

DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-8131. 2019. 02. 011

能效提升不同情境下中国能源效率的 经济反弹效应研究

陈星星^{1 2a} 何德旭^{2b}

(1. 特华博士后科研工作站, 北京 100029; 2. 中国社会科学院 a. 数量经济与技术经济研究所, 北京 100732; b. 财经战略研究院, 北京 100028)

摘 要: 本文编制了包含能源部门的宏观 SAM 表, 构建了四层生产函数的中国能源效率反弹效应的可计算一般均衡模型, 并将模型系统分为生产模块、收入支出模块、国际贸易模块、投资模块和闭合法则、市场均衡与福利模块五个模块。通过模型模拟, 得出模型参数校调结果, 测算了能源消耗产出反弹效应对经济系统的影响和不同情境下能源消耗产出反弹效应。研究表明, 当煤炭、石油和天然气、电力的能源效率提高 5% 时, 各部门石油和天然气需求量也均增加, 煤炭效率提高会降低农业、建筑业和服务业的电力需求量, 而煤炭、石油和天然气、电力的需求量均有所上升。三种能源效率分别提高 5% 时, 总量经济指标均有所提高。能源效率提升不同程度时, 反弹效应存在显著差异。当能源效率从 1% 提升至 15% 时, 煤炭、石油天然气、电力需求量均呈现先下降再上升的“V”形趋势。在同等能源效率提升幅度下, 能源密集型产业的能源效率的反弹效应更为显著。政府部门在制定能源政策, 提高能源效率时, 不应当一味追求能效的提升, 而应当寻求最适宜的能效提升幅度, 使部门产出和经济总效益最大化。

关键词: 能源效率; 反弹效应; 可计算一般均衡; 宏观 SAM 表

中图分类号: F124. 5; F224. 0 文献标志码: A 文章编号: 1674-8131(2019) 02-0099-14

一、引言

由于经济发展需要大量的能源供给, 并且逐渐受制于资源环境的约束, 因此企业、政府和科研工作者一直致力于寻求在单位能源投入下获取更高产出的途径, 即提高能源消耗产出的使用效率。从表面上看, 提高能源效率可以降低能源消耗, 然而能源的技术进步虽然可以促使单个产品能源效率的提高, 但是从整个经济系统来看, 往往随之而来的是催生一系列经济效果(比如收入、替代、价格效应), 从而增加能源需求, 提高能源消耗, 即出现能源的反弹效应(Rebound Effect, RE)。在节能减排的宏观政策制定中, 往往从微观技术层面提高能源效率, 但由于存在能源效率的反弹效应, 在宏观层面往往达不到节能减排的预期目标, 致使

* 收稿日期: 2018-06-18; 修回日期: 2018-09-28

基金项目: 国家社会科学基金青年项目(16CJL034)

作者简介: 陈星星(1986), 女, 海南海口人; 助理研究员, 博士, 在中国社会科学院数量经济与技术经济研究所、特华博士后科研工作站工作; 主要从事经济增长、能源环境、效率与生产率分析等领域研究; Tel: 13581677406, E-mail: chenxingcindy@126.com。

政策失灵。中国能源效率的反弹效应有多大?对经济系统的影响如何?如何正确制定能源效率政策?这都需要精准地测算出中国能源效率反弹效应的具体数值,从而更加合理地预期节能减排的政策效果。

能源效率的反弹效应可以分为三种:直接反弹效应、间接反弹效应和经济反弹效应。其中,直接反弹效应指能源效率提高导致能源价格下降,能源需求量增加导致能源消耗上升,也即早期学者发现的能源反弹效应;间接反弹效应指能源价格下降间接提高了消费者的购买力,导致消费者对产品需求增加,从而在生产增加需求的产品时消耗更多的能源;经济反弹效应指能源效率提升,能源行业利润上升,能源密集型产业迅速发展,能源需求增加,同时能源效率的提升和能源密集型产业发展都会带来经济增长,从而进一步提升能源消耗。政府部门在追求能源效率提升的同时,制定相应的政策目标。理论上讲,效率提升越高,投入产出收益越大,但在实际经济运行中,能源效率的提升是否会对其他经济效益指标带来负向影响?本文通过构建中国能源效率的可计算一般均衡模型来测算中国能源效率的经济反弹效应,从而估计能源效率与经济效益间的最佳平衡点。

二、文献述评

当前,国际和国内对能源效率的反弹效应均愈发重视。Greening等(2000)实证分析了能源效率与能源消费之间的反弹效应,认为制定提高技术水平的政策可以降低碳排放和能源消耗,但是能源消耗效率的提高同时也会降低能源价格,从而使能源消耗增加,抵消能源消耗效率提高带来的能耗减少^[1]。Brännlund等(2007)研究了如何通过技术进步提高能源效率,从而影响瑞典家庭的能源消费选择,降低二氧化碳、二氧化硫和氮氧化物的排放量^[2]。英国能源研究中心(UKERC)以消费者更换省油的汽车,却由此行驶更多里程为例,说明能源反弹效应的巨大效应(Sorrell 2007)^[3]。Bentzen(2004)运用动态最小二乘法(DOLS)测算出美国制造业能源反弹效应约为24%,并给出能源反弹效应的含义:为应对能源价格冲击而使用新能源技术,虽提升了能源效率,但却降低了能源价格,致使能耗增加,从而抵消了由于技术进步带来的能耗节约^[4]。Gillingham(2013)研究了能源效率与反弹效应之间的关系,指出为了减少能耗,同时遏制全球变暖等问题,在制定能源效率政策时应充分考虑能源效率的反弹效应^[5]。Gillingham等(2015)认为,现有文献大多从成本外生的角度研究能源效率提升导致的能源反弹效应,或者仅仅研究了能源效率反弹效应的影响。而他们从创新和生产力的角度,测算了能源效率对宏观经济的反弹效应^[6]。Li和Han(2012)测算了中国行业能源效率的反弹效应。结果表明,能源的反弹效应主要是由能源效率的反弹效应造成的,第二产业反弹峰值的延迟反映了其能源效率改变的滞后,政府部门在制定能耗政策时应充分考虑中国能源效率的反弹效应^[7]。Turner(2013)认为,近年来传统文献研究能源效率政策的反弹效应仅考虑了单一的反弹效应,而未考虑能源使用类型的变化。Turner考虑了广泛意义上的能源效率的反弹效应,即将反弹机制的定义从能源的实际节约量提升到能源的潜在节约量^[8]。Saunders(2000)发现,能源反弹效应与能源价格呈正相关关系,当能源价格从低到高变化时,能源反弹效应可以在0%~100%之间变化^[9]。Lin和Liu(2015)基于LA-AIDS理论研究了中国城乡居民建筑行业的能源回弹效应,发现农村住宅建筑比城市住宅建筑的回弹效应大得多,农村住宅建筑回弹效应减弱,而城市住宅建筑回弹效应增强。如果实施包括价格政策、技术改进等措施以降低反弹效应的能源政策,中国每年可以节约大约20%的住宅建筑用电^[10]。Yu等(2015)发现随着经济效益的提高,生产侧经济回升幅度适中。能源价格水平略有下降,但各行业在本地生产和需求方面价格反映不尽相同。不同行业的能源效率提升会带来不同的经济影响,能源生产行业及其上下游行业、交通行业及具有高生产弹性的行业,能源效率的反弹效应较大^[11]。Lu等(2017)探讨了中国不同能源类型的反弹效应,认为用电效率的提高对GDP的影响最大,燃料替代性不显著影响宏观经济;对于出口导向型的行业,资本密集型企业企业在短期内会受到巨大的负面冲击,而劳动密集型企业则会受到长期的负面影响;一次能源商品比二次能源商品表现出更大的反弹效应^[12]。

