

基于 LEAP 的厦门市节能与温室气体减排潜力情景分析

曹 斌^{1,2}, 林剑艺^{1,*}, 崔胜辉¹, 唐立娜¹

(1. 中国科学院城市环境与健康重点实验室, 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:城市是人类社会经济活动的中心, 聚集了世界一半以上的人口。在城市发生的温室气体排放量占全球排放总量的 75% 左右, 因此在这个尺度上研究温室气体减排意义重大。从城市这个尺度出发, 以厦门市为实际研究案例, 应用 LEAP 模型进行节能减排政策情景分析, 定量分析评价城市节能减排潜力, 并详细分析各种控制情景和各部门的节能减排贡献率。研究结果显示: 在综合控制情景下, 厦门能源消费总量年均增长率、万元地区生产总值能耗和温室气体排放总量年均增长率都有所下降; 清洁能源替代措施节能减排效果最好, 工业部门节能减排潜力最大; 优化能源使用结构蕴藏巨大减排潜力。

关键词:温室气体; 减排潜力; 情景分析

Scenario analysis of reduction potentials of energy demand and GHG emissions based on LEAP model in Xiamen City

CAO Bin^{1,2}, LIN Jianyi^{1,*}, CUI Shenghui¹, TANG Lina¹

1 Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: As approximately 50% of the world's populations are now living in cities, cities have become the centers of economic and cultural activities on Earth. Studies show that greenhouse gas (GHG) emissions from cities account for about 75% of the global total, and it is critical to reduce the GHG emissions at the city level. The computing principle based on the LEAP model for urban energy saving and emission reduction is introduced. A detailed model, known as LEAP-Xiamen, has been developed to estimate the reduction potential of energy consumption and GHG emissions in Xiamen, Fujian Province for the period of 2007–2020. Two scenarios have been designed to describe the future energy strategies in relation to the development of Xiamen City. The 'Business as Usual' (BAU) scenario assumes that the government will do nothing to influence the long-term trends of urban energy demand. An 'Integrated' (INT) scenario, on the other hand, is generated to assess cumulative impacts of a series of available reduction measures, including clean energy substitution (CES), industrial energy conservation (IEC), combined heat and power generation (CHP), energy conservation in building (ECB), motor vehicle control (MVC) and the development of new energy and renewable energy (DNR). The modeling results show that different modes of economic development and policy implement have a significant impact on energy consumption and GHG emissions. With the rapid development of Xiamen's economy in 2007–2020, the total energy demand and GHG emissions will maintain a relatively high growth. However, the policy measures can have significant effects on energy conservation and GHG mitigation. Firstly, in the BAU scenario, the average annual growth rate of energy consumption is 10.5% in Xiamen; The energy intensity (energy consumption per GRP) will decrease annually by 1.37%; and GHG emissions have an average annual increase of 10.08%. However, in the INT scenario, energy consumption, energy intensity and GHG emissions will increase by 9.13%, decrease by 2.59%, and rise by 6.94%,

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX2-YW-450); 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿资助项目

收稿日期: 2009-10-06; **修订日期:** 2009-12-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jylin@iue.ac.cn

respectively. Secondly, according to the analysis of energy consumption in Xiamen City, the INT measures will save 1.23 million tons of coal equivalents (Mtce) in 2010, 2.97 Mtce in 2015, and 4.63 Mtce in 2020. In terms of measuring specific contributions, CES has the best effect, followed by CHP, IEC, ECB, MVC and DNR. The industrial sector has the greatest energy saving potential in Xiamen, followed by commercial, transportation, and household sectors. Thirdly, in terms of GHG emissions mitigation, the INT measures will reduce 6.3 Mt CO₂ in 2010, 13.8 Mt CO₂ in 2015, and 18.9 Mt CO₂ in 2020. Among all policy measures, CES makes the greatest contribution, followed by CHP, MVC, IEC, ECB and DNR. From consumption sectors, the greatest potential for reducing emissions lies in the industrial sector, followed by transportation, commercial and household sectors. Energy structure change has the great reduction potential. Fourthly, on comprehensive considerations of both energy conservation and emission mitigation, the CES measure has the most important place in energy saving and emission mitigation for Xiamen; and industrial sector has the greatest potential. In addition, the optimization of energy use in Xiamen is an important long-term strategy for reducing emissions. For Xiamen, it is the pathway to low-carbon city by promoting cleaner fuel use, controlling industrial sector's energy consumption and GHG emissions, and optimizing urban energy structure.

