

节能型技术进步与湖南省两型社会建设

——基于湖南省 CGE 模型研究

肖 皓^{1,3}, 谢 锐^{2,3}, 万 毅¹

(1. 湖南大学 经济与贸易学院, 湖南 长沙 410079; 2. 湖南大学 两型社会研究院, 湖南 长沙 410079;
3. 湖南大学 中澳经济政策研究中心, 湖南 长沙 410079)

摘 要:运用湖南省可计算一般均衡模型,设计了“资源节约型”模块和“环境友好型”模块,内嵌了湖南省两型社会指标评估体系,研究能源行业、高能耗行业和中能耗节能行业技术进步对两型社会建设的影响。研究表明:经济增长方面,作为重要的二次能源行业,电力、热力的生产和供应业节能技术进步效果突出;产业结构优化和环境友好方面,以煤炭行业为代表的能源行业和以建筑行业为代表的高能耗行业,节能技术进步贡献最大;资源节约方面,能源行业再次充当最重要角色。综合而言,整体的节能技术进步能够全面促进经济发展,优化产业结构,提高资源使用效率,改善生态环境,是建设两型社会的重要途径。

关键词:节能技术进步;湖南 CGE 模型;两型社会

DOI:10.6049/kjbydc.2011030392

中图分类号:F127.64

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2012)09-0036-07

0 引言

改革开放以来,在湖南省经济快速发展的同时暴露出较严重的能源问题。1979—2010年,GDP年均增长达到9.5%,能源消费总量(标准煤)同比增长9.31%,显示出湖南省经济增长对能源需求的高度依赖性。总体而言,湖南省是一个“缺电、少煤、无油、无气”的能源输入省份,风能、太阳能、生物质能、核能供应相对缺乏,能源需求对外依存度超过40%。其中,第二产业是湖南省主要的能源消耗部门,但单位能耗产值相对偏低。数据显示,2008年,湖南省工业能耗总量为7 978.36万吨标准煤,占全省能源消费总量的70.26%,比全省工业增加值占GDP的比重高出26.04%。而在湖南省工业的38个行业中,能耗总量主要集中在化学原料及化学制品制造业,电力、热力的生产和供应业,煤炭开采、洗选业和造纸及纸制品业等高能耗行业。2008年,高能耗行业的能耗总量达7 230.59万吨标准煤,占工业总能耗的90.63%,占全省总能耗的63.67%。

针对现状,湖南省制定了《湖南省“十一五”规划纲要》,即2010年GDP能耗比2005年下降20%的目标,

采取了对高能耗企业实行差别电价、关停部分高能耗、低产出的“五小企业”等一系列节能措施,并取得一定成效。2008年,湖南省单位GDP能耗为1.23t标准煤/万元,比2007年下降6.72%;单位规模工业增加值能耗为1.98吨标准煤/万元,比2007年下降11.8%。能源消费弹性呈现降低的趋势,由2001年的1.50降低到2007年的0.64。尽管如此,湖南省能耗系数仍高于全国平均水平,节能减排任务十分艰巨。

此外,2007年,长株潭城市群获批两型社会建设综合配套改革试验区,为湖南省的发展带来了新的机遇,同时也给节能减排提出了更高的要求。两型社会的基本内涵在于“资源节约型、环境友好型”,而资源节约和环境友好的核心在于对能源的节约。除了政策和管理外,技术进步是解决能源、环境与经济发展问题的重要手段。因此,研究技术进步在解决能源问题以及对湖南省两型社会建设的影响方面无疑具有重要而深远的现实意义。

技术进步对资源节约、环境友好起着关键作用,通过提高能源效率可以减少化石燃料燃烧所排放的污染。Interlaboratory Working Group^[1],Anderson^[2]等的

收稿日期:2011-06-24

基金项目:国家自然科学基金项目(70879039);教育部青年基金项目(10YJC790295);湖南大学两型社会研究院研究项目(LXZD200805)

作者简介:肖皓(1983—),男,江西安福人,博士,湖南大学讲师,硕士生导师,中澳经济政策研究中心副主任,研究方向为CGE模型构建与经济政策;谢锐(1981—),男,江西兴国人,博士,湖南大学讲师,两型社会研究院经济政策研究中心主任,研究方向为CGE模型构建与两型社会政策;万毅(1986—),女,辽宁丹东人,湖南大学经济与贸易学院硕士研究生,研究方向为低碳经济政策。

研究还证实了这一观点。但目前真正将技术变化特征纳入到环境经济学中并且实证研究技术变化对“资源节约、环境友好”影响的文献并不多。如 Nordhaus^[3]开发了 RICE 和 DICE 模型,改进了 R&DICE 模型^[4],纳入减少能源中碳含量的 R&D,得出研发支出对污染排放与产出的比率有降低的作用。Goulder 和 Mathai^[5]用最优控制模型讨论了干中学和研发解决如何最小化温室气体减排成本的问题。Popp^[6]在 Nordhaus 模型的基础上开发了 ENTICE 模型,将 DICE 模型引入内生技术变化中,模拟了研发对生产能源有效性的影响。上述文献无疑为研究科技进步与资源环境的关系起到了很好的参考作用,但在两型社会的框架下,仍无法准确回答资源节能型技术进步对经济、社会及生态的影响。