国内对于能源效率的反弹效应并不丰富,并且由于选取主体、样本、时间、区域、数据来源以及参数选择

的不同,研究结果也存在明显差异。李元龙和陆文聪(2011)构建了中国资源环境可计算一般均衡模型,测算了生产部门宏观能耗的反弹效应,认为当能耗效率提高5%时,能源反弹效应为52.38%^[13]。胡秋阳(2014)认为,高能耗产业的能源效率反弹效应较低能耗产业更为明显,提高低能耗产业的能源效率绩效优于提高高能耗产业的绩效^[14]。查冬兰和周德群(2010)实证分析发现能源效率反弹效应在我国实际存在,在能源效率提高4%的情境下大约为30%左右^[15]。随后查冬兰等(2013)进一步研究了能源效率对碳排放的影响,认为提高能源效率可以减少碳排放,但由于存在反弹效应这种效应被部分抵消,提高电力能源效率能更好地实现减排目标^[16]。杨莉莉和邵帅(2015)^[17]、邵帅等(2013)^[18]认为,应当对能源效率内生化处理,限制能源效率反弹效应需要实施多管齐下的能源政策组合措施,引入价格、税收等市场导向型辅助政策,才能最大化实现能源效率政策目标。周四军等(2017)将1996—2014年中国能源回弹效应的发展趋势分为三个阶段,认为中国能源回弹效应平均值为64.77%,处于部分回弹阶段^[19]。高辉等(2013)测算了能源回弹效应系数,认为研究的样本区间内所有年份均属于逆反回弹效应,能源回弹效应系数与能源消费回弹量呈同势变化^[20]。吕荣胜等(2013)发现,我国工业能源消费虽存在回弹效应但呈下降趋势,说明技术进步能够显著降低能源消耗,但政府管制的作用仍不容小觑^[21]。赵厚川等(2012)也认为,技术进步是提高能源利用效率的关键因素,能源消费的节约量和回弹量是一个动态变化的过程,近年来能源回弹效应总体上呈现下降趋势^[22]。还有一些学者研究了能源消费的空间异质性及能源效率的区域差异,如陈星星(2018a)研究了中国细分行业的能源消费的空间异质特征^[23]。李平和陈星星(2016)^[24]、陈星星(2018b)^[25]测度了区域及省域能源效率,并给出能源效率的影响因素及提升路径。

纵观已有文献,关于能源效率反弹效应的定性研究和政策研究较为多见,部分文献研究了整体能源效率的反弹效应,并没有研究能源细分产业的反弹效应,同时也并未分析不同能源效率提升幅度下的反弹效果。本文的主要贡献在于通构编制社会核算矩阵宏观SAM表,根据可计算一般均衡原理,设计包含“煤炭、石油和天然气、电力”三种类型的四层生产函数模型,从而构建中国能源效率反弹效应的CGE模型;在对模型参数校调、模型一致性和齐次性检验后,通过分别模拟能源效率提升1%—15%情境下煤炭、石油和天然气、电力需求量的变化,实证分析能源效率反弹效应对经济系统的影响,从而给出政府有关政策建议。

三、研究方法及模型构建

本部分构建中国能源效率能源反弹效应的可计算一般均衡模型,首先编制宏观SAM表,其次介绍本文模型的结构及价值关系,然后给出模型参数和变量,最后构建系统模块和函数模型。

1. 研究方法

研究方法分为可计算一般均衡模型理论介绍、社会核算矩阵SAM表编制以及数据来源三个部分。

(1) 可计算一般均衡模型

可计算一般均衡模型(Computable General Equilibrium, CGE)是一种解决经济复杂系统问题的有效工具(张欣,2017)^[26],其构建求解需要经过程序编写、程序调试、模拟冲击、参数估计和模型结果几个阶段,通常检验模型的合理性需要通过Walras均衡检验、齐次性检验和一致性检验。假设中国能源效率反弹效应为 R ,预期节能目标为 T_0 ,实际节能量为 T_1 ,则本文构建的中国能源效率反弹效应的测算公式如下。

$$R = (T_0 - T_1) / T_0 \times 100\% \quad (1)$$

(2) 社会核算矩阵SAM表编制

本文构建的社会核算矩阵SAM表以2007年的投入产出表为基础。2007年的投入产出表中含有61个部门活动,与之对应为61种商品。由于本文的研究对象是中国能源效率的反弹效应,因此需要将能源部门从原始的SAM表中分解出来,具体将生产活动部门划分为:农业活动、工业活动、服务业活动、建筑业活动、煤炭活动、石油和天然气活动、电力活动;与之对应为7个部门的产品。具体的对应方法如表1所示。

表 1 2007 年原始投入产出表部门与本文模型对应部门

2007 年原始投入产出表部门		本文模型
部门名称	部门编号	部门
稻谷、小麦、玉米、其它谷物、豆类、油料作物、棉花、糖类、蔬菜、水果、其他作物、猪肉、牛肉、羊肉、禽、其它畜产品、林业、木材及竹材采运业、渔业	01~19	农业
金属矿采选业,非金属矿及其他矿采选业,食品制造及烟草加工业,纺织业,纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业,木材加工及家具制造业,造纸印刷及文教体育用品制造业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学工业,非金属矿物制品业,金属冶炼及压延加工业,金属制品业,通用、专用设备制造业,交通运输设备制造业,电气机械及器材制造业,通信设备、计算机及其他电子设备制造业,仪器仪表及文化办公用机械制造业,工艺品及其他制造业,废品废料	23~41	工业
农、林、牧、渔服务业,交通运输及仓储业,邮政业,信息传输、计算机服务和软件业,批发和零售业,住宿和餐饮业,金融业,房地产业,租赁和商务服务业,研究与试验发展业,综合技术服务业,水利、环境和公共设施管理业,居民服务和其他服务业,教育,卫生、社会保障和社会福利业,文化、体育和娱乐业,公共管理和社会组织	20,46~61	服务业
建筑业	45	建筑业
煤炭开采和洗选业	21	煤炭
石油和天然气开采业	22	石油和天然气
电力、热力的生产和供应业,燃气生产和供应业,水的生产和供应业	42~44	电力

将投入产出表的部门合并后,可以对应获取原始宏观 SAM 表中部门的数据。本文参照 2007 年中国投入产出表,设定账户如下:活动(activity)、商品(commodity)、要素(factors)、经济主体(institutions)、资本账户(capital)和世界其他地区(rew)。其中,活动包括农业活动(AGRA)、工业活动(INDA)、建筑业活动(CONA)、服务业活动(SERA)、煤炭活动(COAA)、石油和天然气活动(OILA)、电力活动(ELCA);商品包括农业商品(AGRC)、工业商品(INDC)、建筑业商品(CONC)、服务业商品(SERC)、煤炭商品(COAC)、石油和天然气商品(OILC)、电力商品(ELCC);要素包括劳动(LAB)、资本(CAP);经济主体包括居民(households)、企业(COP)、政府(GOV);资本账户包括固定资产投资(FIX)、存货(STO)。此外,居民根据 2008 年《中国统计年鉴》中的数据进一步划分为农村居民(RUR)和城镇居民(URB)。