Key Words: GHG emissions; reduction potentials; scenario analysis

全球气候变化是当前科学界和国际社会普遍关注的热点问题,遏制全球气候变暖,削减碳排放量,已经成为 21 世纪世界各国的共识^[1-2]。城市中能源利用引起的碳排放是温室气体最主要的来源,探索削减城市能源碳排放的技术方法与政策措施是当前环境管理学研究的前沿发展方向,具有重要的现实和理论意义^[3-5]。从法规、政策、规划和计划层次上削减碳排放是当前碳减排的重要内容,而对各项政策措施的科学评价分析,评估各项措施的减排潜力是提高政策制定质量的基础^[6-8]。LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning system) 模型是由斯德哥尔摩环境研究院开发的基于情景模拟的能源-环境分析工具^[9]。LEAP 模型因其用户可以根据研究问题的自身特点和数据的可获得性而灵活设定模型结构和数据形式的突出优点,被广泛应用于全球、国家、区域尺度的能源战略规划和温室气体减排评价研究^[10]。Price 等应用 LEAP 模型对全球工业、交通和建筑部门的能耗和 CO₂ 排放进行情景分析^[11]。Cai 等应用 LEAP 模型研究了中国 5 个最大的碳排部门的减排潜力^[12]。Shin 等应用 LEAP 模型对韩国垃圾发电厂进行了环境经济影响评价^[13]。Limmeechokchai 等应用 LEAP 模型分析了泰国农村改进厨灶和小沼气池的节能减排潜力^[14]。Zhang 等应用 LEAP 模型评价了中国电力行业在不同情景下的节能减排政策对于总体的能源需求以及外部性成本的影响^[15]。Dhakal 和 Pradhan 都应用 LEAP 模型对城市交通的节能减排潜力进行了评价研究^[16-17]。国内也有很多学者应用 LEAP 模型做了相关研究^[18-19]。总的来说,已有的这方面研究已经相对较多,但这些研究多数集中于一个或某几个部门,且研究尺度一般都较大,而从整个城市尺度出发对所有产业部门进行城市节能减排潜力分析研究的则相对较少。

因此,本文从城市尺度出发,应用 LEAP 模型对厦门市节能减排潜力进行定量的分析评价。文章首先介绍应用 LEAP 模型节能减排潜力研究的基本方法,接着根据厦门实际的节能减排政策设计不同情景,并详细分析各种控制情景和各部门的节能减排潜力,最后对 LEAP 模型在厦门的应用结果的准确性、可靠性和有效性进行讨论。本研究通过对城市节能减排政策进行分析,定量评价这些节能减排政策到底好不好,好到什么程度以及蕴藏多少节能减排潜力,以期为其它城市制定节能减排政策、发展低碳经济提供有益借鉴。

1 基于 LEAP 模型的节能减排潜力研究方法

LEAP 模型采用自下而上的方法,根据当地能源需求,从一次能源出发模拟其转化过程,计算本地资源能否满足其需求以及由此引起的能源进出口量,从而实现供需平衡^[20]。该模型依赖于已编制好的环境数据库对能源利用引起的温室气体排放量进行核算。本研究的重点在于分析评价在城市尺度上温室气体的减排潜力,因此本文只计算厦门市能源引起的温室气体的排放量,并不考虑其它污染物的排放。LEAP 模型的计

算过程主要分为3个部分:能源消费量、温室气体排放量和节能减排潜力计算,具体研究思路如图1所示。研究中设定了两种情景:基准情景和控制情景。两种情景在模型中拥有不同的参数集,分别对应不同的能耗总量和温室气体排放总量,最后比较分析各项节能减排政策的节能减排潜力。

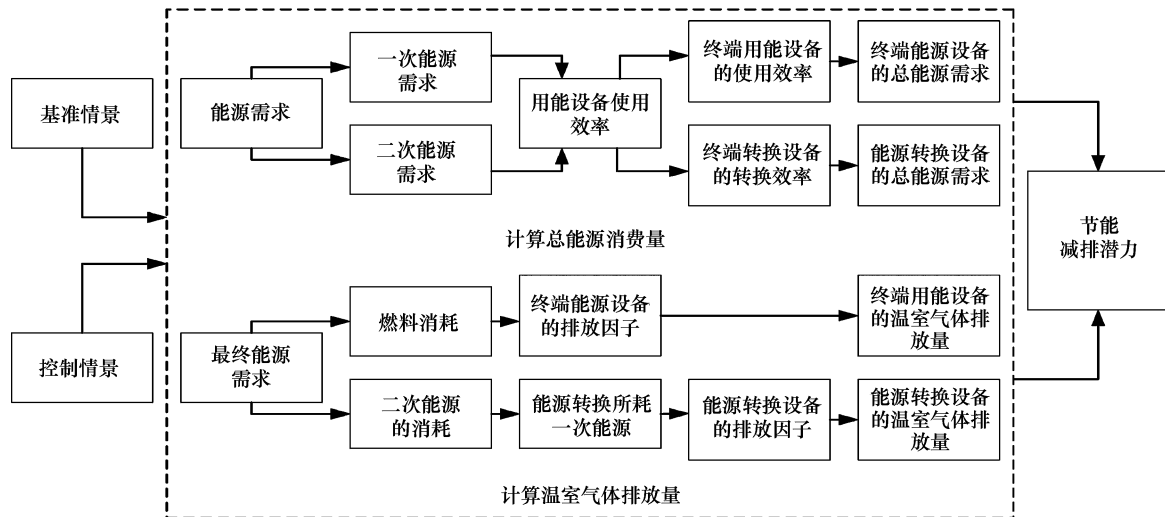


图1 LEAP模型的研究思路

Fig. 1 Research processes based on LEAP mode

1.2 能源消费量计算

总能源消费量包含能源需求总量和能源转换净耗能。由于,能源需求总量和能源转换净耗能计算方法是存在差异的,因此,分别阐述它们的计算方法。

能源需求总量

$$ED_k = \sum_i \sum_j AL_{k,j,i} \times EI_{k,j,i} \quad (1)$$

式(1)中, ED 表示能源需求总量, AL 表示活动水平, EI 表示能源使用强度, i 表示活动部门, j 表示能源使用设备或机动车, k 表示能源类型。不同的能源消费设备在不同的情景当中活动水平和能源使用强度是不一样的,因此不同情景拥有不一样的能耗。

