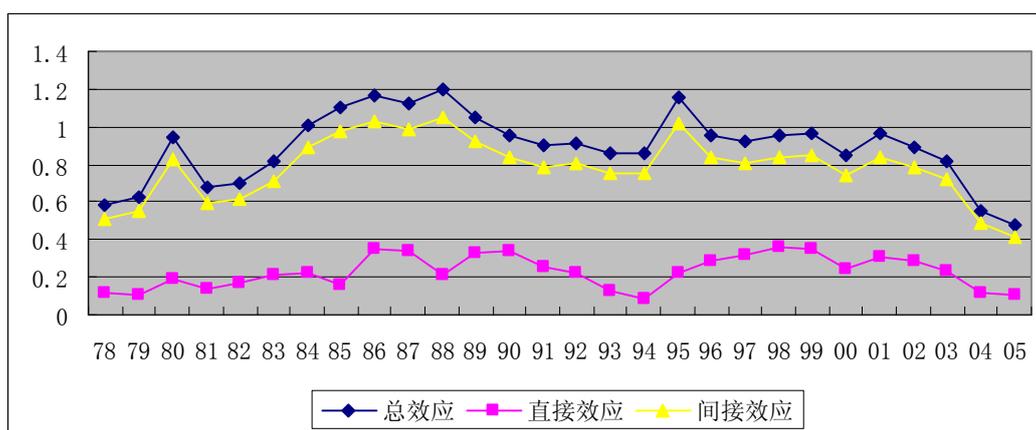


图 8 能源的边际工资的总效应、直接效应、间接效应

四、能源替代政策的选择

综上所述，中国能源外部替代能否达到节约能源、保护环境和要素投入的优化配置取决于能源自价格弹性提高、能源短期替代弹性向能源长期替代弹性的回归以及技术进步和产出效应等因素。能源价格机制是能源替代战略的核心，因而针对能源替代战略的政策必须围绕以能源价格改革及其相关配套政策的改革来进行。

（一）能源价格改革机制改革的途径

能源替代受到较低的能源自价格弹性和能源价格的双重约束。前者导致渐进的、轻微的能源价格上升无法形成显著的能耗降低；后者构成了能源价格变化对能源替代的非对称影响的阈值。两种制约因素的背后实质上是长期以来的能源补贴政策形成的能源实际价格与市场经济价值的背离，导致能源的稀缺成本和对环境破坏的外部成本不能适当地反映在现行的能源成本中。在中国当前要素价格尚未充分市场化的背景下，中国的能源价格既不能达到像欧美等发达国家的能源价格与市场经济价值充分接轨的水平，也无法持续为工业化进程提供低廉的能源供给。这就决定了能源税的征收有助于缓解中国能源价格市场化滞后的制约，也有助于实现资本、劳动对能源的替代，缓解能源供给的约束。通过 CGE 模型的数据模拟发现，在对能源征税 10% 的情况下，工业部门的能源业产出下降了 0.11%，而制造业总产出仅下降-0.01%，整个工业部门产出下降了 0.03%。从整个工业部门来看，能源税的征收也将引发了投入要素之间的替代和互补效应，劳动投入的增加达到 1.8%，而资本投入需求则下降了 2.58%，劳动能源之间的交叉价格弹性为 0.18，而资本能源之间的交叉价格弹性为-0.258。这很大程度上由于劳动投入的调整相对于资本调整比较灵活，因为一旦作为技术载体的资本设备投入生产后，就意味着资本的再更新需要较大的成本，因而当能源价格上升后，原有的资本因为能源成本的上升而弃置不用，在短期资本投入难以及时调整的情况下，必然导致生产的资本投入量出现下降的趋势。

表 4 对能源征税 10% 的影响

	初级能源业	原料业	制造业	二次能源业	最终消费	资本形成	净调出	总产出	价格
能源业	-0.11%	-0.08%	-0.05%	-0.20%	-0.86%	0.00%	-0.48%	-0.11%	10%
原料业	-0.12%	-0.12%	-0.18%	-0.04%	-1.12%	0.00%	-0.11%	-0.12%	3.46%
制造业	-0.32%	-0.22%	-0.01%	-0.32%	-1.18%	0.00%	-0.21%	-0.01%	4.23%
二次能源业	-0.22%	-0.28%	-0.31%	-0.26%	-1.13%	0.02%	-0.30%	-0.26%	6.94%
劳动投入	0.36%	1.28%	1.85%	1.83%	-	-	-	1.8%	4.78%
资本投入	-2.54%	-3.48%	-2.26%	-3.58%	-	-	-	-2.58%	3.34%