可计算一般均衡分析(Computable General Equilibrium)模型是把瓦尔拉斯一般均衡的构造由一个抽象的形式变为关于现实经济的实际模型。通过设置任一外生冲击,CGE 模型建立了上下游产业链条、要素出清、销售流向、政府收支等一系列联系,可以用数值模拟得出能源市场和非能源市场的变化,因此在能源政策和环境政策等领域被广泛应用。如 Jorgenson 和 Wilcoxon^[7],马纲、何建武及李善同^[8]等人利用 CGE 模型分别评估政府采取末端治理技术及征收碳税、环境税的经济影响效果。但这些文献大都是研究财税政策,并未能从资源节约、环境友好型技术进步的角度出发,探讨技术进步对两型社会的影响。

1 湖南省静态 CGE 模型及拓展

本研究使用以湖南经济为背景的湖南省可计算一般均衡静态模型(HNUGE 模型)^[9],其核心结构基于澳大利亚的 ORANI 模型^[10],其运行环境为 GEMPACK 软件。

1.1 数据结构

HNUGE 模型使用的数据库以湖南省 2002 年的投入产出表为基础而构建,包含了 122 类商品,122 类行业,两类来源的商品(国产和进口),13 类 Margin 商品,3 种投入要素(劳动力、资本、土地)和 6 个经济主体(企业、居民、政府、投资、出口、库存)。本文根据研究需要,按照湖南省统计年鉴工业分类标准将原始数据库合并为 56 类商品,56 类行业,4 类 Margin 商品。将能源部门分解为煤炭开采和洗选业,石油和天然气开采业,石油加工及炼焦业,电力、热力的生产和供应业以及煤气生产和供应业。与其相对应的能源产品分别为煤炭、原油、天然气、石油加工产品和焦炭、电力以及煤气。

1.2 模型结构

HNUGE 模型包括生产模块、需求模块、贸易模块、价格模块和闭合模块。生产模块描述在不同条件

下,生产者使用各种生产要素(劳动力、资本、土地、原材料、能源)和中间投入品的过程,各要素之间存在着不完全替代弹性关系。需求模块包括投资需求、居民消费需求、政府支出需求、库存需求四大块。其中,居民需求、政府需求、投资需求表现为对复合商品的总需求,即同类国产品与进口产品的组合。关于贸易模块,模型中进口需求采取 Amington 假设,承认同类国产品与进口品之间的差异和不完全替代。出口需求用固定价格弹性的向下倾斜曲线描述。同时,模型还采用小国假设,即用进出口产品的世界平均价格外生在设定湖南省处于价格接受者的地位。在价格模块中,模型假设商品的生产和销售活动都是零纯利润,每种商品的生产者价格唯一。在运用 CGE 模型求解时,必须“闭合”,使方程数量等于内生变量的数目。在不同的要素市场和宏观行为的经济假设下,所选择的闭合条件会产生不同的模拟结果,静态 HNUGE 模型设计了短期和长期两类闭合条件。其中,HNUGE 短期模拟的闭合条件为:实际工资外生,其通过就业水平来影响 GDP 增长;资本回报率内生变化使资本存量外生不变;在支出方面,国内总消费(包括居民实际消费和政府消费)和投资外生,最终影响 GDP 支出,主要表现在贸易余额上。长期模拟的闭合条件为:内生实际工资使总就业量外生不变,而资本回报率外生,通过影响资本存量从而影响 GDP 增长;在支出方面,将贸易平衡外生,最终 GDP 影响支出,主要表现在消费和投资上^[11]。

1.3 两型社会模块拓展

本研究拟测算节能型技术进步对湖南省两型社会建设的影响。因此,本研究参考《长株潭城市群区域规划(2008—2020)》长株潭城市群发展指标,根据研究需要从中筛选 4 个一级指标、12 个二级指标来构建两型社会指标综合评估体系。其中,二级指标由模型内生求解得出。由于研究的重点在于评估资源节约和环境友好的效果,因此,研究进一步增加了能耗评估模块和环境模块,具体构建说明见表 1。

表 1 两型社会指标综合评估体系

经济 发展	人均 GDP(万元)	资源 节约	单位 GDP 能耗(吨/万元)
	通货膨胀率(CPI)		能源品中间投入总量
	就业率		技术进步的“回报效应”
产业 结构	高能耗行业占 GDP 比重	环境 友好	单位 GDP 排放 SO ₂ 总量削减率
	第三产业占 GDP 比重		单位 GDP 排放 三废 总量削减率
	能源密集型产品进口额		环境污染治理投资占 GDP 比重(%)