能源转换净耗能

$$ET_m = \sum_n \sum_t ETP_{n,t} \times (e_{m,n,t} - 1) \quad (2)$$

式(2)中, ET 表示能源转换净耗能, ETP 表示能源转换产品, $e_{m,n,t}$ 表示在第 n 种能源转换设备生产第 t 种单位2次能源所耗费的1次能源 m 的数量, m 表示第 m 种1次能源, n 表示第 n 种能源转换设备, t 表示第 t 种2次能源。不同的能源转换设备在不同的情景当中所使用的一次能源和能源转换效率 $e_{m,n,t}$ 是不一样的,因此不同情景拥有不一样能源转换净耗能。

1.3 模型校正

总能源消费量由于统计制度和LEAP模型的计算口径不一致,因此需要对模型进行校正。我国统计制度明确规定,计算国家、省、市级的能源消费总量时,电力采用等价值(即当年每千瓦时电消费的标准煤量 $e_{\text{electricity}}$)进行核算^[21],而LEAP模型对于外界输入的电力采用当量值(即每千瓦时电本身的热量等于0.1229kg标准煤量)进行核算,因此有必要对LEAP模型进行校正。

总能源消费量

$$TEC = \sum_k ED_k + \sum_m ET_m + EI \times (e_{\text{electricity}} - 0.1229) \quad (3)$$

式(3)中, TEC 表示地区能源总消费量, ED 表示能源需求总量, ET 表示能源转换净耗能, EI 表示区域外

输入电力量, $e_{\text{electricity}}$ 表示当年每发 1 千瓦时电消费的标准煤量。

1.4 污染物排放计算

能源消费排放

$$EDEmission_p = \sum_i \sum_j \sum_k AL_{k,j,i} \times EI_{k,j,i} \times EF_{k,j,i,p} \quad (4)$$

式(4)中, $EDEmission_p$ 表示能源消费当中污染物 p 的排放量, $EF_{k,j,i,p}$ 表示第 i 个部门使用第 j 个设备消费单位第 k 种能源所排放的第 p 种污染物的量。

能源转换排放

$$EDEmission_p = \sum_m \sum_n \sum_t ETP_{n,t} \times e_{m,n,t} \times EF_{m,n,t,p} \quad (5)$$

式(5)中, $ETEmission_p$ 表示能源转换当中污染物 p 的排放量, $EF_{m,n,t,p}$ 表示在第 n 种能源转换设备生产第 t 种二次能源所消费的单位第 m 种一次能源所排放的污染物 p 的量。本文所涉及的各种能源品种的热值及排放因子采用《综合能耗计算通则》与 LEAP 环境数据库。

2 实例研究

2.1 研究区概况与数据来源

厦门市是中国著名的风景旅游城市,是我国最早设立的 5 个经济特区之一,历经 27a 来经济的高速发展,地区生产总值从 1980 年的 6.4 亿元增长到 2007 年 1387.85 亿元,年均增长 22.05%。伴随着经济的高速增长,厦门市的能源需求总量同样保持着高速增长,到 2007 年,全市能源消费总量达到 844.54 万 t 标准煤。为实现地区节能减排目标,厦门市颁布实施了一系列的节能减排政策措施,2009 年更被列为全民低碳行动试点项目首批试点城市之一,因此厦门市是研究城市节能减排潜力的良好案例。

研究所使用的数据来源于 3 个方面:统计年鉴、城市及部门规划和部门调研。基础的社会经济以及相关能耗数据来源于 1999—2008 年的厦门市经济特区统计年鉴。厦门市到目前为止已经出台的一系列节能减排政策所可能取得的效果方面的数据均来源于相关的城市 and 部门规划,本研究所参考的规划包括:厦门市城市总体规划(2004—2020 年)、厦门市交通总体规划(2006—2020 年)以及 1999—2008 年的厦门市邮电交通年度报告等。此外,还有很多关于厦门市电力、煤、汽油、柴油、燃料油、LPG、天然气、LNG 以及原油消费量方面的数据来源于部门调研,本研究所调研的部门包括:厦门市经济发展局、发展改革委员会、建设与管理局、统计局、交通局、规划局、公安交通管理局指挥中心、市政园林局和厦门市电力公司等。

2.2 模型总体结构与基本假设

本文建立的 LEAP-Xiamen 模型覆盖了厦门市终端能源消费部门和加工转换部门,并涵盖了厦门市能源平衡表中所列的能源品种。该模型以 2007 年为基准年,研究时间跨度为 2007—2020 年,模型情景分析所依据的政策措施包括清洁燃料替代、工业节能、热电联产、建筑节能、机动车控制和可再生能源开发与利用。能源需求系统被分为 4 个部门:家庭部门、工业部门、交通部门和商业部门。能源转换系统被分为 3 个部门:输送与分发部门、发电部门和热电联产部门。

此外,基于中国经济良好的内部发展环境、厦门市强劲的经济增长势头和厦门市综合发展规划等方面的综合考虑,研究中假定厦门市地区生产总值在 2007—2020 年间将以不同的速率继续保持快速增长。LEAP 模型关于人口、人口增长率、家庭数、家庭规模、地区生产总值(GRP)和 GRP 增长率基础参数如表 1 所示。