(3) 数据来源

数据来源于国家统计局编写的 2007 年《中国投入产出表》,采用自上而下的方法编制社会核算矩阵宏观 SAM 表。本文构建的宏观 SAM 表中,农村和城镇储蓄额、向政府缴纳税费额来自 2008 年《中国金融年鉴》;农村和城镇居民人口数、转移收入、资本账户数据、固定资产投资、存货、世界其他地区有关数据来自 2008 年《中国统计年鉴》;出口补贴来自 2008 年《中国财政年鉴》。在编制完宏观 SAM 表后,根据可计算一般均衡原理,对宏观 SAM 表进行行列调平及检验。

2. 模型结构及价值关系

(1) 模型生产函数结构

参考查冬兰和周德群(2010)^[15]、查冬兰等(2013)^[16]构建四层生产函数模型。其中第一层为煤炭、石油和天然气、电力合成的“能源合成”,采用 CES 生产函数;第二层为资本和能源合成构成的“资本—能源合成”,采用 CES 生产函数;第三层为资本—能源合成与劳动合成的“资本—能源—劳动合成”,采用 CES 生产函数;第四层为资本—能源—劳动合成与中间投入合成的产出,采用 Leontief 生产函数。

(2) 模型部门价值关系

当能源效率变化时,经济系统中各经济主体之间将产生价值传导和价格传导,从而影响其他经济变量。

中国能源效率可计算一般均衡模型的部门价值传导机制如图 1 所示。当能源效率提高时,直接减少了企业生产中的能源消耗,而能源需求量的下降又导致能源价格下降,生产者成本下降,利润增加,从而扩大企业规模,能源消耗上升,此为产出效应;同样,能源效率的提高导致能源消耗下降,但能源成本的下降会导致替代另外两种要素(劳动和资本),从而造成能源消耗上升,此为替代效应;当能源效率升高时,产品成本下降,消费者购买力提升,导致产品消耗量提高,能源消耗上升,此为收入效应。

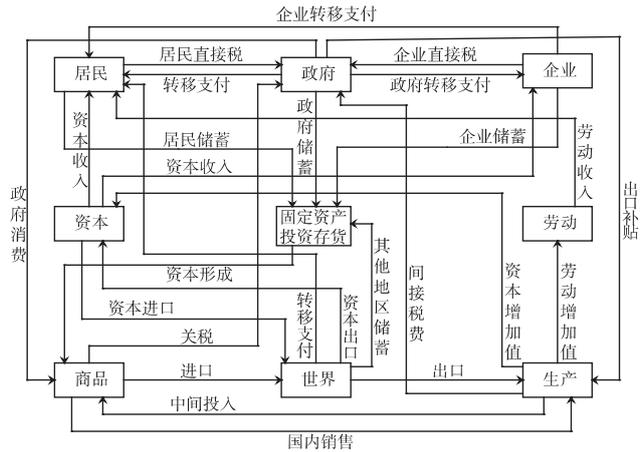


图 1 CGE 模型部门价值关系

3. 模型参数与变量

(1) 生产函数参数

参考 Philip 等(2010)^[27]、Benjamin(2008)^[28]、查冬兰等(2013)^[16]等文献对参数的设定,设定化石能源的替代弹性为 0.7,能源—资本的替代弹性为 0.9,能源—资本—劳动力的替代弹性为 0.6。本文构建的中国能源反弹效应模型生产函数参数设定如表 2 所示。

其中, $\sigma_{EN}(a)$ 、 $\sigma_{KE}(a)$ 、 $\sigma_X(a)$ 、 $\sigma_{EX}(a)$ 、 $\sigma_{MD}(c)$ 的含义分别为: 能源合成品下各投入品间的替代弹性参数、资本—能源合成品之间的替代弹性参数、资本—能源与劳动力之间的替代弹性参数、出口商品与国内产品间的 CET 函数弹性参数、进口商品与国内产品间的 CES 函数弹性参数。

表 2 生产函数参数及参数设定

参数	农业	工业	建筑业	服务业	煤炭	石油和天然气	电力
$\sigma_{EN}(a)$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
$\sigma_{KE}(a)$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$\sigma_X(a)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
$\sigma_{EX}(a)$	5.0	6.0	6.0	4.0	6.0	6.0	4.0
$\sigma_{MD}(c)$	4.9	5.6	5.6	4.0	5.6	5.6	3.8

(2) 模型其他参数

对于中国能源效率的可计算一般均衡模型,本文的其他参数设定如表 3 所示。其中 ρ 表示生产活动, c 表示商品, h 表示居民属性,即农村居民与城镇居民。

(3) 模型变量

本文构建的中国能源消耗产出反弹效应模型变量如表 4 所示。其中,进口商品的世界价格 $PWM(c)$ 、汇率 ER 、相对工资率 $W(a)$ 、资本供给量 $KS(a, h)$ 、劳动力供给量 $LS(a, h)$ 设定为外生变量,其余为内生变量。

表 3 模型其他参数

参数	含义	参数	含义
$\alpha_C(a)$	能源合成品中煤炭的份额参数	$c_{les}(c, h)$	h 类居民对商品 c 的消费份额
$\alpha_O(a)$	能源合成品中石油的份额参数	$mtax(c)$	政府对进口商品 c 所征收的关税税率
$\alpha_E(a)$	能源合成品中电力的份额参数	g_{en}	政府对企业的转移支付参数
$\alpha(c, \rho)$	中间投入的投入产出系数	$g(h)$	政府对 h 类居民的转移支付参数
$AEN(a)$	能源合成品的转移参数	gdt	政府消费支出所占总收入的份额参数
$AKE(a)$	资本—能源合成品的转移参数	$gles(c)$	商品消费 c 在政府商品总消费支出中所占的份额参数
$AX(a)$	资本—能源—劳动合成品的转移参数	$esub(a)$	政府对出口商品的补贴率
$\alpha_K(a)$	资本—能源合成品中资本的份额参数	$AQ(c)$	Armington 商品的转移参数
$\alpha_{KE}(a)$	资本—能源合成品的份额参数	$\alpha_M(c)$	Armington 商品下进口品的份额参数

续表3

参数	含义	参数	含义
$itax(a)$	生产部门 a 的间接税费率	$AEX(a)$	国内产品的转移参数
k_{en}	资本收入对企业的分配参数	$alphaEX(a)$	国内产品下出口品的份额参数
en_h	企业对居民转移支付的分配参数	$dstr(c)$	存货
$htax(h)$	h 类居民向政府缴纳的税费率	k_w	资本报酬在国外的份额系数
$l(h)$	h 类居民在劳动报酬上的分配参数	$ww(h)$	h 类居民在世界其他地区对居民转移支付上的分配份额
$k(h)$	h 类居民在资本收入上的分配参数	$Deltah$	世界其他地区对居民的转移支付参数
$mpc(h)$	h 类居民的边际消费倾向	$Delta g$	世界其他地区对政府的转移支付参数
$mps(h)$	h 类居民的储蓄率	$Theta$	能源效率

