

# 能源技术创新对经济、能源及环境的影响

林师模<sup>1</sup> 苏汉邦<sup>1</sup> 林幸桦<sup>2</sup>

(1. 中原大学 国贸系, 台湾中坜 32023; 2. 清云科技大学 财金系, 台湾桃园县 32000)

**摘要:** 能源与经济紧密相连, 而能源与环境更是紧紧相扣。经济的发展高度依赖能源所提供的动力, 但是能源的过度使用却也反过来透过对环境产生负面冲击的方式, 抑制了经济的成长。基于此, 藉由促进能源技术的创新与应用, 或许是达成经济持续增长与环境质量提升双赢局面的终南途径之一; 而在分析经济、能源及环境的互动过程时, 有没有及如何将能源技术创新及内生学习效果纳入考虑, 也将是能否更精确衡量冲击或政策效果的关键影响因素 (Goulder和Mathai, 2000; Kemfert, 2005)。透过类似Kypreos (2005) 在MERGE模型中处理能源技术创新与学习效果的方式, 将台湾动态一般均衡模型中电力技术之学习效果藉由部门技术变量内生变动的处理方式, 重新检视相关政策对总体经济、能源及环境等方面之影响。结果显示, 技术创新与学习所带来的“扩张产能”、与“降低成本”效应, 一方面会给经济带来正面的影响, 另一方面也降低了污染排放的轨迹。而模拟分析结果也呼应Goulder和Mathai (2000)、Kemfert (2005) 及Kypreos (2005) 等之结论, 再次突显能源环境评估中纳入能源技术创新考虑的重要性。

**关键词:** 技术创新; 学习曲线; 可计算一般均衡模型

中图分类号: X24

文献标识码: A

文章编号: 1009-0312 (2006) 04-0067-07

## 0 前言

能源与经济紧密相连, 而能源与环境更是紧紧相扣。经济的发展高度依赖能源所提供的动力, 但是能源的过度使用却也反过来透过对环境产生负面冲击的方式, 抑制了经济的成长。以2005年初生效之“京都议定书”为例, 即是鉴于化石能源的过度使用已造成地球温室效应的快速恶化, 因此希望透过约束各签约国之温室气体排放量, 来减缓温室效应对地球所可能产生的负面冲击; 而各国为达成减少温室气体排放的种种作为, 已无可避免的对经济发展产生了程度不一的抑制作用。

因减少污染排放所导致的经济成长损失是减量成本的一种重要衡量方式。近年国际间在估算温室气体排放基线及评估达到特定减量目标所衍生的减量成本时, 有两个主轴引起了广大的关注, 其一为最适减量模式的拟定与选择, 另一则为“能源—经济—环境” (Energy, Economy, Environment, 3E) 三位一体评估模型之建构。由于各国经济、环境与社会条件有显著差异, 不同减量模式之经济与环境冲击效果不一, 因此积极针对各项减量模式进行评估, 寻求减量成本最低与最符合国家永续发展的减量模式, 并进而作为未来国际谈判之依据, 已成为各国间的高度共识。

然而, 如何建立并选择一合乎经济现况的3E评估模型, 可以具体反映经济体系中能源、环境及经济的复杂互动关系, 以精确地评估各种模式所可能带来的成本呢? 近期IPCC各项报告、各国国家报告 (national report) 及相关的学术文献显示, 可计算一般均衡 (CGE) 模型是最常被应用于经济状况及污染排放基线推估与减量政策评估之工具<sup>①</sup>。而除了上述模型以外, 能源技术创新的效果也已逐渐受到重视。例如, Goulder 和 Mathai (2000) 在评估最适碳税的研究中即指出, 当考虑技术之学习效果时, 将可以降低温室气体减量的边际成本; 而Kemfert (2005) 以一多区域多部门的整合评估模型 (integrated assessment model) 进行减量成本的评估研究时也发现, 增加之R&D投资支出如果可以有效提升能源效率, 将可以实质上降低减量的成本。