2.3 模型情景设定

为了分析评价厦门市出台的一系列节能减排政策所可能取得的节能减排效果,研究中设定了 2 种情景:基准情景(Business As Usual scenario, BAU)和综合控制情景(Integrated scenario, INT)。综合控制情景包括 6 个子情景,它们分别是:清洁燃料替代子情景(Clean Energy Substitution, CES)、工业节能子情景(Industrial energy Conservation, IEC)、热电联产子情景(Combined Heat and Power generation, CHP)、建筑节能子情景(Energy Conservation in Building, ECB)、机动车控制子情景(Motor Vehicle Control, MVC)和新能源开发与利

用子情景 (the Development of New energy and Renewable energy, DNR)。情景说明如表 2 所示。

表 1 LEAP 模型中核心参数的基础假定

Table 1 The basic assumption of key variables for LEAP-Xiamen model

核心参数 Key parameters	2007 ^a	2010	2015	2020
人口 ^b Population /million	2.43	2.61	2.95	3.33
人口增长率 ^c Population growth rate /%	2.46	2.46	2.46	2.46
家庭规模 ^d Household size /persons	3	3	3	3
家庭数 ^e Households /thousand	810	870	983	1110
地区生产总值 Gross regional product /billion	138.79	213.67	376.56	606.45
GRP 增长率 ^f GRP growth rate /%	15.47	12	10	10

a: 2007 年的核心参数数据来源于 2008 年的厦门市经济特区统计年鉴, 家庭规模除外; b: 根据研究需要, 人口用的是常住人口数据; c: 人口增长率包括自然增长率和机械增长率, 2.46 是 1998—2007 过去 10 年厦门市人口增长率的平均值; d: 考虑到有很多非常住人口在厦门市并没有户籍, 只是临时居住, 并鉴于研究简单化的考虑, 人为将家庭规模设定为 3 口人; e: 家庭数等于常住人口总数除以家庭规模; f: 在不同时间节点的 GRP 增长率是参考厦门市“十一五”发展纲要、厦门市综合规划 2004—2020 等来设定。

表 2 情景内容及其依据

Table 2 Policy assumptions and options

情景设置 Scenario design		情景内容 Scenario content	情景依据 Scenario basis
基准情景 BAU		本情景用 1998—2007 年过去 10a 的数据来推导 2008—2020 年未来 13a 厦门市的用能发展趋势,并不考虑到截至目前已经颁布实施的一系列节能减排政策措施	2007 年之前厦门市用能趋势的合理外推
综合控制情景 INT	清洁燃料替代情景 CES	管道天然气替代全部其它燃气;LNG 替代部分工业燃煤、柴油和重油等分别达 70%、60% 和 40%;LPG 和 CNG 公交替代常规公交分别达 5% 和 20%;LPG 和 CNG 出租车替代常规出租车分别达 10% 和 20%;建设一座 LNG 电厂	截至目前为止,厦门市已经颁布实施了一系列的节能减排政策措施,它们分别是:《厦门市人民代表大会常务委员会关于发展循环经济的决定》 ^a ,《厦门市人民政府关于加强节能工作的意见》 ^b ,《厦门市“十一五”重点节能工程行动方案》 ^c ,《厦门市单位 GDP 能耗考核体系实施办法》 ^d 和《厦门市节约能源条例》 ^e ;除此之外,厦门市还出台了一系列的城市及部门规划,它们分别是:厦门市城市总体规划 ^f 2004—2020,2006—2020 厦门市交通综合规划 ^g 以及厦门生态市建设规划及实施纲要 ^h 等
	工业节能情景 IEC	通过调整工业结构、降低单位产品的能耗、实现能源梯级利用和余热废热回收等提高工业能源利用效率,使单位产品能耗到 2020 年平均降低 15% 以上;建立和完善对重点用能单位的监管体系,推广使用节能产品和技术	
	热电联产情景 CHP	通过热电联产提高能源利用效率,减少重油使用,实现污染物减排,减少重油使用量达 50 万 t 以上	
	建筑节能情景 ECB	通过建筑节能措施降低居民、商用、大型公共建筑等的能耗,建筑节能主要体现为节电,到 2020 年 80% 的家庭将使用节能电器	
	机动车控制情景 MVC	控制机动车数量和单车燃油经济性从而降低交通能耗,控制私家车的增长速度,使得私家车的拥有量控制在百户 30 辆之内,大力发展快速公交(BRT)体系,加快建设成功大道专线和环岛干线,使得 BRT 承担公交客运总量到 2020 年达到 30% 左右	
新能源开发与利用情景 DNR		大力开发利用太阳能、水电、生物质能等新能源和可再生能源,使新能源和可再生能源的使用率到 2020 年达到 3%	

a: 厦门市人大颁布于 2005 年, 但此决定的实施细则是在 2007 年出台的; b: 此意见出台于 2007 年; c: 厦门市节约能源办公室发布于 2007 年; d: 厦门市政府出台于 2008 年; e: 厦门市人大颁布于 2008 年; f: 厦门市规划局制定于 2004 年; g: 厦门市规划局制定于 2006 年; h: 由北京师范大学环境学院编制于 2004 年; i: 这 6 个子情景综合考虑厦门市已经出台的一系列政策、措施、规划和报告后设定的, 重点参考厦门生态市建设规划之能源规划部分