1.3.1 “资源节约型”模块

资源节约型社会是指通过对资源的合理配置、高效和循环利用、有效保护和替代,使经济社会与资源环境承载能力相适应,使污染物产生量最小化并使废弃物得到无害化处理,构建人与自然和谐共处的社会。本模型通过内嵌的资源节约型评估模块测算节能型技

术进步对两型社会中节能建设的贡献情况。因此,本研究设计了两类指标:

(1)能源强度。指单位 GDP 所消耗的能源数,计算只考虑国内使用的能源数量,包括国内生产和进口用于国内使用的能源,见式(1)。其中,EEC 代表能耗强度, XE_{ij} 代表 j 行业能源产品 i 投入总量, α_i 代表能源 i 折标准煤系数, $V0GDP$ 代表价格平减后的实际 GDP。根据《湖南省统计年鉴 2002》主要能源行业消费量计算能源强度,将模型中的 56 个行业划分为高能源行业 ($EEC_j > 3$),中能源行业 ($1 < EEC_j < 3$) 和低能源行业 ($EEC_j < 1$) 三大类。通过能源强度,可以反映节能型技术进步对能源强度以及各行业单位工业产值能耗的影响。

$$EEC = \sum_{ij} [XE_{ij}(j) * \alpha_i] / V0GDP \quad (1)$$

(2)能源总需求。将各种能源通过折标准煤系数折算为标准煤加总,反映能耗投入使用情况,见公式(2)。

$$Aggeng = \sum_{id} \alpha_i * Qeng_i(d) \quad (2)$$

其中, d 代表产品的各类需求主体,分别为中间投入、投资、消费、政府支出、出口、库存; i 代表 5 类能源产品,即煤炭、原油、天然气、石油加工产品和焦炭、电力以及煤气; $Qeng_i(j)$ 代表 i 类能源产品投入到 d 主体的需求量。模拟结果将采取百分比变化率,该式反映节能型技术进步对各主体能源需求及总 GDP 所需能源的影响。

1.3.2 “环境友好型”模块

环境友好型社会追求的是一种经济发展与自然生态环境协调发展的社会形态。主要包括无污染或低污染的生产工艺和产品,有利于人体健康和环境保护的各种开发建设活动以及少污染与低能耗的产业结构等。本模型参考赖明勇等^[12]采用“应用扩展型”的处理方式,结合湖南省主要污染物类型,设计了环境友好型评估指标,即三废(工业废水、废气和固体废物)排放量和 SO_2 排放量,见公式(3)。

$$TPU(p) = \sum_j \beta_j * X_j \quad (3)$$

其中, j 代表不同行业, p 代表污染物类型,即三废和 SO_2 , β_j 代表固定污染排放系数, X_j 代表工业总产出水平, $TPU(p)$ 代表 p 类污染物的总排放量。

2 湖南省节能型技术进步模拟场景设计

从广义来讲,技术进步是指技术所涵盖的各种形式知识的积累与改进。狭义上来讲,主要是指生产工艺、中间投入品以及制造技能等方面的革新和改进。其中,节能型技术进步是指在生产、流通、消费等领域,通过生产工艺、中间投入品及制造技能等方面技术的革新和改进,提高资源利用效率,以最少的资源消耗获得最大的经济和社会收益,保障经济社会的可持续发展。主要包括资源的技术节约,替代能源的采用,以及资源的循环利用。本研究从狭义的角度出发,重点研究生产节约型的节能技术进步。

湖南省“十一五”规划纲要提出,2010 年 GDP 能耗

比 2005 年下降 20% 的目标。《湖南省“十一五”循环经济发展规划》将钢铁、有色、电力、石油加工、化工、建材等 6 大高耗能行业列为重点实施节能行业。《湖南省产业政策汇编(2006—2009)》提出,到 2010 年,吨钢综合能耗为 680kg 标准煤,火电供电耗标准煤为 345g 标准煤/ $kw \cdot h$,原煤生产电力消耗为 120 $kw \cdot h/t$,加工原油综合能耗为 100kg 标准煤/ t ,单位能量因素能耗为 20kg 标准煤/ t ,卷烟耗标准煤为 17kg 标准煤/箱,水泥综合能耗为 135kg 标准煤/ t 。《湖南居住建筑节能设计标准》和《公共建筑节能设计标准》提出,建筑物要达到节能 50% 的要求,长沙市率先实施节能 65% 的标准试点。何建坤、张希良^[13]通过量化的系统分析,要提出实现“十一五”目标,1/3 依靠产业结构调整 and 轻重工业结构调整,1/3 依靠提高能源转换和利用效率,1/3 依靠产业技术升级和产品增加值率的提高。若湖南省 GDP 按照年均增长 12.0% 的速度测算,则单位 GDP 能耗年均下降 4.52%,那么依靠技术进步使能耗强度年均降低为 1.5% 左右。