表 4 模型变量

变量	含义	变量	含义
$PEN(a)$	生产部门对能源合成品的价格	$PWM(c)$	进口商品的世界价格
$PKE(a)$	资本—能源合成品价格	$PWE(a)$	出口商品的世界价格
$PKEL(a)$	资本—能源—劳动力合成品价格	$PE(a)$	出口商品的国内价格
$EN(a)$	生产部门对能源合成品的需求量	$PM(c)$	进口价格
$KD(a)$	生产部门对资本的需求量	$PQ(c)$	商品价格
$KE(a)$	生产部门对资本—能源的需求量	$M(c)$	商品进口额
$COAL(a)$	生产部门对煤炭的需求量	$E(a)$	商品出口额
$OIL(a)$	生产部门对石油的需求量	$Q(c)$	商品数量
$ELC(a)$	生产部门对电力的需求量	$GOVSAV$	政府储蓄
$R(a)$	资本回报率	$EXSUB(a)$	政府对出口的补贴
$W(a)$	相对工资率	$GDTOT$	政府对商品的消费支出总和
$Int(c, a)$	生产部门中间商品的个体需求量	$GD(c)$	政府对商品的消费
$Intc(c)$	中间商品的总需求量	$Da(c)$	国内生产且国内销售的商品的销售额
$X(a)$	第 a 生产部门的总产出	$PDa(c)$	国内生产且国内销售的商品的价格
$PX(a)$	第 a 生产部门的产出品价格	$PDb(a)$	国内生产且国外销售的商品的价格
$LD(a)$	生产部门对劳动力需求量	$Db(a)$	国内生产且国外销售的商品的销售额
$YL(a)$	生产部门的劳动报酬	ER	汇率
$YK(a)$	生产部门的资本报酬	$FXDINV(c)$	商品 c 的固定资产投资
YE	企业收入	$INVEST$	总投资
$ENSAV$	企业储蓄	$DST(c)$	存货
$ENTAX$	企业向政府缴纳的税费	$FSAV$	世界其他地区的储蓄
$ENTOHO(h)$	企业对 h 类居民的转移支付	$SAVING$	总储蓄
$CD(c, h)$	h 类居民对商品 c 的消费	$KS(a, h)$	资本供给量
$YH(h)$	h 类居民总收入	$LS(a, h)$	劳动力供给量
$TOTHSAV(h)$	h 类居民总储蓄	$EV(h)$	h 类居民的效用函数
$GTOH(h)$	政府对 h 类居民的转移支付	$Tariff(c)$	关税
$GTOEN$	政府对企业的转移支付	$etax$	出口税率
$INTAX(a)$	政府的生产间接税费收入	$theta$	能源效率
$TOTHTAX(h)$	政府从居民缴纳税费所得收入	$PGDP$	国民生产总值价格指数
GR	政府的经常性总收入	$EGchk$	用来检查和 EG 是否一致
EG	政府支出	$Vadded$	总增值 检验与支出法是否一致
$GDPVA$	国内生产总值	$GDPchk$	检验增值法和支出法两个方法是否一致
$WTOH(h)$	世界其他地区对 h 类居民的转移支付	$Walras$	检验瓦尔拉斯均衡
$WTOG$	世界其他地区对政府的转移支付		

4. 模块及函数构建

本文构建的中国能源效率系统模块分为 5 个部分:生产模块、收入支出模块、国际贸易模块、投资模块和闭合法则、市场均衡与福利模块。

(1) 生产模块

生产模块分为四层:第一层是能源合成层,第二层是资本—能源合成层,第三层是部门总产出层,第四层是中间投入层。其中,除了第四层资本—能源—劳动合成与中间投入合成的产出层采用 Leontief 生产函数外,其他三层均采用 CES 生产函数。生产模块的主要函数如下^①:

$$PEN(a) = AEN(a)^{-1} \cdot [\alpha C(a)^{\sigma_{EN}} \cdot PQ(COAC)^{1-\sigma_{EN}} + \alpha O(a)^{\sigma_{EN}} \cdot PQ(OILC)^{1-\sigma_{EN}} + \alpha E(a)^{\sigma_{EN}} \cdot PQ(ELCC)^{1-\sigma_{EN}}]^{\frac{1}{1-\sigma_{EN}}} \quad (2)$$

$$PKE(a) = AKE(a)^{-1} \cdot \{ \alpha K(a)^{\sigma_{KE}} \cdot R(a)^{1-\sigma_{KE}} + [1-\alpha K(a)]^{\sigma_{KE}} \cdot PEN(a)^{1-\sigma_{KE}} \}^{\frac{1}{1-\sigma_{KE}}} \quad (3)$$

$$PKEL(a) = AX(a)^{-1} \cdot \{ \alpha KE(a)^{\sigma_{X}} \cdot PKE(a)^{1-\sigma_{X}} + [1-\alpha KE(a)]^{\sigma_{X}} \cdot W(a)^{1-\sigma_{X}} \}^{\frac{1}{1-\sigma_{X}}} \quad (4)$$

$$PX(a) = \{ PKEL(a) + \sum_{nc} [PQ(nc) \cdot \alpha(nc, \rho)] \} / [1 - itax(a)] \quad (5)$$

(2) 收入支出模块

收入支出模块包括 5 个部分:一是要素收入,二是企业收支,三是居民收支,四是政府收支,五是国内生产总值。收入支出模块的主要模型公式如下。

$$YL(a) = W(a) \cdot LD(a) \quad (6)$$

$$YK(a) = R(a) \cdot KD(a) \quad (7)$$

$$YE = k_{en} \cdot \sum_a YK(a) + GTOEN \quad (8)$$

$$CD(c, h) \cdot PQ(c) = YH(h) \cdot [1 - htax(h)] \cdot [1 - mps(h)] \cdot cles(c, h) \quad (9)$$

$$GR = \sum_a INTAX(a) + \sum_c TARIFF(c) + \sum_h TOTHTAX(h) + ENTAX + WTOG \quad (10)$$

$$GDPVA = \sum_a (YK(a) + YL(a)) + \sum_a INTAX(a) + \sum_c TARIFF(c) + \sum_a EXSUB(a) \quad (11)$$

(3) 国际贸易模块

国际贸易模块分为进口和出口两个部分。国际贸易模块的主要模型公式如下。

$$Da(c) = AQ(c)^{\sigma_{MD}(c)-1} \cdot \left\{ \frac{[1-\alpha M(c)] \cdot PM(c)}{PDa(c)} \right\}^{\sigma_{MD}(c)} \cdot Q(c) \quad (12)$$

$$PDa(c) = [PQ(c) \cdot Q(c) - PM(c) \cdot M(c)] / Da(c) \quad (13)$$

$$Db(a) = AEX(a)^{\sigma_{EX}(a)-1} \cdot \left\{ \frac{[1-\alpha EX(a)] \cdot PX_a}{PE_a} \right\}^{\sigma_{EX}(a)} \cdot X_a \quad (14)$$

$$PDb(a) = [PX(a) \cdot X(a) - PE(a) \cdot E(a)] / Db(a) \quad (15)$$

(4) 投资模块

$$FXDINV = INVEST - \sum_c DST(c) \quad (16)$$

$$DST(c) = dstr(c) \cdot PQ(c) \quad (17)$$

(5) 闭合法则、市场均衡与福利模块

^① 由于篇幅所限,第一层至第四层均仅显示价格合成公式,分项推导公式省略,备索。

本模块分为 5 个部分:一是国际收支平衡闭合,二是储蓄投资闭合及瓦尔拉斯均衡检验,三是商品市场均衡,四是要素市场均衡,五是福利模块。闭合法则、市场均衡与福利模块的主要模型公式如下。

$$\sum_c [PWM(c) \cdot ER \cdot M(c)] + k_w \cdot \sum_a YK(a) = \sum_a [PWE(a) \cdot ER \cdot E(a)] + WTOHA + WTOG + FSAV \quad (18)$$