收稿日期: 2006-06-27

基金项目: 由国科会/能源科技基金提供部分之研究经费。

作者简介: 林师模(1956-), 男, 台湾人, 教授, 主要从事矿业、能源及环境经济、计量经济、产业经济分析、经济模型研究。

①IPCC各国家报告显示, 多数国家会采用至少一个模型于温室气体减量的评估, 有些国家则会采用两个以上的模型, 其中一个为经济模型, 另一则为能源技术模型。

基于以上分析,如果评估模型中未能考虑能源技术创新的效果时,将导致CO<sub>2</sub>排放的预测有高估的情况,且在减量政策评估时,也可能造成总体经济影响、最适碳税水平及减量成本被高估的结果。有鉴于此,本文尝试运用一台湾之动态可计算一般均衡模型,参考Kypreos (2005)在MERGE模型中针对技术学习曲线(learning curve)效果之设计,将能源技术之学习效果以其所对应之部门技术参数内生变动的方式引入模型之中,架构出一符合台湾经济现况之3E总体模型,重新审视在考虑技术之学习效果下,台湾CO<sub>2</sub>排放的基线预测,并在此基准下,依据2005年能源会议讨论之“京都减量模式”<sup>①</sup>,新估计最适碳税水平与总体经济减量成本,再与未考虑技术学习效果下所得之结论相互比较。

## 1 技术创新与环境政策评估

技术变动(technological change)的结果可以使得在不增加生产投入的情况下让产出水平提升,因此透过能源技术创新,除可降低替代能源的使用成本,亦可改善化石能源的转换成本,从而减少执行温室气体减量政策所付出之代价。技术变动与环境政策间的关联性在过去十年间已逐渐受到重视,部分的原因是大家发现经济行为对环境的冲击程度明显地会受到技术变动的影响,另一部分原因则是因为环境政策本身的干预即是影响技术变动的条件与诱因。

技术变动开始时常常是由公部门或私部门的研发(R&D)投资产生发明与创新,而当厂商对新技术的经验越充足,将可以大幅改善调整时间,而这也是学习效果的一种形式。至于学习则可能来自R&D阶段的学习、制程阶段的学习(learning-by-doing, LBD)、使用新产品的学习(learning-by-using; Rosenberg, 1982)。

由于环境政策会直接或间接地影响投入要素的价格(通常变贵),诱发性创新因此提供了一个良好的媒介,可用于串连环境政策与技术创新间的互动;也因此,引入技术变动便成为衡量环境政策工具效果的典型做法。在近期的相关研究中, Goulder和Mathai (2000)曾透过模型动态设定以找寻最适的CO<sub>2</sub>减量水平。在他们的研究中是将R&D诱发创新纳入以进一步观察到边做边学所产生降低减量成本的效果。由于诱发性创新降低了边际减量成本,另一方面也增加了最适的减量水平。至于Kemfert (2005)则是以一多区域多部门的整合评估模型,分析诱发性的技术进步对气候变迁相关政策经济冲击的影响。该文指出,尽管增加R&D的支出会排挤其它的投资支出,但由模型仿真结果发现,由于增加R&D的投资是可以提升能源效率,实质上的效益将会是降低减量的成本。因此,若科技研发的投资没有诱发技术进步,则减量目标势必要透过产量的大幅减少方能达成,如此将对整体经济的福利产生负面冲击。亦即,排放减量政策若搭配技术进步,方有可能减少对整体经济福利的冲击。

有别于Kemfert (2005), Jaccard等人(2004)认为,传统的“由上而下”模型因为无法描绘技术的细节,导致所估计的减量成本往往会有偏误的情况,因此其使用一能源规划模型,纳入工程技术的设定,并以实证方式估计相关之风险与技术偏好参数。而在模拟分析方面,基于运输部门在温室气体减量上扮演重要的角色,该文则模拟证实了透过内生技术变动影响运输产业的长期平均成本,将可达到温室气体减量的要求。除了上述之外, Löschel (2002)曾汇整回顾了国际间用于探讨环境政策议题的重要经济模型。他指出,事实上,在经济模型研究中多已确定中期或长期下,模型中技术的成本假设对温室气体减量成本与效益的估计是相当敏感的。一般而言,大部分的温室气体评估模型多将技术变动视为外生,然而实证上技术变动是不宜视为外生的,因其会因产业需要或是外在压力而诱发进步。而为改善此一不合理的假设,一些“由上而下”的3E模型已将技术变动视为内生,同时设定成会与许多社经变量产生关联。