根据上述政策法规,论文按照能源结构特征选取了 3 种不同类型的行业,再按照行业特征进一步细分为 5 种具体行业进行研究。模拟冲击方面,主要参考了湖南省历年节能技术进步变化、“十一五”纲要规划目标以及《湖南省产业政策汇编(2006—2009)》的各行业能耗目标。具体而言,能源行业中,论文选取了湖南省主要的一次能源行业(煤炭开采和洗选业)和主要的二次能源行业(电力、热力的生产和供应业)进行模拟,冲击值分别为 2.15%、2.30%;高能耗行业中,选取了以投资销售为主的建筑业,以及高污染排放特征的化学原料及化学制品制造业,冲击值分别为 2.89%、1.77%;中能耗行业中,选取了劳动力密集型的纺织业,冲击值为 3.54%。最后,为测算综合节能型技术进步的效果,论文假设对上述 5 个行业同时进行冲击,见表 2。

表 2 技术进步的模拟场景

	模拟场景	能耗强度	行业特征	冲击值
FC ₁	电力、热力的生产和供应业	能源产业	主要的二次能源	2.15%
FC ₂	煤炭开采和洗选业	能源产业	主要的一次能源	2.30%
FC ₃	建筑业	高能耗	主要用于投资	2.89%
FC ₄	化学原料及化学制品制造业	高能耗	污染型工业	1.77%
FC ₅	纺织业	中能耗	劳动力密集型	3.54%
FC ₆	综合节能型技术进步	—	—	同时冲击

3 节能型技术进步对两型社会建设的影响

3.1 节能型技术进步作用机制

总体而言,节能型技术进步通过宏观环境和产业链传导机制来实现资源节约和环境友好的目标。在短期内,3 类行业节能型技术进步导致能源投入产品减少,能源需求萎缩,从而使能源产品价格降低。而下游行业生产成本也因此降低,各主体需求的扩大,使产

能大幅度增加。但不同产业节能技术进步的模拟结果并不一致,主要由产业特性所决定。二次能源行业往往位于产业链上游,该行业技术进步不仅有利于本行业获得更多利润,还牵动了下游行业的产能扩张,如炼钢业、交通设备制造业等;高能耗行业是自投入较高的行业,该行业的节能型技术进步会引发需求结构的调整,从而减弱能源品对该行业以及下游行业的束缚;中能耗行业则多为劳动密集型行业以及服务业,往往处于产业链末端,这些行业的技术进步能促使自身产能扩展,进而缓解社会的就业压力。同时,由于模型的闭合设置,这些影响结果在长短期并不相同。短期的支出法方面主要受进出口影响,收入方面主要受劳动力(L)的影响;而长期的支出法方面主要受家庭消费和投资的影响,收入方面受资本(K)的影响。

节能减排方面,由于模型中的能源系数或排污系数是外生给定,能源排放总量和排污量主要受产业结构的调整影响,因此,本文以能源强度和污染强度来近似反映结构调整对资源节约型和环境友好型社会建设的影响,见图1。

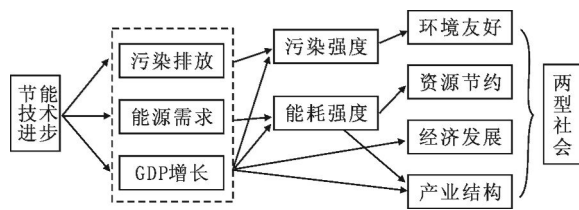


图1 节能技术进步对两型社会建设的作用路径

需要注意的是,综合的节能型技术进步,各个变量的变化幅度扩大,但由于它们处于产业链的不同环节而有一定的抵消效应,综合模拟结果并不等于各模拟冲击变量变化之和,这也隐含了一般均衡的调整规律。

3.2 节能型技术进步效应

3.2.1 节能型技术进步对经济发展的影响

节能型技术进步,能提高生产要素的产出效率,是实现经济持续增长的主要途径。短期结果显示,在假定国内总消费和投资不变的情况下,电力、热力的生产和供应业的技术进步(FC₁)引起GDP的增加幅度最大,为0.08%;其次是模拟场景FC₄,GDP增加0.04%;由于纺织业(FC₅)处于产业链末端,对能源需求相对其它行业较小,属于中能耗行业,GDP的拉动作用最小,

增长率仅为0.004%。从长期来看,由于国内消费增加和资本刺激,技术进步对宏观经济的影响比短期更为显著。表现最为突出的是建筑业(FC₃)节能型技术进步,GDP的长期增长率比短期高出0.24%。这主要是由于建筑业是作为投资品来投入,长期对经济增长的拉动作用明显。化学原料及化学制品制造业属于出口型行业,国内生产的产品出口份额占总出口额的8%左右,其技术进步带动该行业及其下游行业的出口增加,从而拉动了GDP增长。