总投入	0.11%	-0.12%	-0.01%	-0.26%	-	-	-	-	-
-----	-------	--------	--------	--------	---	---	---	---	---

（二）技术进步和结构调整

无论是技术进步还是产业效应对劳动替代能源产生了积极意义，而导致资本与能源之间的互补性增强。这说明了技术进步和产出效应更多的体现为促进就业、节约资本和能源的特征。因而促进技术进步和扩大产出成为中国能源替代的主要部分。

技术进步离不开良好的技术创新机制和资本的不断更新。中国当前在资本相对充裕的情况下，技术进步应体现为资本对能源的良好替代，而不是在工业部门内部的能源和资本投入之间形成偏重于资本节约的增长方式。促进技术创新的重点必须从依靠技术引进转移到技术自主创新的路径上来，形成自主创新为主、技术引进为辅的创新机制。虽然征收能源税导致总产出的轻微下降，但其下降程度的弱化也可借助于产业结构的调整，通过促进劳动密集型、资本密集型的工业部门的内部产业以及第三产业的发展，缓解因能源价格上涨形成的产出下降压力。此外，加强技术进步，还有助于实现能源短期替代弹性向长期替代弹性的回归。

（三）中国能源投资战略应从能源替代的中长期特征出发

正确认识能源替代的中长期交叉价格弹性是进行能源预测和制定能源投资战略的基本前提。反过来，保持能源投资的持续性是实现能源短期替代弹性向长期替代弹性回归的根本途径。持续的、渐进的能源投资通过不断提高的劳动能源投入比或资本能源投入比实现劳动、资本对能源的替代，规避了能源投资大起大落对经济的冲击。中国之所以出现以电力为代表的能源过剩或短缺相互交错的恶性循环，其根本原因在于缺乏对能源短期与长期替代关系的认识，从而导致能源投资缺乏前瞻性。以1998年为电力过剩和电力短缺的又一个转折点为例来说，国家电力投资由于没有意识到短期资本与能源互补而长期替代的特征，导致简单的通过紧缩资本投资来降低能源供给，进而直接制约了长期资本对能源的替代，从而直接引发了随后能源缺口的高涨。

（四）做好能源替代战略的配套改革

虽然解决中国工业化面临的能源短缺问题的关键在于建立能源市场交易机制，但是在现有以部门或地方性政府形成的分割性、行政性干预等体制因素影响下，单纯的依托与能源价格机制来实现能源替代并不能一蹴而就，还需要做好相

应的配套改革。

1, 要降低能源价格机制改革中潜在的社会利益冲突。虽然能源税的征收有助于促进能源替代的实施, 但是并不意味着征收的能源税越高对中国的经济发展越有利, 能源税的征收政策必须依托宏观的视野, 处理好市场机制与宏观机制的协调、价格改革和配套改革的协调以及对社会弱势群体的利益关注, 同时还要保证相关行业的价格联动机制以及上下游产业之间、地区之间的利益调节机制。

2, 打破体制性因素对能源替代的约束, 关键在于如何降低地方性权力增大对能源替代的负面效应。一个比较可行的办法就是建立统一的政府能源管理部门, 统筹各地区发展和利益协调, 综合规划能源替代战略的实施, 从而在能源替代的监管机构与地方性政府决策机构之间形成有效的制约机制。

总之, 解决当前中国能源需求的多重约束, 保证中国工业部门经济的持续发展, 不仅要通过以能源价格机制为核心的能源替代战略, 还要借助于能源的产业结构调整和优化来实现能源与资本、劳动的有效配置。

附表1² 要素成本份额和真实价格指数³

时间 (年)	s_e	s_k	s_l	$p_e(t)$	$p_k(t)$	$p_l(t)$
1978	0.4114	0.1553	0.4333	1.0000	1.0000	1.0000
1979	0.4253	0.1020	0.4726	0.9674	0.6452	1.0487
1980	0.3230	0.1272	0.5498	0.9386	0.7955	1.1526
1981	0.3586	0.1645	0.4769	0.9236	1.1995	1.1422
1982	0.3223	0.2359	0.4418	0.9326	1.9173	1.1826
1983	0.3153	0.2226	0.4621	0.9325	1.7527	1.2119
1984	0.2974	0.1287	0.5739	0.9080	0.9572	1.3616
1985	0.3279	-0.0039	0.6761	0.8566	0.0259	1.4558
1986	0.2286	0.2111	0.5603	0.8502	1.7732	1.6099
1987	0.2274	0.2177	0.5548	0.8374	1.7687	1.6803
1988	0.2530	0.0553	0.6917	0.8672	0.3451	1.7945