3 实例计算结果与分析

3.1 能源消费总量

根据厦门市社会经济合理假设和各情景在 LEAP 模型参数的差异定量化, 可以得到在两个不同情

景下厦门市从 2007—2020 年未来各年的能源消费总量,计算结果如图 2 所示。虽然在这 2 种情景下能源消费总量都不断增长,但增长的速率是有差异的。在基准情景下,厦门地区总能耗从 2007 年的 844.54 万 t 标准煤增长到 2020 年的 3092.42 万 t 标准煤,年均增长 10.5%。由于一系列节能减排政策措施的颁布实施,部分抑制了厦门地区能源消费总量的强劲增长态势,因此在综合控制情景下厦门地区能源消费总量增长相对较慢,从 2007 年的 844.54 万 t 标准煤增长到 2020 年的 2629.77 万 t 标准煤,年均增长 9.13%。

从万元地区生产总值能耗的计算结果(如表 3 所示)分析来看,基年是 0.61t 标准煤,到 2020 年,在基准情景下会降到 0.5099t 标准煤,而在综合控制情景下是 0.4366t 标准煤。在基准情景下,万元地区生产总值能耗年均降低 1.37%,而在综合控制情景下,年均降低 2.59%。在基准情景下,万元地区生产总值能耗的下降可能是由于整体的科技进步和社会生产效率的提高导致的;而在综合控制情景下,除了受以上因素影响外,更主要的是受厦门市颁布的一系列节能减排政策措施的影响。

表 3 在基准情景和控制情景下万元地区生产总值能耗预测结果

Table 3 Predicting results of energy consumption per unit GRP for BAU and INT

年份 Year	2007	2010	2015	2020
基准情景 BAU /(t 标准煤/10000 元)	0.6100	0.6003	0.5540	0.5099
综合控制情景 INT /(t 标准煤/10000 元)	0.6100	0.5420	0.4750	0.4336

3.2 温室气体排放量及其排放强度

2007—2020 年,厦门市每年的实际温室气体排放总量的模型计算结果如图 3 所示。两种情景下的温室气体排放总量都呈现出大幅增长的态势,这和厦门地区的能源消费总量的增长趋势是一致的。在基准情景下,温室气体排放总量从 2007 年的 1730 万 tCO₂ 增长到 2020 年的 6030 万 tCO₂,年均增长 10.08%;而在综合控制情景下,到 2020 年仅增长到 4140 万 tCO₂,年均增长 6.94%。和图 2 结果比较发现,在基准情境下,厦门地区总能耗和温室气体排放量都保持 10% 左右的同步增长。而在综合控制情境下厦门地区综合总能耗年均增长 9.13%,而温室气体的排放量的年均增长率却只有 6.94%,温室气体的增长并没有随着能耗的增长而出现同步增长,说明在此情景下,大量清洁低碳能源的使用导致能源消费结构转变促使温室气体减排效果较为明显。

不同情景下年人均温室气体排放量如表 4 所示。在基准情景下,年人均温室气体排放量到 2020 年年均增长 7.44%;在综合控制情景下,年均增长 4.37%。两种情景下厦门地区年人均温室气体排放量均表现出增

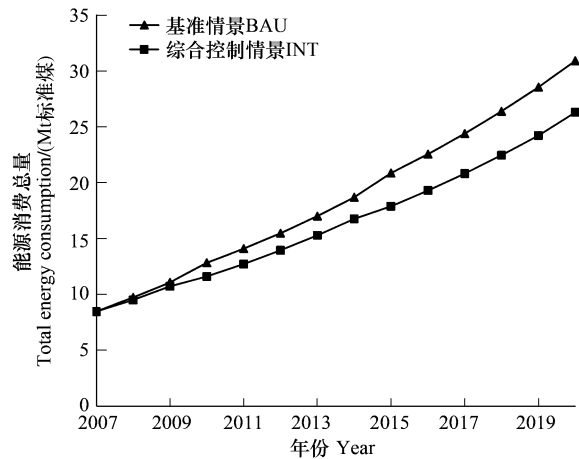


图 2 2007—2020 年在基准情景和控制情景下能源消费总量的预测结果

Fig. 2 Total energy consumption forecast for the BAU and INT during 2007—2020

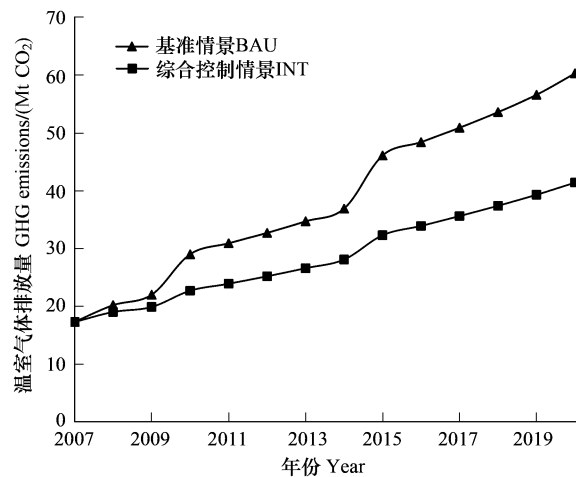


图 3 2007—2020 年在基准情景和控制情景下温室气体排放总量的预测结果

Fig. 3 Total GHG emissions forecast for the BAU and INT during 2007—2020

长态势,但在综合控制情景下增速明显放缓。

表 4 在基准情景和控制情景下年人均温室气体排放量预测结果

Table 4 Predicting results of annual GHG emissions intensity for BAU and INT

年份 Year	2007	2010	2015	2020
基准情景 BAU /(t CO ₂ /person)	6.95	10.83	15.24	17.66
综合控制情景 INT /(t CO ₂ /person)	6.95	8.48	10.68	12.12