## 2 模型之理论及实务架构

文章的相关分析主要以一台湾之动态CGE (dynamic computable general equilibrium) 模型为主,其模型架构主要是透过一系列非线性的行为函数,以描述总体经济及产业经济间的连锁互动

<sup>①</sup>有关京都减量模式之意涵,将于本文之“模拟设计”中说明。

关系。以下简要针对模型基本架构、模型特色及技术学习曲线效果的处理等部份加以说明。

在一个CGE模型的基本架构中，生产者购买包括商品(中间需求)及原始要素(劳动、土地、资本等)来进行生产，而投资者、家计单位、政府及国外购买者等最终需求者则仅购买商品，并无原始要素的购置。惟不论中间或最终需要，其所购买之商品均可分为国产品及进口品。至于在决策行为模式的设定上，文章模型与著名的澳洲ORANI模型相似<sup>①</sup>，系利用投入—产出之弱可分割假设(weak separability assumption)，将生产者、投资者及消费者之决策行为以巢式(nested)的结构加以设定处理。

本文模型之设定主要系参考TAIGEM-III动态可计算一般均衡模型之设定<sup>②</sup>，并经过适度之部门简化，以及将部分与本文无关之政策机制与方程式调整、重新设计，以符合本文模拟设计之需。其中，在能源相关的设定方面，我们关心的是能源在经济体系中的使用状况与能源如何在经济体系中做最有效的配置，而对台湾这种对能源有高度进口依赖的地区而言，这点更是重要。模型中，我们建置的主要的机制在于电力部门技术配套之CRESH函数设计与部门使用能源间替代机制之CES函数设计(黄宗煌等人，1999；Li et al., 2003)，而这样的设计基本上已某种程度结合了“由下而上”与“由上而下”的模型特性，相对于传统的“由上而下”模型，已足以更细致刻划能源与电力部门间之互动与关联。

依据发电技术之现况与种类可知，电力供给主要是由煤、石油燃料瓦斯、核能、水力发电或是可再生能源等技术所生产。在可行的技术限制下，我们假设电力产业可以根据不同发电技术间的相对成本来决定彼此的替代程度。同时，为避免模型求解出现不符合现况或技术上不可行的投入组合，实务上在设定发电技术的选择行为时，必须限制某些技术“完全”被其它技术所取代，而此即为与工程规划模型中类似之“由下而上”的设定。前述之CRESH函数，在其标准限制条件下，提供类似于“由下而上”模型之限制条件：即 $x_{>} > 0$ ，使得所有被选择之技术完全不会产生有一个或多个技术发电水平等于零之均衡解出现。

除了上述以外，本文在能源投入间替代关系的设定方面，系以较电力技术配套略为简单的方式处理。基本上，除了电力部门以外，我们将各部门中间投入中所使用的能源产品之间的关系，以CES函数来呈现。也就是说，我们将前述技术配套所组成之电力，以及其它能源投入(煤、油、气)之间的关系以CES函数来描述，共同组成复合能源投入后，再导入模型与其它中间投入以Leontief函数架构各产业之生产投入选择行为。

至于在模型各项参数值的设定上，我们作了一些重新的检讨。此外，在发电技术的种类方面，也设定了纳入其它非传统发电技术的空间，可以因应议题需要纳入其它如再生能源发电之技术，以更广泛的探讨能源政策的相关议题。

在其它相关设定方面，基于本文模型为一动态CGE模型，其假设任一产业从事生产时，除需要投入原材物料外，也需要有生产要素的投入，其中也包含对资金的需求。各产业的投资需求是为企业从事生产行为所衍生出之资本需求的一部分，而此项投资也同时是各产业资本累积的来源。本文即是从产业资本累积的观点，以逐年递归动态(annual recursive dynamic)的方式架构模型之动态投资机制，并以罗吉斯函数(Logistic function)来捕捉各产业各期最适之投资行为与其轨迹。