$$INVEST = SAVING + Walras \quad (19)$$

$$Q(c) = Intc(c) + CDA(c) + FXDINV(c) + DST(c) \quad (20)$$

$$LS(a, h) = LSO(a, h) \quad (21)$$

$$KS(a, h) = KSO(a, h) \quad (22)$$

$$EV(h) = \sum_c [CD(c, h) \cdot PQ(c)] \quad (23)$$

四、实证结果

实证结果分为模型外生参数的校调结果以及能源效率的反弹效应对经济系统的影响。

表 5 参数校调

<i>AEN(a)</i>	1.608	2.668	1.365	1.600	1.746	1.857	1.635
<i>alphaC(a)</i>	0.137	0.099	0.017	0.103	0.199	0.043	0.897
<i>alphaO(a)</i>	0.000	0.430	0.021	0.005	0.000	0.094	0.012
<i>alphaE(a)</i>	0.863	0.471	0.962	0.892	0.801	0.863	0.091
<i>AKE(a)</i>	1.439	1.938	1.503	1.994	1.842	1.415	1.965
<i>alphaK(a)</i>	0.893	0.631	0.870	0.539	0.710	0.900	0.598
<i>AX(a)</i>	1.748	1.923	1.960	1.905	1.268	1.547	1.460
<i>alphaKE(a)</i>	0.810	0.677	0.372	0.696	0.972	0.899	0.927
<i>itax(a)</i>	-0.014	0.072	0.145	0.912	-0.014	0.267	0.256
<i>k_en</i>	1.540						
<i>en_h</i>	0.103						
<i>ww(h)</i>	17.581	19.185					
<i>htax(h)</i>	0.027	0.026					
<i>l(h)</i>	0.007	0.014					
<i>k(h)</i>	0.003	0.017					
<i>mpc(h)</i>	2.593	1.154					
<i>mps(h)</i>	0.623	0.393					
<i>htax(h)</i>	0.027	0.026					
<i>mtax(c)</i>	0.002	0.006	16.003	46.572	0.000	0.011	0.000
<i>g_en</i>	0.003						
<i>g(h)</i>	0.005	0.028					
<i>gdt</i>	0.183						
<i>gles(c)</i>	0.007	0.000	0.000	0.764	0.001	0.001	0.001
<i>esub(a)</i>	0.013	0.038	0.038	0.038	0.013	0.019	0.038
<i>AQ(c)</i>	1.180	1.158	1.104	1.219	1.151	1.190	1.273
<i>alphaM(c)</i>	0.876	0.887	0.922	0.862	0.891	0.867	0.837
<i>AEX(a)</i>	1.304	1.175	1.253	1.210	1.198	1.189	1.567
<i>alphaEX(a)</i>	0.809	0.874	0.828	0.867	0.860	0.866	0.709
<i>dstr(c)</i>	5 031 282	20 234 280	12 711 240	2 334 460	3 674 581	126 290	406 345
<i>k_w</i>	-5.141						
<i>Deltah</i>	-0.015						
<i>Deltag</i>	-0.015						

1. 模型参数校调结果

本文构建的中国能源效率可计算一般均衡模型经过运算模拟后,可以得出本文的模型方程,将构建的 SAM 表中数据回代至模型方程,即可得到外生参数校调值,表 5 显示了一维参数的校调值,表 6 和表 7 显示了二维参数的校调值。

2. 反弹效应对经济系统的影响

反弹效应对经济系统的影响分为主要经济指标变化、总量经济指标变化两个部分。

(1) 主要经济指标变化

由于“十三五”规划中要求单位 GDP 能耗下降 15% 以上,按照能源效率年均增长 5% 来计算,可以测

算效率提高后各经济指标发生的变化。表 8 显示了煤炭能源效率提高 5%情境下经济指标变化情况。

表 6 cles(c h) 参数校调			表 7 alpha(c μ) 参数校调							
	RUR	URB		AGRA	INDA	CONA	SERA	COAA	OILA	ELCA
AGRC	1.715	0.241	AGRC	0.284	0.480	0.140	0.094	0.002	0.000	0.000
INDC	1.650	0.559	INDC	0.056	0.873	0.017	0.024	0.009	0.006	0.015
CONC	1.209	0.316	CONC	0.027	0.041	0.018	0.903	0.005	0.002	0.004
SERC	2.196	0.736	SERC	0.079	0.625	0.166	0.066	0.019	0.010	0.036
COAC	0.025	0.006	COAC	0.027	0.431	0.007	0.097	0.031	0.006	0.400
OILC	0.008	0.002	OILC	0.000	0.960	0.007	0.009	0.000	0.008	0.016
ELCC	0.072	0.040	ELCC	0.046	0.597	0.055	0.203	0.039	0.022	0.037

表 8 显示,当煤炭的能源效率提高 5% 时: ①从煤炭需求量看,所有部门的煤炭需求量均有所上升,说明提高煤炭效率在降低煤炭能耗的同时,却提高了煤炭的需求量。煤炭需求量提高最多的是煤炭行业,提高

表 8 煤炭效率提高 5%情境下经济指标变化

	农业	工业	建筑业	服务业	煤炭	石油和天然气	电力
煤炭需求量	0.124	0.124	0.124	0.125	0.134	0.127	0.129
石油和天然气需求量	0.026	0.025	0.025	0.027	0.036	0.029	0.031
电力需求量	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	0.008	0.001	0.003
中间商品总需求	0.000	-0.002	0.016	-0.001	0.011	0.020	-0.002
总产出	-0.001	-0.002	0.000	0.001	0.009	0.014	0.012
国内销售额	0.098	0.004	-0.001	-0.084	0.009	0.019	-0.002
进口额	-0.207	-0.046	0.000	0.196	-0.030	-0.030	0.002
出口额	0.064	0.008	0.300	0.003	0.086	0.079	0.723
居民商品总消费	0.271	0.039	-0.005	-0.265	0.032	0.034	-0.006

了 13.4% ,其他部门均提高 12.5% 左右。这说明当煤炭的消耗产出效率提高时,节省下来的煤炭消耗非但不能降低煤炭行业的煤炭消耗量,反而由于需要生产、销售更多的煤炭会造成更多煤炭的消耗,而这种效应相较于其他行业而言煤炭行业的反弹效应更为显著。②当煤炭的能源消耗产出效率提高时,各部门石油和天然气需求量增加,说明当煤炭消耗的效率提高时,煤炭的消耗损失下降,煤炭生产量提升同时煤炭生产成本下降,煤炭价格下降。此时由于居民收入效应的作用,导致对石油和天然气需求量的增加,并且增加最多的是煤炭部门,其次是电力部门。③煤炭效率提高会降低农业、工业、建筑业和服务业的电力需求量,而煤炭、石油和天然气、电力的电力需求量均有所上升。④农业部门的中间产品总需求不变,工业、服务业和电力部门的中间产品总需求略有下降,石油和天然气的中间商品总需求增长最多,为 2.0%。⑤除了农业和工业的总产出略有下降,建筑业的总产出不变外,其他部门的总产出均有所增加,其中石油和天然气的总产出增加最多为 1.4%。⑥建筑业、服务业和电力行业的国内销售额有所下降,国内销售额提升最多的是农业行业。⑦建筑业的进口额不变,服务业进口额大幅上升,增加 19.6%,而农业部门的进口额大幅减少 20.7%。⑧各部门出口额均有所上升,其中电力出口提升 72.3%,建筑业出口额提升 30%。⑨由于存在能源效率的收入效应,居民商品总消费量除了服务业、建筑业和电力部门外,其他部门的消费量均有所增加,农业部门的居民总消费提高了 27.1%。