CO₂指 CO₂等价物,研究中参考京都议定书将氧化亚氮、甲烷、氢氟碳化物、全氟碳化物和六氟化硫等主要的温室气体都折算成 CO₂ 进行计算

3.3 节能减排潜力

3.3.1 节能潜力分析

厦门市的节能潜力以及各子情景和各部门的节能贡献率如表 5 所示。结果显示,所有节能政策措施都能够很好的被贯彻实施的话,厦门地区的节能潜力逐步增大,从 2010 年的 123 万 t 标准煤增加到 2020 年的 463 万 t 标准煤。从各子情景的节能贡献率来看,清洁燃料替代情景的贡献是最大的,每年的贡献率在 50% 左右。从各部门的节能贡献率来看,工业部门的节能贡献率最大。

表 5 控制情景相比于基准情景所蕴藏的节能潜力以及各因子的节能贡献率

Table 5 Reduction potential of total energy consumption of INT compared with BAU and the contribution rates of each factor

年份 Year	2010	2015	2020
INT 相比于 BAU 情景所蕴藏的节能潜力 Reduction potential of total energy consumption of INT compared with BAU			
节能值 Reduction value of total energy consumption /Mt 标准煤	1.23	2.97	4.63
各子情景对于总节能贡献率 Contribution rates of each sub-scenario /%			
清洁燃料替代情景 CES	66.83	57.04	40.75
工业节能情景 IEC	7.76	14.65	23.97
热电联产情景 CHP	13.56	11.23	7.24
建筑节能情景 ECB	7.48	14.19	23.29
机动车控制情景 MVC	5.96	8.40	11.47
新能源开发与利用情景 DNR	0.30	0.84	1.02
各部门节能贡献率 Contribution rates of each sector /%			
家庭部门 Household sector	1.88	4.50	5.25
工业部门 Industrial sector	71.40	60.60	58.46
交通部门 Transport sector	9.57	15.04	15.11
商业部门 Commercial sector	17.15	19.86	21.18

3.3.2 减排潜力分析

厦门市的温室气体减排潜力以及各因子的减排贡献率如表 6 所示。结果显示,随着减排政策措施实施的深入,减排效果越来越好。在各子情景中,减排贡献最大的是清洁燃料替代措施,始终保持 70% 以上。从部门来看,工业部门是温室气体减排大户,其贡献率始终保持在 80% 以上,因为清洁燃料替代、工业节能和热电联产等在工业部门内的减排措施最多。

温室气体的减排主要是来源于传统能源消费总量的控制和能源使用结构的优化。依据模型计算结果并进行统计分析发现,优化地区能源使用结构对于温室气体减排贡献巨大,贡献率始终保持在 70% 左右,这说明结构减排潜力巨大。两种情景下能源结构变化图如图 4 所示。图 4 清晰地显示在基准情景下,能源结构几乎没有变化;而在综合控制情景下,能源结构发生根本性转变,清洁能源使用量大幅攀升,能源结构逐步趋于环境友好化和清洁化。

表 6 控制情景所蕴藏的温室气体减排潜力以及各因子减排贡献率

年份 Year	2010	2015	2020
INT 情景相比于 BAU 情景所蕴藏的减排潜力 Reduction potential of GHG emissions of INT compared with BAU			
温室气体减排值 GHG mitigation value /Mt 标准煤 CO ₂	6.3	13.8	18.9
各子情景减排贡献率 Contribution rates of each sub-scenario /%			
清洁燃料替代情景 CES	82.97	79.79	77.80
工业节能情景 IES	1.49	2.76	4.47
热电联产情景 CHP	11.84	10.89	7.83
建筑节能情景 ESB	0.33	0.67	1.21
机动车控制情景 MVC	2.48	3.82	5.79
新能源开发与利用情景 DNR	0.90	2.06	2.91
各部门减排贡献率 Contribution rates of each sector /%			
家庭部门 Household sector	3.99	3.82	3.47
工业部门 Industrial sector	84.18	83.53	82.92
交通部门 Transport sector	7.13	8.96	8.88
商业部门 Commercial sector	4.70	3.70	4.74
结构与非结构性减排贡献率 Contribution rates of structural mitigation and non-structural mitigation /%			
结构减排 ^c Structural mitigation	74.60	72.46	68.25
非结构减排 ^d Non-structural mitigation	25.40	27.54	31.75

注:a 由于模型结构设计需要,这里发电方式包含水电、火电、LNG 燃气电厂、太阳能发电和生物质能发电五种,并不包含热电联产;b 热电联产分燃煤热电厂和燃气(LNG)热电厂;c 结构减排指能源结构优化所导致的温室气体减排;d 非结构性减排在研究中特指节能技术和生活行为方式的改变所导致的减排。