另外，针对自产品与进口品之消费选择部份，在一般CGE模型中，多以Armington(1969, 1970)之不完全替代假设来呈现。然而，对于单纯以“价格导向”之Armington决策模式，在晚近的研究中已有陆续提到，相对价格并非自产品与进口品间配置决策之唯一标准。例如，Rigoberto(2005)的研究即指出，在考虑贸易保护政策下，自产品与进口品之选择行为将不适用Armington之假设，消费者对于特定产品的偏好亦应是决定自产品与进口品消费选择的重要因素之一。基于此，本文模型参考Horridge(2003)之处理，扩充并延伸出国产品与进口品之偏好选择行为。

在技术创新的设定方面，基于经济体系各产业在生产过程中会逐渐累积经验，自发性地修正并调整更有效率的生产行为，以提高其生产效率，本文参考近期国外相关研究，针对模型中之生产行为设定，考虑技术内生效果，将原生产决策作适度修改。其中，在如何决定出内生技术进步变量

①基本方程式架构与推导详见Dixon et al. (1982)、Horridge (1998)及Horridge (2003)。

②TAIGEM III模型为清华大学人社院永续发展研究室持续研发与维护之动态CGE模型，于2005年更新完成最新架构。

$A_{i,t,k}=g(Z)$ 之函数型态与影响变量方面,系参考Kypreos (2005) 在MERGE模型中的二因子学习曲线设计:

$$GC_{k,t}=a \times CP_{k,t}^b \times CP_{k,t}^c \quad (1)$$

$$KS_{k,t}=KS_{k,t-1} \times (1-s) + AR \& D \times ypp_t \quad (2)$$

式中:  $GC_{k,t}$  表示为第  $t$  期  $k$  产业之单位成本;

$CP_{k,t}$  表示为第  $t$  期  $k$  产业之累计产量;

$KS_{k,t}$  表示为第  $t$  期  $k$  产业之累计研发投资支出;

$AR \& D$  表示为总研发投资规划;

$ypp_t$  表示为研发投资各年之支出比例。

由(1)式可知,在二因子学习曲线设计中,产业的单位成本将受到该产业的累积产量与累积研发投入两项因子所影响。随着产量与研究投资的累积,特定产业之单位生产成本会有逐年下降的情形。(2)式则为研发投入之资本累积方程式。

上述以产业单位生产成本随累积产量及累积研发投入而变化的设定方式,在本文之动态CGE模型中并无法直接比照处理。其中最主要的原因是,本文模型价格系统设定的核心为生产者价格决定机制,而虽然生产者价格取决于生产成本,但因此一生产成本的决定系由许多内生投入的量及价格所决定,而要针对这部份以额外的影响因子来建立直接影响生产成本的设定方式,基本上并不太可行。也因此,要建立起单位生产成本的变化与累积产量及累积研发投入有关之机制,需要透过其它的方式来处理。基本上,本文在学习曲线效果的设计,保留了MERGE模型之二因子设计,但是却是将学习效果透过模型之内生技术变量 ( $A_{total}$ ) 来传达。由于技术变量 ( $A_{total}$ ) 的变化传达了就算是在投入不变的情况下,产量也会有所变化的讯息,因此,该技术变量变化也代表单位生产成本会随之变化。实际操作上,以内生技术变量的变化来间接反映技术的学习效果,就如同一般所认知的学习曲线,并没有一定的曲线形式。换句话说,如果我们以单位生产成本的变化对应技术变量的变化来观察,其间的函数关系并不一定是呈现某种线性或是非线性的形式;二者之间掺杂了复杂的投入、产出及价格的互动,以及各产业与总体经济及进、出口的互动。