价格指标方面,投资品价格指数、消费者价格指数(CPI)和出口价格指数都呈现不同程度的下降,长期下降幅度大于短期。从长期来看,伴随着投资品价格指数和消费者价格指数(CPI)的下降,实际投资和实际消费增加,而且投资增长快于消费增长,投资品及相关行业将明显收益。由于在湖南省投资完成额中有80%左右属于建筑业,因此建筑业收益最大,从而也推动了重工业等资本密集型行业的增长。模拟场景FC₃结果显示,投资和消费分别增加了0.22%和0.36%。

就业水平依赖名义工资相对于生产要素的平均价格。短期模拟结果表明,在大部分行业的节能技术进步后,名义劳动力的价格下降,生产要素的价格略微上升,因此劳动力相对于资本更便宜。由于短期资本存量外生,因此就业量上升,FC₆(0.14%)>FC₁(0.11%)>FC₄(0.05%)>FC₅(0.002%)。具体而言,模拟场景(FC₁)结果显示,就业量增加排在前4位的行业分别为电力、热力的生产和供应业(0.54)、黑色金属冶炼及压延加工业(0.38)、化学纤维制造业(0.36)和非金属矿物制品业(0.32)。主要是由于这4类行业均处于电力产业链的上游,即产能的扩张导致就业需求的上升。对于煤炭开采和洗选业(FC₂)技术进步,电力作为中间投入品,占该行业中间投入总量的18%,从而导致电力需求大幅度下降,即表现为电力部门就业率下降,最终抵消了其它行业就业量的增加,因此,就业略微下降(-0.0008%)。整体而言,节能技术进步仍在一定程度上缓解了社会就业压力。

总的来说,综合节能技术进步使产业链各个环节的能源需求均呈现一定程度的降低,进而推动了产能增加。从长期来看,国内消费的增加和资本存量的变化带动了GDP增长,有效地抑制了通货膨胀。同时,产能的增加也扩大了社会就业,见表3。

表3 各模拟场景对经济发展影响效果的比较

模拟场景		FC ₁	FC ₂	FC ₃	FC ₄	FC ₅	FC ₆
经济 发展	人均GDP(万元)	★★★★	★★	★★★	★★★	★	★★★★★
	通货膨胀率(CPI)	★★★★	★★	★★★★★	★	★★	★★★★★
	就业率	★★★★	★	★	★★★	★★	★★★★★

注:★的个数越多则对应的指标效果越好

3.2.2 节能型技术进步对产业结构的影响

(1)能源行业产能下降,节能效果显著。能源代表行业有煤炭开采和洗选业,电力、热力的生产和供应业等。这些行业的生产过程均需要大量其它能源产品作

为中间投入。因此,电力、热力的生产和供应业节能型技术进步(FC₁),尽管由于能源投入成本降低而产出增加,但煤炭产品作为中间投入需求下降0.06%,最终导致煤炭产出短期下降0.02%,长期进一步下降至

0.09%。同样,模拟场景 FC₂ 显示,尽管煤炭开采和洗选业节能型技术进步使自身行业产能明显增加,但电力和热力产能下降了 0.05%和 0.005%。FC₃ 和 FC₄ 的模拟结果显示,能源行业产能和能耗均下降,这是因为高能耗行业技术进步后,处于产业链上游的能源行业因能源需求降低而受损,而且各高能耗行业的能源消费结构不同也导致了对各能源行业的影响程度不同。建筑业的技术进步主要带动了钢铁、水泥等建筑材料等行业能耗的降低,而这些行业使用的主要能源品为电力和石油,分别占其中间投入品的 13.9%和 5.3%,从而导致了电力和石油加工行业产能下降的幅度最大。

(2)高能源行业产出增加,但高能耗行业产值占工业产值比重有所下降。模型通过 fandecom 来分析高能耗行业的产出变化,见表 4。Fandecom 将产业产出分解为 3 类效应,国内市场增长效应指国内市场需求的变化对产出的影响,国产品替代效应指由于价格变化引起的国产与进口的替代效应,出口效应指出口需求变化对产出的影响。高能耗行业的扩张主要来源于国内市场的增长效应。一方面,节能型技术进步带动了国内市场需求扩大;另一方面,高能耗行业是自投入比重很高的行业,而且其下游部门的产出扩大也会拉动高能耗行业国内市场需求扩大。由于技术进步,高能耗行业对能源需求减少,产出价格下降,出口需求增加。同时,国产品价格与进口品价格的变化会引起替代效应,若国产品价格下降,而进口品价格没发生变化,会使消费者更倾向于购买国产品。综合 3 种效应,高能耗行业受国内市场需求、替代效应和出口需求的影响都为正,促进了产出增长。如电力、热力的生产和供应业技术进步(FC₁),黑色金属冶炼及压延加工