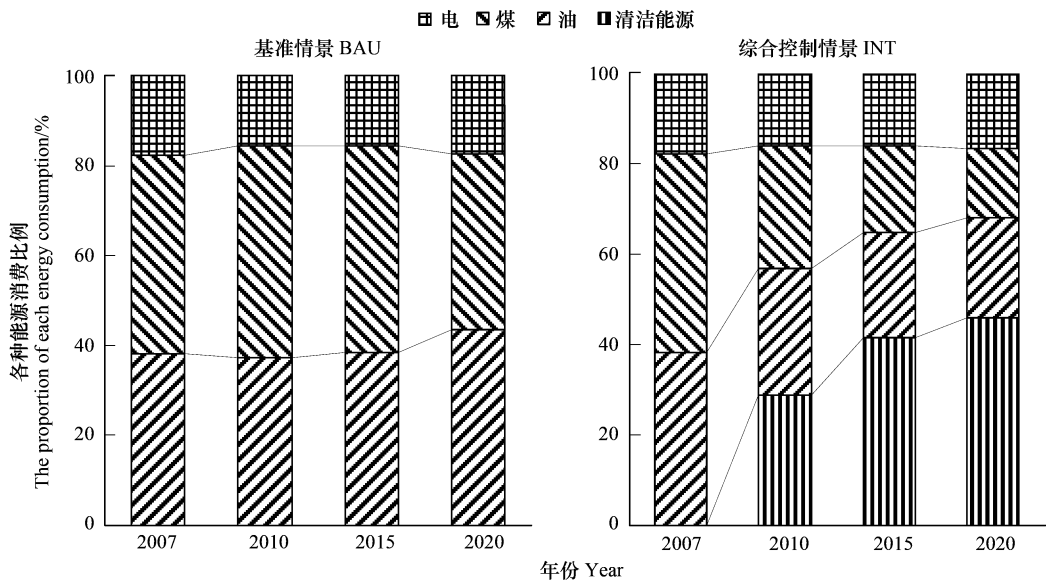


图 4 基准情景和控制情景下能源使用结构变化

Fig. 4 Structure change of energy use for the BAU and INT

注:煤包括原煤、洗精煤和焦炭;油包括汽油、柴油、煤油、重油、原油等;清洁能源包括天然气、LNG、太阳能、风能和生物质能。

3.4 计算结果讨论

综合以上计算结果,不难发现,工商业部门蕴藏的节能减排潜力是最大的。工商业领域的节能减排政策主要可以分为两类:一是制度上的;二是技术上的。制度上的节能减排主要是指制定严格的节能减排制度,这个较容易实施,但效果不大。技术上的节能减排只要是指工商企业投资新的节能减排技术设备。它的节能减

排效果较好,但实施难度很大,因为企业是否投资使用某节能减排技术设备是需要考虑成本与收益的,当投资成本远远大于使用收益时,企业是没有动力去使用该设备的。因此政府在引导企业实现节能减排目标时应充分发挥财政政策的引导作用,安排相应的节能减排专项资金,推动节能减排重点项目和技术的推广应用。家庭部门的节能减排主要涉及到用管道天然气替代传统煤气和节能电器的推广使用,其实施难度比较小,预期减排效果会比较好。交通部门的节能减排政策主要涉及到绿色公交车和出租车的推广、BRT 建设和机动车控制,前两项目前已经实施,第 3 项的实施难度较大,难以控制,预期该部门的总体实施效果较好。

本研究遵循从政策-情景-参数-结果的分析思路,分析中隐含了两个基本假设:一是假设政策被良好的实施;二是假设模型参数被合理的设定。这两个隐含假设的合理性直接决定着 LEAP 模型在厦门的应用结果的准确性、可靠性和有效性。政策的实施效果是和政府的决心、实施的成本以及政策可操作性直接相关的。当政策的实施效果不好时,节能减排的潜力将大幅缩水,无法达到预期的节能减排目标。第二个隐含假设中的参数包括:核心基础参数、能耗参数和政策参数。前两个参数的数据来源于统计年鉴和相关文献,受人为主观影响较小;而政策参数的设定则受人为主观影响较大,容易产生大的误差。当政策参数的设定严重偏离预期时,计算结果的准确性将大打折扣。该误差的纠正需要建立一个反馈调节机制,随着时间的推移不断地修正政策参数。对于政策参数的选取,本文经过大量政府部门调研及问卷调查以减少参数取值的影响。模型分析的误差除受以上两个隐含假设的影响外,还受模型的结构和调研数据的可靠性的影响。因此,LEAP 模型预测结果的准确性、可靠性和有效性直接依赖于这两个隐含假设的准确性、可靠性和有效性。

4 结论

本文首先阐述了 LEAP 模型分析城市节能减排的基本原理,在此基础上以厦门为实际研究案例,建立了 LEAP-Xiamen 模型,结合厦门的实际情况设计了相应控制情景,情景分析结果表明,厦门市已经出台的一系列节能减排政策在被良好实施的情况下拥有巨大的节能减排潜力。本研究的主要结论如下:

(1)在基准情景下,厦门市能源消费总量年均增长 10.5%,万元地区生产总值能耗年均降低 1.37%,温室气体排放总量年均增长 10.08%;而在综合控制情景下,厦门市能源消费总量年均增长 9.13%,万元地区生产总值能耗年均降低 2.59%,温室气体排放总量年均增长 6.94%。

(2)从节能的角度看,各项节能措施在 2010 年拥有节能 123 万 t 标准煤的潜力,2015 年达到 297 万 t 标准煤,2020 年达到 463 万 t 标准煤。从各种措施的贡献来看,清洁燃料替代措施节能效果最好;从部门来看,工业部门节能潜力最大,其次分别为商业、交通和家庭部门。