现阶段针对产业内生技术进步的处理,主要系在电力部门。我们将原有模型之电力部门由仅考虑技术配套的情况,进一步纳入学习曲线效果的考虑,使电力部门与其它产业间的互动行为较过去的研究更为复杂,同时也更接近经济体系的实际运作。在上述的设定下,电力部门各发电技术的发电量除了会受其它发电技术部门的影响(因为有替代关系)外,该技术部门的成本与产量亦同时会受到该部门内部可能存在之学习效果所影响。

### 3 模拟分析与讨论

本文希望藉由考虑技术内生化的学习曲线效果,重新检视过去台湾总体经济预测与CO<sub>2</sub>减量效果评估的结果。以下简要说明模型之数据来源、情境设定、模拟设计与模拟分析。

本文模型数据库主要以投入产出表为基本数据架构,再辅以资本存量、资本组成矩阵、发电技术成本投入与CO<sub>2</sub>排放矩阵等资料。主要数据来源为主计处产业关联表,辅助资料则须另行编制。模型基期年设定为1999年,主要以计处1999年160部门产业关联表为基础,在简化分析的考虑下,将产业进行适度的加总与拆解,产业部门共分为52部门,产品数则分为62种产品。模型建置完成后,我们也利用2000年起至2004年之总体指标公告值,进行历史模拟校准(calibration),而以2005年起至2025年为模型预测期间。

在模拟设计方面,如前所述,将学习曲线应用于3E模型,除了在基线预测中可观察出其技术学习效果所创造之经济成长与CO<sub>2</sub>排放之双重效果外,当考虑能源及环境政策时,其影响应更为显著。因此,本文之尝试以类似“京都议定书”之规范,依2005年能源会议讨论之主要减量期程进行模拟。此一减量目标与期程系希望自2011年起,实施CO<sub>2</sub>减量政策,期在2025年将CO<sub>2</sub>排放量回归到2000年的水平。基于此,我们设计以下2种情境:(1)未考虑技术学习效果下,由2011年起至2025年实施CO<sub>2</sub>减量政策,回归到2000年之目标;(2)考虑8个电力部门存在技术学习效果下,由2011年起至

2025年实施CO<sub>2</sub>减量政策，回归到2000年之目标。

### 3.1 模拟前测试

之前曾提及，本文与MERGE模型之学习曲线的处理并不完全相同，惟技术进步与单位成本下降之间应存在一定的函数关系(在供需函数已决定下)，是以模拟分析之第一步骤即在应证此一论述是否合理。之后，方可进一步整理分析各项我们所关心的总体经济、能源与环境指标。

我们将“基线模拟”中之电力技术部门技术变量与单位成本之变动率绘制成图。由图1及图2可观察出，汽力机组与复循环机组共五个电力技术部门，其内生技术进步率与单位成本下降率均系呈现稳定之线性关系(接近完全正相关)，其中，复循环机组两条曲线近乎重叠，表示其成本结构几乎完全相同。至于另外之三个电力技术部门，由于属于成本相对较高的电力技术部门(气涡轮及柴油机机组)，其除了技术进步效果外，也同时存在被其它电力技术部门替代之效果，因而出现非线性关系。