表 9 显示,当石油和天然气的能源效率提高 5% 时: ①从煤炭需求量看,所有部门的煤炭需求量均有所上升,说明提高石油和天然气效率在降低石油和天然气能耗的同时,不仅没有降低煤炭的需求量,反而使煤炭的需求量上升。这乍一看似乎与常识不符,但笔者认为这主要是由于石油和天然气产量上升促使其价格下降,导致煤炭价格下降,从而使煤炭需求量上升。此外,煤炭需求量提高最多的是煤炭行业,提高了 3.5% ,其他部门均提高 2.5% 左右。②各部门石油和天然气需求量也均增加,增加最多的也是煤炭部门,增

加了 13.3% 其次是电力部门。③石油和天然气效率提高会降低农业、工业、建筑业和服务业的电力需求量;而煤炭、石油和天然气、电力的电力需求量均有所上升。④农业部门的中间产品总需求不变,工业、服务业和电力部门的中间产品总需求略有下降,石油和天然气的中间商品总需求增长最多,为 1.9%。⑤除了农业和工业的总产出略有下降,建筑业的总产出不变外,其他部门的总产出均有所增加,其中石油和天然气的总产出增加最多为 1.4%。⑥建筑业、服务业和电力行业的国内销售额有所下降,国内销售额提升最多的是农业行业。⑦建筑业的进口额不变,服务业进口额大幅上升,增加 19.6%,而农业部门的进口额大幅减少 20.7%。⑧各部门出口额均有所上升,其中电力出口提升 72.3%,建筑业出口额提升 30.1%。⑨由于存在能源效率的收入效应,居民商品总消费量除了服务业、建筑业和电力部门外,其他部门的消费量均有所增加,农业部门的居民总消费提高了 27.1%。

表 10 显示,当电力的能源效率提高 5% 时:①从煤炭需求量看,所有部门的煤炭需求量均有所下降,说明提高电力效率大量降低了部门的电力能耗,导致电力生产成本下降,部门对电力需求量升高,从而挤占部门对煤炭的需求。煤炭需求量下降最多的是农业行业,说明煤炭对电力的“挤占效应”最强,下降了 3.4%;工业部门降幅最小,为 1.7%。②各部门石油和天然气需求量均有所增加,增加最多的是

表 9 石油和天然气效率提高 5% 情境下经济指标变化

	农业	工业	建筑业	服务业	煤炭	石油和天然气	电力
煤炭需求量	0.025	0.024	0.025	0.026	0.035	0.028	0.030
石油和天然气需求量	0.123	0.123	0.123	0.124	0.133	0.126	0.128
电力需求量	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	0.008	0.001	0.003
中间商品总需求	0.000	-0.002	0.016	-0.001	0.011	0.019	-0.002
总产出	-0.001	-0.002	0.000	0.001	0.009	0.014	0.012
国内销售额	0.098	0.004	-0.001	-0.084	0.009	0.018	-0.002
进口额	-0.207	-0.046	0.000	0.196	-0.030	-0.027	0.002
出口额	0.064	0.008	0.301	0.003	0.086	0.079	0.723
居民商品总消费	0.271	0.039	-0.005	-0.264	0.032	0.031	-0.006

表 10 电力效率提高 5% 情境下经济指标变化

	农业	工业	建筑业	服务业	煤炭	石油和天然气	电力
煤炭需求量	-0.034	-0.017	-0.030	-0.032	-0.025	-0.025	-0.025
石油和天然气需求量	0.139	0.155	0.143	0.140	0.147	0.148	0.148
电力需求量	-0.105	0.111	-0.101	-0.103	0.104	0.104	0.104
中间商品总需求	0.006	0.001	0.007	0.005	-0.011	0.123	0.003
总产出	-0.001	0.002	0.001	-0.001	0.005	0.011	0.013
国内销售额	0.102	0.007	-0.001	-0.090	-0.010	0.119	0.002
进口额	-0.204	-0.045	0.000	0.222	0.039	-0.190	0.006
出口额	0.032	0.012	0.172	0.000	0.048	0.057	0.644
居民商品总消费	0.273	0.041	-0.004	-0.294	-0.046	0.201	-0.004

工业部门,说明工业部门对煤炭需求减少,却增加了石油和天然气的需求,工业部门对石油和天然气的依赖程度更高;其次是石油和天然气、电力部门。③电力效率提高会降低农业、建筑业和服务业的电力需求量,这是因为这些行业对电力的需求弹性较低,当工业、煤炭、石油和天然气、电力行业对电力的需求显著提高时,降低了农业、建筑业和服务业的电力需求量;工业部门的电力需求量提高最多,达到 11.1%。④除了煤炭行业的中间产品总需求有所下降外,其他行业的中间商品总需求均有所增加,石油和天然气的中间商品总需求增长最多,为 12.3%。⑤除了农业和服务业的总产出略有下降外,其他部门的总产出均有所增加,其中电力行业的总产出增加最多为 1.3%。说明电力能源效率的提高刺激了工业、建筑业等能源密集型产业的发展,却抑制了农业、服务业等非能源密集型产业的发展。⑥建筑业、服务业和煤炭行业的国内销售额有所下降,国内销售额提升最多的是石油和天然气行业,高达 11.9%。⑦建筑业的进口额不变,服务业进口额大幅上升,增加 22.2%,而农业、石油和天然气部门的进口额大幅减少,均减少 20% 左右。⑧各部门出口额均有所上升,其中电力出口提升 64.4%,建筑业出口额提升 17.2%。⑨居民商品总消费量除了服务业、建筑

业、煤炭和电力部门外,其他部门的消费量均有所增加,农业、石油和天然气部门的居民总消费分别提高了27.3%和20.1%。电力效率的提高总体上促进了各行业产品出口,提高了国内销售,相比较于进口,对出口的作用更大。

(2) 总量经济指标变化

表11描述了分种类能源效率提高5%情境下总量经济指标变化。

表11 分种类能源效率提高5%情境下总量经济指标变化

	居民总储蓄	关税收入	生产间接税费收入	总储蓄	国内生产总值	居民福利
煤炭	0.005	0.011	0.056	0.072	0.002	0.089
石油和天然气	0.011	0.012	0.088	0.113	0.002	0.105
电力	0.009	0.021	0.085	0.081	0.001	0.033

从总量经济指标变化看,当三种能源效率分别提高5%时,总量经济指标变化如下:①煤炭能源效率提高5%时,总量经济指标均有所提高,其中居民福利提高最大,为8.9%。这说明煤炭仍然是当前中国最重要的一次能源,其效率的提高能够显著提升居民福利,因此应当注重煤炭部门的精细化管理,加强技术引进和机器升级。同时,由于煤炭生产部门大多数是大型国有企业,因此应该充分发挥政府与市场的作用,提升人力资本水平。②石油和天然气能源效率提高5%时,总量经济指标均有所提高,其中总储蓄提高最大,为11.3%。总体来看,石油和天然气比煤炭和电力提升总量经济指标的水平更高,说明石油和天然气效率对经济水平的影响更大。从中国一次能源的消费结构来看,尽管在一段时期内煤炭仍占主导,但是石油和天然气比重逐渐提高,煤炭占比下降,再加上煤炭行业去库存的压力,依靠石油和天然气效率的提高将是未来一段时间内推动中国能源效率提高的主要方式,也是促进经济发展的主要动力。③电力能源效率提高5%时,总量经济指标均有所提高,其中生产间接税费收入提高最大,为8.5%。因此,如果从税收的角度看,提电力效率的作用最为显著,但相比较与煤炭、石油和天然气效率的提高而言,这种方式对居民福利的提升程度是最低的。