(3)从减排的角度看,各项减排措施在 2010 年拥有减排 6.3MtCO₂ 的潜力,2015 年达到 13.8 MtCO₂,2020 年达到 18.9MtCO₂。从各种措施的贡献来看,清洁燃料替代的贡献最大;从部门来看,工业部门的减排潜力最大;从能源结构来看,结构减排潜力巨大。

(4)综合两方面考虑,清洁燃料替代措施的节能减排效果最好,工业部门的节能减排潜力最大。此外,优化厦门地区的能源结构是减排的长远战略。大力推广清洁燃料的使用、抓好工业部门的节能减排和优化城市能源结构是发展低碳城市的有效路径。

References:

- [1] Solomon S, Plattner G K, Knutti R, Friedlingstein P. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. PNAS, 2009, 106 (6): 1704-1709.
- [2] Roger P J, Wigley T, Green C. Dangerous assumptions. Nature, 2008, 452: 531-532.
- [3] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy. Hayama, Japan: IPCC, 2006.
- [4] Quadrelli R, Peterson S. The energy-climate challenge: Recent trends in CO₂ emissions from fuel combustion. Energy Policy, 2007, 35: 5938-5952.
- [5] The-Climate-Group. China's Low Carbon Leadership in Cities. [2009-08-25]. < http://www.theclimategroup.org/_assets/files/Chinas_Low_Carbon_Leadership_in_Cities.pdf >.
- [6] Gu C L, Tan Z B, Han C Q. Climate Change and Low Carbon City Planning. Nanjing: Southeast University Press, 2009.

- [7] McKinsey&Company. Pathways to a Low Carbon Economy. [2009-08-25]. < <http://www.worldwildlife.org/climate/WWFBinaryitem11334.pdf> > .
- [8] Wei Y M, Liu L C, Fan Y, Wu G. ChinaEnergy report(2009):CO₂ Emissions Research. Beijing: Science Press, 2008.
- [9] Stockholm Environment Institute (SEI), Tellus Institute. LEAP: Long Range Energy Alternative Planning System, User Guide for LEAP2006. 2006 [2009-08-25]. < <http://www.energycommunity.org/documents/Leap2006UserGuideEnglish.pdf> > .
- [10] Zhou D D, Levine M. China's sustainable energy future: Scenarios of energy and carbon emissions. [2009-08-25] < <http://www.energycommunity.org/documents/ChinaScenariosSummary.pdf> > .
- [11] Price L, de la Rue du Can S, Sinton J. Sectoral Trends in Global Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. [2009-08-25]. < <http://ies.lbl.gov/iespubs/56144.pdf> > .
- [12] Cai W J, Wang C, Chen J N, Wang K, Zhang Y, Li X D. Comparison of CO₂ emission scenarios and mitigation opportunities in China's five sectors in 2020. Energy Policy, 2008, 36: 1181-1194.
- [13] Shin H C, Park J W, Kim H S, Shin E S. Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model. Energy Policy, 2005, 33: 1261-1270.
- [14] Limmeechokchai B, Chawana S. Sustainable energy development strategies in the rural Thailand: the case of the improved cooking stove and the small biogas digester. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 11: 818-837.
- [15] Zhang Q Y, Tian W L, Wei Y M, Chen Y X. External costs from electricity generation of China up to 2030 in energy and abatement scenarios. Energy Policy, 2007, 35: 4295-4304.
- [16] Dhakal S. Implications of transportation policies on energy and environment in Kathmandu Valley, Nepal. Energy Policy, 2003, 31: 1493-1507.
- [17] Pradhan S, Ale B B, Amatya V B. Mitigation potential of greenhouse gas emission and implications on fuel consumption due to clean energy vehicles as public passenger transport in Kathmandu Valley of Nepal: a case study of trolley buses in Ring Road. Energy, 2006, 31: 1748-1760.
- [18] Li D, Wang R S, Zhou C B. LEAP based scenario analysis of energy evaluation on urban residential area. Journal of the Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 2009, 26(1): 72-78.
- [19] Zhang Y, Wang C, Wang K, Chen J N. CO₂ emission scenario analysis for China's electricity sector based on LEAP software. Tsinghua University: Science & Technology, 2007, 47 (3): 365-368.
- [20] Zhang J M, Yin J H. System analysis of LEAP model. China Energy, 1999, 6: 31-35.
- [21] Guan Y G. Discussions on converting electricity. China Energy, 2009, 31(6): 34-36.

参考文献:

- [6] 顾朝林, 谭纵波, 韩春强. 气候变化与低碳城市规划. 南京: 东南大学出版社, 2009.
- [8] 魏一鸣, 刘兰翠, 范英, 吴刚. 中国能源报告(2008):碳排放研究. 北京: 科学出版社, 2008.
- [18] 李栋, 王如松, 周传斌. 基于 LEAP 的城市居住区能值评价与复合情景分析. 中国科学院研究生院学报, 2009, 26 (1): 72-82.
- [19] 张颖, 王灿, 王克, 陈吉宁. 基于 LEAP 的中国电力行业 CO₂ 排放情景分析. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47 (3): 365-368.
- [20] 张建民, 殷继焕. LEAP 模型系统分析. 中国能源, 1999, 6: 31-35.
- [21] 官义高. 关于电力折标问题的探讨. 中国能源, 2009, 31(6): 34-36.