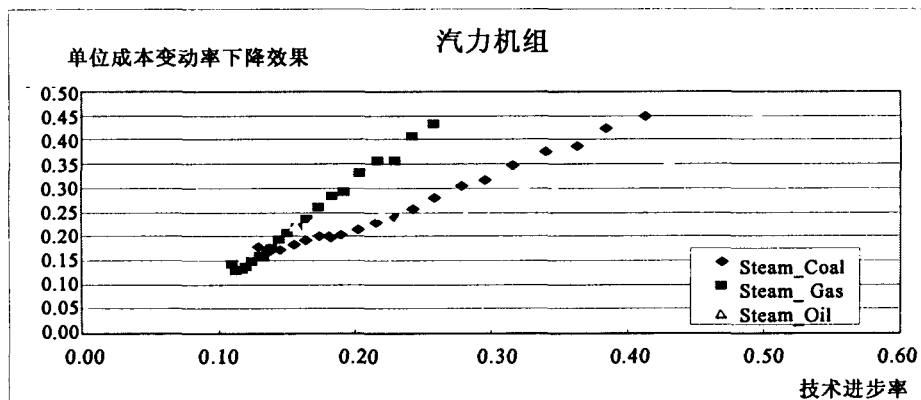


图1 汽力机组 (3个电力部门) 技术进步与单位成本关系

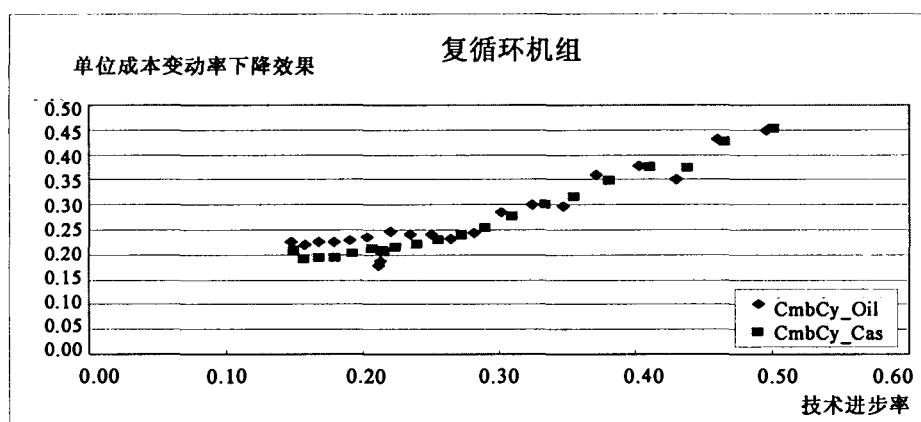


图2 复循环机组 (2个电力部门) 技术进步与单位成本关系

### 3.2 模拟结果

仿真结果显示，2005年至2025年，当基线考虑技术学习效果时，电力部门产量扩增，进而透过一般均衡模型之产业互动连结效果，促使各年实质GDP成长率增加0.03%至0.06%。而类似的结果在京都减量模拟中更为明显，由于2011年起实施减量政策以管制CO<sub>2</sub>成长，基于电力部门是主要耗能及排放CO<sub>2</sub>之产业，在未考虑技术学习效果时，减量政策明显会对实质GDP产生显著的负面冲击，而在考虑电力部门技术学习效果后，将使该部门有更多的弹性进行要素与资源的重分配，以降低减量政策的冲击。在2011年至2025年，就技术学习效果对GDP的帮助而言，将使实质GDP成长率较没有技术进步的情况增加0.06%至0.52%。

本模型另一项重要的评估指标即为能源使用效果，而本文以能源密集度作为仿真评估比较之变量。能源密集度系以“能源使用量除以实质GDP”来衡量，其中，能源使用量与实质GDP这两个变量在模型中均为内生求解。透过模拟，我们可以推估并预测各年之能源密集度变动率。

首先,以基线观察,2005年至2025年能源密集度均呈现下降之势,而当我们考虑技术学习效果时,因技术进步可以减少要素使用,同时创造GDP的成长,因此依据能源密集度计算公式可明显得知,其能源密集度下降率将超过未考虑学习效果之基线。

能源密集度下降之效果在减量政策模拟却有不一样的呈现。由于减量政策主要在约束CO<sub>2</sub>的排放,使得排放CO<sub>2</sub>之能源先行被约束,造成减量政策模拟2011年至2025年之能源密集度更显著地下降,而当考虑技术学习效果后,其能源调节弹性已明显不如基线之效果,是以2011年以后之下降幅度较基线时为少。

有关CO<sub>2</sub>排放,因政策模拟之减量政策均以在2025年回归至2000年的排放量为其政策目标,因此在2025年时其排放量均相同。本文基线预测2025年在未考虑技术学习效果之下,其CO<sub>2</sub>排放量为560百万吨(含燃烧及制程排放),而各年之CO<sub>2</sub>成长率除2010及2011年受到核四开始商转的影响外,均在3.50%至5.00%之间。不过,由近期国外研究可发现,在CO<sub>2</sub>排放量之预测中,考虑技术学习效果是一项必需且重要的评估考虑因子。本文模型加入电力部门技术学习效果后,重新进行基线预测我国的CO<sub>2</sub>排放,结果显示,各年CO<sub>2</sub>成长率均因技术学习效果而减少了能源消耗,进而降低CO<sub>2</sub>的排放量(2025年CO<sub>2</sub>排放量下降为522百万吨),CO<sub>2</sub>成长率均较未考虑学习效果时为低。