业增长最快,为 0.36%。这主要是因为该行业除自投入外,电力、热力行业投入最高,占 13.86%,电力、热力产品价格降低刺激该行业的生产迅速增加。值得一提的是,虽然高能耗工业产出增加,经计算,高能耗工业产值占 GDP 的比重却有所下降,短期内模拟场景 FC₁ 下降 0.04%,FC₃ 和 FC₂ 也分别下降 0.08%和 0.03%。另外,长期模拟中,能源密集型产品进口增加,挤出了同类产品的产出,从而减少了本省能源资源的投入,如钢铁,化工原料等。可见,节能型技术进步能够促进产业结构的优化。

表 4 模拟场景 FC₁ 高能耗行业的产出变化分析

高能耗行业	(相对基期的百分比变动率)			
	国内市场 增长效应	国产品 替代效应	出口 效应	产出 水平
化学原料及化学制品制造业	0.16	0.02	0.05	0.22
非金属矿物制品业	0.20	0.02	0.05	0.27
黑色金属冶炼及压延加工业	0.26	0.08	0.02	0.36
普通机械制造业	0.30	0.02	0.01	0.33

数据来源:模型模拟结果

(3)中能耗行业及服务业产出略有增长。代表行业有纺织业、皮革毛皮羽绒及其制品业、交通运输及仓储业等。以模拟场景 FC₄ 为例(见表 5),上游行业化学原料及化学制品制造业技术进步,导致了投入成本降低,从而使纺织业和交通运输及仓储业长期内的产能分别增加 0.06%和 0.10%。纺织业属于出口型行业,随着国际竞争力增加,出口需求增加了 0.000 3%。由于技术进步和经济增长带动了消费、投资和出口需求的增长,相应也拉动了对运输和仓储的需求(0.10%)。政府支出主要用于消费其它服务业,政府支出增加(0.09%),直接带动了居民服务和其它服务业的产出增加(0.12%)。

表 5 FC₄ 从各个主体需求的变化来分析部分行业产出的变化

需求	(相对基期的百分比变动率)						
	中间投入	投资	居民消费	出口	政府消费	其它	产出
煤炭开采和洗选业	-0.08	0	0.02	0.000 0	0	0	-0.06
纺织业	0.04	0	0.01	0.000 3	0	0	0.06
石油加工及炼焦业	-0.02	0	0.00	0.000 1	0	0	-0.02
化学原料及化学制品制造业	0.24	0	0.01	0.248 4	0	0	0.50
电力、热力的生产和供应业	-0.05	0	0.01	0	0	0	-0.03
建筑业	0.01	0.14	0	0	0	0	0.15
其它制造业	0.05	0	0.02	0.115 3	0	0	0.18
交通运输及仓储业	0.03	0.00	0.00	-0.001	0	0.06	0.10
居民服务和其它服务业	0.01	0.01	0.00	0	0.09	0	0.12

数据来源:模型模拟结果

总之,节能型技术进步是影响产业结构发展变化的关键性因素。具体而言,节能型技术进步使能源需求降低,抑制了能源行业的产能增加;高能耗行业的产能由于投入成本降低而大幅上升,但占 GDP 的比重有所下降,有利于产业结构优化;技术进步对中能耗行业和服务业也产生了一定的积极作用,综合评估见表 6。

3.2.3 节能型技术进步对资源节约的影响

节能型技术进步短期内达到了降低能耗水平、提

高资源利用效率的目标,而且长期比短期效果更为显著。从宏观角度分析,能源强度降低,能源产品作为中间投入品需求减少。短期内,各模拟场景能源强度降低的幅度由大到小排列依次为 FC₆(-0.95%)>FC₁(-0.37%)>FC₃(-0.23%)>FC₄(-0.22%)>FC₂(-0.09%)>FC₅(-0.22%)。电力、热力的生产和供应业(FC₁)技术进步,所有能源产品投入减少 0.29%。其中,作为该行业最主要能源产品之一的煤炭需求量

降低 0.49%,但实际 GDP 上升 0.08%,因此,能源强度下降 0.37% ($\approx 0.29\% + 0.08\%$)。从产业角度来分析,综合节能型技术进步(FC₆)使 56 个行业的能源消费量呈现不同程度的下降,位于前 4 位的行业分别为电力、热力的生产和供应业(-2.94%),石油加工及炼焦业(-2.28%),信息传输、计算机服务和软件业

(-2.09%)及煤炭开采和洗选业(-2.06%),主要集中在劳动密集型行业。而建筑业技术进步(FC₃)除了使能源行业能耗降低外,还带动了部分服务业的能耗降低,如交通运输及仓储业(-0.02%)。这主要是由于建筑业属于政府投资型行业,其下游行业主要为服务业,如批发和零售贸易业、金融保险业、教育事业等。