3. 不同情境下的能源反弹效应的测度

下文测算了在中国能源效率分别提高1%~15%情境下,不同部门对三种能源需求量的变化情况(见表12)①。

从表12可以看出,当能源效率提升不同程度时,反弹效应存在显著差异。当能源效率提升1%和15%时,所有行业的煤炭、石油和天然气、电力的需求量均有所上升;而当能源效率提升9%时,除工业行业外,其他

表12 不同情境下能源效率提高时的能源反弹效应/%

	能源效率提升1%			能源效率提升9%			能源效率提升15%		
	煤炭 需求量	石油和天然气 需求量	电力 需求量	煤炭 需求量	石油和天然气 需求量	电力 需求量	煤炭 需求量	石油和天然气 需求量	电力 需求量
农业	45.1	43.9	63.1	53.3	54.0	2.2	64.9	70.8	90.2
工业	14.5	20.6	91.2	-22.8	-70.9	-23.5	56.6	64.2	82.5
建筑业	55.4	40.1	88.4	49.8	53.9	18.4	70.6	69.7	62.4
服务业	39.9	43.5	69.2	53.7	59.2	28.2	67.1	77.9	79.1
煤炭	48.6	50.8	3.9	25.7	26.2	38.6	40.6	60.1	78.8
石油和天然气	33.0	89.4	42.4	61.2	60.8	34.2	84.7	89.2	83.4
电力	11.7	41.2	36.7	45.8	39.4	39.1	65.9	94.0	69.7

行业的煤炭、石油和天然气、电力的需求量均为上升,但上升幅度明显低于能源效率提升1%和15%的水平,

① 由于篇幅所限,仅列出1%、9%和15%的模拟结果。

这说明除工业行业外,其他行业的煤炭、石油和天然气、电力的需求量并没有随着能源效率的提升而增加。而对于工业行业而言,当能源效率提升 9% 时,煤炭、石油和天然气、电力的需求量均出现显著下降,说明能源效率的提升,节约了工业行业能源的消耗水平,从而造成工业行业能源产品需求量的下降。对于其他行业,当能源效率提升 9% 时,却使能源产品需求量上升,说明提升效率致使能源产品产量上升的同时,也造成了能源产品需求量的增加,能源上游产品需求量的增加,消费者消费能力的增强,从而能源产品需求量上升。图 2 横向对比了同一行业在不同能耗效率提升情景下的反弹效应。

研究表明,当能源效率从 1% 提升至 15% 时,煤炭和石油天然气需求量均呈现先下降,再上升的“V”形趋势。说明当能源效率提升的幅度较小时,能源需求的反弹效应被由于效率提升带来的能源消耗节省所抵消,出现能源消耗的下降;而当能源效率提升到一定程度时,能源消耗通过收入效应、产出效应和替代效应,抵消了能源消耗的下降,能源消耗产出反弹效应显现。这说明在制定能源政策和提高能源效率时,不应当一味追求能效的提升,而应当寻求最适宜的能效提升幅度,使部门产出和经济总效益最大化。从电力需求量看,当能源效率从 1% 提升至 5% 时,工业行业的电力需求随着能耗效率的提升而下降,其他部门均随着能耗效率的提升而升高。这说明对于电力需求而言,除了煤炭行业外,提高能耗效率均会给产业部门带来电力需求的反弹,工业行业的电力需求反弹幅度随着能耗效率的提升而下降。当能源效率从 5% 提升至 15% 时,所有行业均呈现先下降再上升的趋势。其中,电力、石油和天然气、建筑业、农业、工业的能源效率反弹点出现在 9%,煤炭和服务业的反弹点出现在 7%。此外,可以看出,在同等能源效率提升幅度下,能源密集型产业的能源效率的反弹效应更为显著。

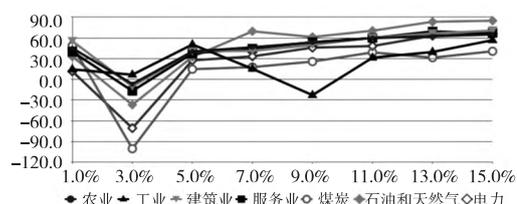
五、结论及建议

本文编制了包含能源部门的宏观 SAM 表,构建了四层生产函数的中国能源效率反弹效应可计算一般均衡模型,并将模型系统分为生产模块、收入支出模块、国际贸易模块、投资模块和闭合法则、市场均衡与福利模块等五个模块。通过模型模拟,得出模型参数校调结果,测算了能源消耗产出反弹效应对经济系统的影响和不同情境下能源消耗产出反弹效应,并给出能源效率与经济效益间的最佳平衡点。本文的主要结论如下。

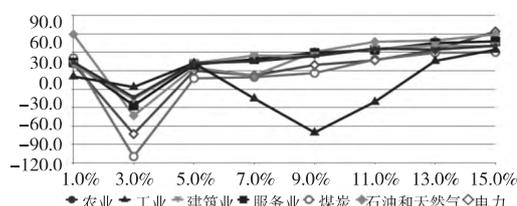
第一,当煤炭、石油和天然气、电力的能源效率提高 5% 时,各部门石油和天然气需求量也均增加,煤炭效率提高会降低农业、建筑业和服务业的电力需求量,而煤炭、石油和天然气、电力的需求量均有所上升。除了农业和工业的总产出略有下降,建筑业的总产出不变外,其他部门的总产出均有所增加。

第二,从总量经济指标变化看,三种能源效率分别提高时,总量经济指标均有所提高。当煤炭能源效率提高时,居民福利提高最大;当石油和天然气能源效率提高时,总储蓄提高最大;当电力能源效率提高时,生产间接税费收入提高最大。除关税收入外,提高石油和天然气的能源效率对经济总量指标的影响程度最大。

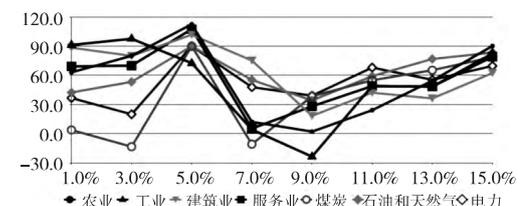
第三,当能源效率提升不同程度时,反弹效应存在显著差异。当能源效率提升 1% 和 15% 时,所有行业的煤炭、石油和天然气、电力的需求量均有所上升;而当能源效率提升 9% 时,除工业行业外,其他行业的煤



(a) 煤炭需求量



(b) 石油和天然气需求量



(c) 电力需求量

图 2 三种能源需求量在不同情境下的反弹效应

炭、石油和天然气、电力的需求量均为上升,但上升幅度明显低于能源效率提升1%和15%的水平。

第四,当能源效率从1%提升至15%时,煤炭、石油和天然气、电力需求量,均呈现先下降再上升的“V”形趋势,说明当能源效率提升的幅度较小时,能源需求的反弹效应被由于效率提升带来的能源消耗节省所抵消,出现能源消耗的下降;而当能源效率提升到一定程度时,能源消耗抵消了能源消耗的下降,能源消耗产出反弹效应显现。电力、石油和天然气、建筑业、农业、工业的能源效率反弹点出现在9%,煤炭和服务业的反弹点出现在7%。在同等能源效率提升幅度下,能源密集型产业的能源效率的反弹效应更为显著。