Kemfert (2005)曾明确指出,排放减量政策需搭配技术进步方能减少对整体经济福利的冲击。本文为了印证考虑技术学习效果将对环境与能源政策效果有所影响,同时也为了检视与Kemfert (2005)所提之论述,特别针对京都减量政策进行政策评估,并将经由模拟求解之最适碳税与减量成本整理分析。

研究结果显示,在未考虑技术学习效果下,当自2011年以后开始实施CO<sub>2</sub>减量政策,随着减量期程的进行,由于能源替代可能性越趋困难,将造成碳税额度逐年上升,平均约为5,099(元/吨碳)。然当我们加入电力部门技术学习效果考虑之后,如预期地,将有效减少能源的使用,进而得到CO<sub>2</sub>减量的效果,而在此情形下,内生求解之最适碳税将较未考虑技术学习效果时为低,平均约为4,717(元/吨碳)。

减量成本的估计亦呈现与碳税相同的结果。若未考虑技术学习效果,将使经济体系因CO<sub>2</sub>减量政策平均承受9,197(元/吨CO<sub>2</sub>)的减量成本,而在考虑技术学习效果之后,其减量成本将降至7,384(元/吨CO<sub>2</sub>)。准此,在环境与能源政策的评估上,若未考虑技术学习效果将使减量成本有高估的情形,而此结论可与Kemfert (2005)的结论相互呼应。

## 4 结论

近年文献显示,在分析环境及能源议题时,技术进步与内生学习效果是十分重要的考虑因素。本文参考Kypreos (2005)在MERGE模型中有关技术学习曲线之设计观念,将学习效果以技术参数引入模型之中,架构出一更符合台湾经济现况之3E总体模型,并重新检视在考虑技术学习效果下,CO<sub>2</sub>排放的预测是否有高估之情形,然后再依据2005年能源会议讨论之“京都减量模式”,重新估计其最适碳税与减量成本。

研究结果显示,文章以内生技术进步方式导入学习曲线效果之处理方式,与MERGE模型将单位成本导入学习曲线效果的想法一致,而透过所建立之技术进步与单位成本间函数图形关系也印证此一说法。此外,由于文章模型中考虑了电力部门的技术配套关系,透过技术配套与技术进步的交互作用,也进一步使得电力部门的互动更切合台湾实际情况。

在各项总体经济、能源及CO<sub>2</sub>排放预测与减量政策的模拟中,针对实质GDP的预测,不论是基线预测不是政策模拟,当考虑技术学习效果时,均较未考虑技术学习效果呈现更高的经济增长。至于在能源与环境指标的评估中,由于技术学习效果在模型中引发另一项“降低成本”与“降低要素使用”的成效,使得CO<sub>2</sub>排在基线之预测由560百万吨下降为522百万吨。而政策模拟之最适碳税与减量成本方面,技术学习效果亦成功地免除过度悲观之估计,平均碳税由5,099(元/吨碳)降为4,717(元/吨),减量成本亦由9,197(元/吨CO<sub>2</sub>)降为7,384(元/吨CO<sub>2</sub>),再次印证在环境与能源政策评估分析中,技术学习效果之重要性。