² 表中数据没有进行四舍五入, 直接保留小数点后的四位数字。

³ $p_e(t)$, $p_k(t)$, $p_l(t)$ 分别表示能源、资本和劳动的真实使用价格指数, s_e , s_k , s_l 分别表示能源、资本和劳动投入占总投入的份额。

1989	0.2080	0.2619	0.5301	0.9962	2.0635	1.8312
1990	0.1827	0.2920	0.5254	1.0423	2.7074	1.9141
1991	0.2193	0.2122	0.5685	1.1013	1.7847	1.9587
1992	0.2548	0.1603	0.5850	1.1847	1.3348	2.0972
1993	0.3122	-0.0135	0.7013	1.4061	0.0963	2.2642
1994	0.3681	-0.1450	0.7769	1.3756	0.9638	2.5269
1995	0.2704	0.0858	0.6438	1.3150	0.6780	2.6935
1996	0.2276	0.2580	0.5145	1.3617	2.5463	2.8577
1997	0.2282	0.2960	0.4758	1.4660	3.2794	2.9325
1998	0.2136	0.2769	0.5095	1.4658	3.3543	3.4202
1999	0.2056	0.2685	0.5259	1.4982	3.1217	3.8664
2000	0.2378	0.2103	0.5519	1.6943	2.3609	4.2542
2001	0.2143	0.2222	0.5635	1.6636	2.5898	4.8356
2002	0.2118	0.2350	0.5531	1.6554	2.8472	5.4933
2003	0.2281	0.2082	0.5637	1.7330	2.4591	6.0522
2004	0.2546	0.1360	0.6094	1.7779	1.5023	6.4598
2005	0.2475	0.1780	0.5746	1.9682	2.2029	7.1265

附表2 模型参数值和t统计量

参数	估计值	参数	估计值
a_k	0.09 (1.10)	b_{ke}	0.01 (1.07)
a_l	0.48 (2.05)	b_{ll}	0.19 (0.20)
a_e	0.43 (16.12)	b_{le}	-0.14 (-1.25)
b_{kk}	-0.05 (-2.52)	b_{ee}	0.13 (2.40)

b_{kl}	-0.20 (-161)	—	—
----------	-----------------	---	---

附表3 工业部门的实际要素投入数量和均衡时要素投入数量⁴

时间	K	L	E	E^*	K^*
1978	3487.967	6091	38857.92	35838.58	2998.064
1979	3545.9273	6290.5	39839.84	37880.89	3239.115
1980	3620.4477	6714	41010	39953.38	3485.065
1981	3682.548	6945	40423.96	42105.86	3743.881
1982	3850.2188	7173	42205.56	44398.66	4024.884
1983	4048.9398	7365	44907.2	46875.32	4336.782
1984	4284.921	7898	48214.72	49557.43	4686.536
1985	4750.6732	8349	51068	52446.91	5078.229
1986	5375.8163	8980	54441	55532.26	5511.926
1987	6123.0899	9342	58792	58788.17	5984.419
1988	7081.5046	9661	63040	62178.44	6491.137
1989	7354.746	9569	66291	65666.89	7028.897
1990	7625.9173	11432	67578	69225.96	7600.42
1991	8041.9893	11533	71413	72834.34	8211.683
1992	8656.7823	11695	76279	76454.23	8868.92
1993	9488.9264	11915	82067	80033.63	9576.668
1994	10499.091	12124	87855	83518.77	10337.34
1995	11608.617	12333	96191	86876.22	11152.48
1996	12772.906	12795	100032	90115.93	12025.24
1997	12897.754	13098	100080	93340.97	12963.33
1998	12889.414	13273	94409	96753.58	13981.96
1999	14548.352	13009	90797	100623.4	15095.65
2000	15603.78	12667.317	95442.8	105196.6	16308.02
2001	16794.601	12614.786	92347	110621.2	17617.21
2002	18121.194	11886.984	102181	116947.4	19014.32
2003	20473.625	12148.322	121770.53	124043	20482.21
2004	22751.562	12955.661	143244.02	131628	21994.82
2005	25383.918	14084	158058	139399.5	23526.02

⁴其中，K、L、E、 E^* 、 K^* 分别表示真实固定资本存量（亿元人民币）、实际就业量（万人）、能源消费量（万吨标准煤）、均衡状态时的能源消费量（万吨标准煤）、均衡状态时的固定资本存量（亿元人民币）。