本文的政策建议如下:(1)在制定能源政策,提高能源效率时,不应当一味追求能效的提升,而应当充分考虑能源效率的反弹效应,寻求最适宜的能效提升幅度,使部门产出和经济总效益最大化。同时,应当提升技术进步水平来提高能源效率,提高能源的使用效率,缓解能源的供需矛盾。(2)充分考虑不同行业能源效率的反弹效应间差异,对于能源效率反弹效应较大的电力行业,适当降低其能耗效率提升目标。由于能源密集产业的能源效率反弹效应更为显著,因此应当优化能源产业结构,促使能源密集度高的第二产业向密集度低的第三产业转换。要加强能源行业间技术资源整合,搭建能源行业间技术流动平台,鼓励能源行业技术创新,促进能源高效行业带动低效能源行业发展。(3)由于提升不同种类能耗效率所带来的经济产出效益变化不同,因此应当根据当前经济形势制定相应政策。如需要提升居民福利,则重点提升煤炭能源效率;如需要提升总储蓄额,则主要提升石油和天然气能源效率。在制定能源政策时,通过税收、价格以及政府管制等手段,影响能源的回弹,从而实现能源节约,协调能源与经济之间的发展。

参考文献:

- [1] GREENING A, GREENE L, DIFIGLIO C. Energy efficiency and consumption — the rebound effect: A survey [J]. *Energy Policy*, 2000, 28(6): 389-401.
- [2] BRANNLUND R, GHALWASH T, NORDSTROM J. Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions [J]. *Energy Economics*, 2007, 29(1): 1-17.
- [3] SORRELL S. The rebound effect: An assessment of the evidence for economy-wide energy saving from improved energy efficiency [R]. UK Energy Research Centre, 2007.
- [4] BENTZEN J. Estimating the rebound effect in US manufacturing energy consumption [J]. *Energy Economics*, 2004, 26(1): 123-134.
- [5] GILLINGHAM K, KOTCHEN J, RAPSON S, WAGNER G. Energy policy: The rebound effect is overplayed [J]. *Nature*, 2013, 493(7433): 475-476.
- [6] GILLINGHAM K, RAPSON S, WAGNER G. The rebound effect and energy efficiency policy [R]. Working Papers, 2015, rev-017.
- [7] Li L, Han Y. The energy efficiency rebound effect in China from three industries perspective [J]. *Energy Procedia*, 2012, (14): 1105-1110.
- [8] TURNER K. Rebound effects from increased energy efficiency: A time to pause and reflect [J]. *The Energy Journal*, 2013, 34(4): 25-42.
- [9] HARRY D. SAUNDERS. Does predicted rebound depend on distinguishing between energy and energy services? [J]. *Energy Policy*, 2000(28): 6-7.
- [10] LIN B, LIU H. A study on the energy rebound effect of China's residential building energy efficiency [J]. *Energy and Buildings*, 2015(86): 608-618.
- [11] YU X, CRUZ J, CRITTENDEN J. Regional energy rebound effect: The impact of economy-wide and sector level energy efficiency improvement in Georgia, USA [J]. *Energy Policy*, 2015(87): 250-259.
- [12] LU Y, LIU Y, ZHOU M. Rebound effect of improved energy efficiency for different energy types: A general equilibrium analysis for China [J]. *Energy Economics*, 2017(62): 248-256.
- [13] 李元龙, 陆文聪. 生产部门提高能源效率的宏观能耗回弹分析 [J]. *中国人口、资源与环境*, 2011, 21(11): 44-49.
- [14] 胡秋阳. 回弹效应与能源效率政策的重点产业选择 [J]. *经济研究*, 2014, 49(2): 128-140.
- [15] 查冬兰, 周德群. 基于CGE模型的中国能源效率回弹效应研究 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2010, 27(12): 39-53+66.
- [16] 查冬兰, 周德群, 孙元. 为什么能源效率与碳排放同步增长——基于回弹效应的解释 [J]. *系统工程*, 2013, 31(10):

105-111.

- [17] 杨莉莉,邵帅.能源回弹效应的理论演进与经验证据:一个文献述评[J].财经研究,2015,41(8):19-38.
- [18] 邵帅,杨莉莉,黄涛.能源回弹效应的理论模型与中国经验[J].经济研究,2013,48(2):96-109.
- [19] 周四军,罗丹,熊伟强,陈强.基于技术进步的中国能源回弹效应研究[J].广西财经学院学报,2017,30(1):1-9.
- [20] 高辉,冯梦黎,甘雨婕.基于技术进步的中国能源回弹效应分析[J].河北经贸大学学报,2013,34(6):92-95.
- [21] 吕荣胜,聂钢.中国工业能源回弹效应研究——基于技术进步视角[J].武汉理工大学学报(社会科学版),2013,26(5):695-700.
- [22] 赵厚川,李德山,刘媛媛.技术进步对川渝地区能源回弹效应的实证研究[J].能源技术经济,2012,24(4):39-43.
- [23] 陈星星.集聚还是分散:中国行业能源消费存在空间异质性吗?[J].山西财经大学学报,2018,40(9):48-61.
- [24] 李平,陈星星.我国八大经济区域能源消耗产出效率差异研究[J].东南学术,2016(5):91-105+248.
- [25] 陈星星.非期望产出下中国省域能耗效率评估与提升路径[J].东南学术,2018(1):151-159.
- [26] 张欣.可计算一般均衡模型的基本原理与编程[M].2版.上海:格致出版社,2017.
- [27] ADAMS P, DIXON J, GIESECKE J, HORRIDGE M. MMRF: Monash multi-regional forecasting model: A dynamic multi-regional model of the Australian economy [R]. Centre of Policy Studies, Monash University, 2010.
- [28] KAHN M, BENJAMIN H. Debunking the myths of computable general equilibrium models [R]. SCEPA Working Paper, 2008.

Measurement of the Rebound Effect of China's Energy Efficiency under Different Situations in Efficiency Promotion

CHEN Xing-xing^{1,2a}, HE De-xu^{2b}

(1. *Tehua Postdoctoral Programme, Beijing 100029, China;*

2a. *Institute of Quantitative & Technical Economics, Beijing 100732, China;*

2b. *National Academy of Financial and Economic Strategy, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100028, China)*

Abstract: This paper compiles a macro SAM table which contains the energy sector and constructs a four-layer production function of computable general equilibrium model to calculate rebound effect of China's energy efficiency. This article divides the model system into five parts: production, income expenditure, international trade, investment and closure rule, market equilibrium and welfare. Through model simulation, the calibration of parameters is obtained, and rebound effect on the economic system and the rebound effect on energy efficiency under different situations are calculated. Results show that when the energy efficiency of coal, oil, natural gas and electricity is increased by 5%, the demands for oil and natural gas are increased, and the increase of coal efficiency will reduce the demand for electricity in agriculture, construction and service industries, while the demands for coal, oil, natural gas and electricity are increasing. When the three energy efficiencies increase by 5%, the total economic indicators increase. There are significant differences in rebound effect when energy efficiencies are different. When the efficiency of energy consumption is increased from 1% to 15%, the demands for coal, oil, natural gas and electricity decrease at first and then increase, and show a "V" trend. The rebound effect of energy consumption output efficiency of energy intensive industries is more significant at the same energy consumption output efficiency. Government departments should not blindly pursue energy efficiency improvement while formulating energy policy and improving energy efficiency, but should seek the most suitable energy efficiency promotion range, so as to make the department output and the total benefit of the economy maximized.

Key words: energy efficiency; rebound effect; computable general equilibrium; macro SAM table

CLC number: F124.5; F224.0

Document code: A

Article ID: 1674-8131(2019)02-0099-14

(编辑:易 淼)