## 参考文献

- [1] 黄宗煌, 李秉正, 徐世勋, 等. TAIGEM模型建构暨减量策略之经济评估[C]. 环保署委托项目研究计划, (EPA-88-FA31-03-0006), 1999.
- [2] Armington P S, The Geographic Pattern of Trade and the Effects of Price changes[J]. IMF Staff Papers, 1969(16): 176-199.
- [3] Armington P S. Adjustment of Trade Balances: Some Experiments with a Model of Trade among Many Countries[J]. IMF Staff Papers 1970(17): 488-523.
- [4] Benjamin L B, Fredoun Z, Ahmadi-Esfahani. Updating an input-output table for use in policy analysis[J]. The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 2000, 44(4): 573-603.
- [5] Dixon P B, B R Pamenter, J M Sutton et al. ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy[M]. Amsterdam: North-Holland, 1982.
- [6] Gorman W. Production Functions in Which the Elasticities of Substitution Stand in Fixed Proportions to Each Other[J]. Review of Economic Studies, 1965, 2(3): 217-24.
- [7] Goulder L H, K Mathai. Optimal CO<sub>2</sub> Abatement in the Presence of Induced Technological Change[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2000(9): 1-38.
- [8] Griliches Z. Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth[J]. Bell Journal of Economics, 1979(10): 92-116.
- [9] Hanoch G. CRESH Production Functions[J]. Econometrica, 1971(39): 695-712.
- [10] Horridge M. ORANI-G: A Generic Single-Country Computable General Equilibrium Model [EB/OL]. Practical GE Modelling Course. Jun 23-27, <http://www.monash.edu.au/policy/oranig.htm>, 2003.
- [11] Horridge M. ORANIGRD: A Recursive Dynamic Version of ORANIG [EB/OL]. <http://www.monash.edu.au/policy/oranig.htm>, 2002.
- [12] Jaccard M, R. Murphy, N Rivers. Energy-Environment Policy Modeling of Endogenous Technological Change with Personal Vehicles: Combining Top-Down and Bottom-Up Methods[J]. Ecological Economics, 2004(51): 31-46.
- [13] Kemfert C. Induced Technological Change in a Multi-Regional, Multi-Sectoral, Integrated Assessment model (WIAGEM) Impact Assessment of Climate Policy Strategies[J]. Ecological Economics, 2005(54): 293-305.
- [14] Kypreos S. A MERGE Model with Endogenous Technological Change and the Cost of Carbon Stabilization, Climate Change Modelling and Policy, Working Paper [EB/OL]. The Fondazione Eni Enrico Mattei Note di Lavoro Series Index: <http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm>, 2005.
- [15] Löchel A. Technological Change in Economic Models of Environmental Policy: A Survey[J]. Ecological Economics, 2002(43): 105-126.
- [16] Mukerji V. A Generalized S.M.A.C. Function with Constant Ratios of Elasticities of Substitution[J]. Review of Economic Studies, 1963, 30(3): 233-36.
- [17] Rogers E. The Diffusion of Innovation, fourth ed. Free Press, New York Romer, P.M. 1990. Endogenous technical change[J]. Journal of Political Economy, 1995(98): 71-102.

## The Innovation of Energy Technology to Affect Economy, Energy Resources and Environment

LIN Shi-mo<sup>1</sup> SU Han-bang<sup>1</sup> LIN Xing-hua<sup>2</sup>

(1. Dept. of International Trade, Chungyuan Christian University, Chungli Taoyuan, Taiwan 32023;

2. Dept. of Economics, Qing Yun University, Taoyuan, Taiwan, 32000)

**Abstract** Sources of energy are closely linked to economy, and even more connected with environment. The rapid development of economy relies on the power provided by energy resources. However, the over-consumption of energy may bring about negative effect on environment, stifling economic growth. For the above-mentioned reason, promoting the innovation and application of energy technology could be one of the effective ways to keep sustained development of economy and improve the quality of environment. Following Kypreos' innovation of energy technology and learning-by-doing approach in MERGE Model, this paper reviews the influence of the related policies on the overall economy energy resources and environment. The result shows that the effects of expanded productivity and cost reduction. The innovation of energy technology and learning-by-doing approach have brought about can not only influence economy positively but also reduce pollutant emission. The result of the simulated analysis in this paper is in agreement with Goulder's, Mathai's, Kemfert's and Kypreos' conclusions, which once again demonstrates the importance of taking the innovation of energy technology into the assessment of energy environment.

**Keywords** Technological innovation; learning-by-doing curve; calculable equilibrium general model