表 6 各模拟场景对产业结构影响效果的比较

模拟场景		FC ₁	FC ₂	FC ₃	FC ₄	FC ₅	FC ₆
产业 结构	高能耗行业占 GDP 比重	★★★★★	★★★	★★★★	★	★★	★
	第三产业占 GDP 比重	★★★★	★★	★★★	★★	★	★★★★★
	能源密集型产品进口额	★★★★	★★	★★★★	★★★	★	★★★★★

注:★的个数越多则对应的指标效果越好

这里值得注意的是,技术进步一方面提高了能源的使用效率而节约了能源;另一方面,也拉动了 GDP 的增长,从而增加了对能源的需求,也就是所谓的“回报效应”(Rebound Effect)。那么,究竟这种“回报效应”会不会抵消技术进步的正效应呢? Greening 和 Binswanger^[14]、Berkhout^[15]、Birol 和 Keppler 等^[16]学者通过大量的实证分析证明,技术进步会产生“回报效应”。本研究根据湖南省统计年鉴工业数据得出,湖南省 2007 年工业行业的平均能源强度为 0.84。根据模拟结果中给出的 6 大能耗行业技术进步所带动的 GDP

变化值计算可知,该 GDP 增加值所引起的能源消耗的增加值均小于由于技术进步而产生的能源节约值。因此,技术进步虽然存在能源消费的“回报效应”,但因这种效应作用较弱并有减弱的趋势,可以通过增加能源税或规范等源价格等措施来抑制这种效应,所以说技术进步仍为湖南省提高能源效率和节约能源的有效手段。

总的来看,节能型技术进步是降低能源强度的重要手段,3 类行业的效果由强到弱依次为:高能耗行业 > 能源行业 > 中能耗行业。虽然技术进步存在“回报效应”,但这种效应并不显著,见表 7。

表 7 各模拟场景对资源节约的影响效果比较

模拟场景		FC ₁	FC ₂	FC ₃	FC ₄	FC ₅	FC ₆
资源 节约	单位 GDP 能耗	★★★★	★★	★★★	★★★	★	★★★★★
	能源品中间投入总量	★★★	★★	★★★★	★★	★	★★★★★
	回报效应	---	---	---	---	---	---

注:★的个数越多则对应的指标效果越好;---表示对应的指标效应可以忽略

3.2.4 节能型技术进步对环境友好的影响

模拟结果显示,4 类污染物排放量在 6 个模拟场景中均有不同程度的减少,6 个模拟场景同时进行技术变量冲击时,节能效果最显著。建筑业的节能技术进步(FC₃)对 4 类污染物减排贡献突出,单位 GDP 的 SO₂、废气、废水和固体废弃物排放量分别降低 0.05%、0.06%、0.04% 和 0.09%。伴随着城市化进程的加快,居民楼、写字楼和商厦的建造使用,消耗了巨大能源,建筑业节能技术进步带动上游行业(如水泥、钢铁等建材行业)的能源需求下降,污染物排放减少,从而实现了节能减排的目标。可见,建筑业是湖南省实现节能减排的关键。其次是化学原料及化学制品制造业的节能型技术进步(FC₄),有力地减少了 SO₂、废气和固体废弃物的排放量,尤其是单位 GDP 固体废弃物的排放量下降幅度最大,为 0.06%。这主要是由于该行业的技术进步导致了能源行业产能的降低,排在前 3 位的

能源投入品:电力、煤炭和石油分别下降了 0.09%、0.01% 和 0.09%。这 3 个能源行业固体废弃物固定污染系数相对于其它 3 类来说最大,所以,对固体废弃物的减排效果最为明显。能源行业节能型技术进步的减排效果不如高能耗行业,电力、热力生产和供应业的中间投入产品主要是煤炭,占 30%。而煤炭开采和洗选业的中间投入品主要是电力和热力,这两类产品的固定水污染系数较高,所以对废水减排贡献较大。

总体而言,综合节能技术进步是实现节能减排的最佳手段。而不同类型的行业技术进步又会因主要污染物排放密度的不同而产生不同效果,见表 8。

4 结语

本研究将能耗评估模块和环境模块纳入 HNUGE 模型,模拟分析了节能技术进步在两型社会框架下对湖

表 8 各模拟场景对环境友好影响效果的比较

模拟场景		FC ₁	FC ₂	FC ₃	FC ₄	FC ₅	FC ₆
环境 友好	单位 GDP 排放 SO ₂ 总量削减率	★★	★★	★★★★	★★★★	★	★★★★★
	单位 GDP 排放废气总量削减率	★	★★	★★★★	★★★	★★	★★★★★
	单位 GDP 排放废水总量削减率	★★★	★★★★	★★★★	★	★★	★★★★★
	单位 GDP 排放固体废弃物量	★	★★	★★★★	★★★	★★	★★★★★

注:★的个数越多则对应的指标效果越好

南宏观经济、产业结构以及生态环境的影响。整体而言,节能型技术进步能促进经济发展,优化产业结构,提高资源使用效率,改善生态环境,能强有力地推动“两型社会”的建设。主要结论如下:

(1)综合节能型技术进步(FC_6)能带动实际GDP增长,抑制通货膨胀,促进社会就业和投资形成。具体而言,作为重要的二次能源行业,电力、热力的生产和供应业的节能型技术进步对拉动经济增长和稳定物价效果最为明显。相比而言,高能耗行业的技术进步也有力地带动了经济增长,但对CPI和能源行业的就业有一定的负效应,而位于产业链下游的纺织业技术进步(FC_5)对经济发展作用有限。因此,从经济效应角度出发,应首先提高电力部门的投入产出效率。

(2)综合节能型技术进步使各行业能源消耗降低,能源行业的产能压缩,有利于产业结构优化。相比而言,能源行业和高能耗行业的技术进步使下游行业产能因投入成本下降而大幅度上升,但高能耗工业产值占GDP的比重却有所下降,中能耗行业及服务业产出也略有增长,产业结构得到有效调整。因此,从产业结构的角度出发,应将能源和高能耗行业的技术进步放在首位。

(3)综合节能型技术进步(FC_6)能提高资源利用率,降低单位产值能耗,而且长期比短期效果更为显著。具体而言,高能耗行业和二次能源行业电力、热力的生产和供应业技术进步对能耗强度的降低贡献最大;一次能源行业的煤炭开采和洗选业技术进步对资源节约也发挥了积极作用,但效果较弱;而中能耗行业效果不明显。经测算,3类行业的节能型技术进步的“回报效应”较弱并有减弱的趋势,可以通过增加能源税或规范能源价格来抑制这种效应。因此,从节约资源的角度出发,应率先提高能源行业的资源利用效率。

(4)综合节能型技术进步(FC_6)能降低污染强度,对污染物减排的短期效应比长期更加显著。具体而言,在 SO_2 、废气和固体废弃物减排方面,建筑业(FC_3)和化学原料及化学制品制造业(FC_4)的节能型技术进步效果突出;而在废水减排方面,能源行业(FC_1 和 FC_2)和建筑业(FC_3)的技术进步贡献较大。

参考文献:

- [1] LAWRENCE BERKEIEY. Interlaboratory working group on energy-efficient and low-carbon technologies. potential impacts of energy-efficient and low-carbon technologies by 2010 and beyond[R]. Pacific Northwest, 1997:1-28.
- [2] ANDERSON D. Technical progress and pollution abatement[R]. Imperial College of Science, Technology and Medicine Workpaper, 1999.
- [3] NORDHAUS W D. To slow or not to slow? the economics of the greenhouse effect[J]. The Economic Journal, 1991(101): 920-937.
- [4] NORDHAUS W D. Modelling induced innovation in climate change policy [C]// GRUBLER A, NAKICENOVIC N, NORDHAUS W D, et al. Technological Change and the Environment. Resource for the Future, 2002(101): 182-209.
- [5] GOULDER L H, MATHAI K. Optimal CO_2 abatement in the presence of induced technological change[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2000(39):1-38.
- [6] POPP E. ENTICE-endogenous technological change in the DICE model of global warming[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2004(48):742-768.
- [7] JORGENSON DALE W, WILCOXEN PETER J. Intertemporal general equilibrium modeling of U S environmental regulation[J]. Journal of Policy Modeling, 1990, 12(4): 715-744.
- [8] 何建武, 李善同. 节能减排的环境税收政策影响分析[J]. 数学经济技术经济研究, 2009(1):31-43.
- [9] 肖皓, 赖明勇, 祝树全. 湖南省CGE模型[R]. 湖南大学经济与贸易学院工作论文, 2008.
- [10] Dixon P B, B R Parmenter, J Sutton, et al. ORANI: a multisectoral model of the Australian economy[J]. North-Holland, 1982:50.
- [11] 赖明勇, 祝树全. 区域贸易自由化:可计算一般均衡模型及应用[M]. 北京:经济科学出版社, 2008:80.
- [12] 赖明勇, 肖皓, 陈雯, 等. 不同环节燃油税征收的动态一般均衡分析与政策选择[J]. 世界经济, 2008(11):65-75.
- [13] 何建坤, 张希良. 我国“十一五”期间能源强度下降趋势分析[J]. 中国软科学, 2006(4):33-38.
- [14] GREENING LA, GREENE D L, DIFIGLIO C. Energy efficiency and consumption-the rebound effect-a survey[J]. Energy Policy, 2000(28):389-401.
- [15] BINSWANGER M. Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? [J]. Ecological Economics, 2001(36):19-132.
- [16] BERKHOUT P H G, MUSKENS J C, VELTHUIJSEN J W. Defining the rebound effect[J]. Energy Policy, 2000, (28):425-432.

(责任编辑:王敬敏)

[1] LAWRENCE BERKEIEY. Interlaboratory working group on energy-efficient and low-carbon technologies. potential