

周健,崔胜辉,林剑芝,等.基于 LEAP 模型的厦门交通能耗及大气污染物排放分析[J].环境科学与技术,2011,34(11):164-170.Zhou Jian,Cui Sheng-hui, Lin Jian-yi, et al. LEAP based analysis of transport energy consumption and air pollutants emission in Xiamen City[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(11):164-170.

基于LEAP模型的厦门交通能耗及大气污染物排放分析

周健^{1,2}, 崔胜辉^{1*}, 林剑芝¹, 李飞^{1,2}

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

摘 要 交通部门能源消耗和污染物排放的比例较大, 增长迅速, 因此研究交通部门的节能减排措施显得尤为迫切。文章以厦门市城市交通部门为例, 基于 LEAP 模型构建 Xiamen-2008Tra 交通模型, 研究从基准年 2008 年到 2030 年的能源消费量以及 CO₂、SO₂、NO_x 和 PM₁₀ 的排放量, 评估各种节能减排措施的效果。模型设定了基准情景和最佳情景, 前者作为参考情景假设政府没有采取任何措施来抑制交通部门能源增长, 后者作为最乐观情景包括私家车控制、燃料经济性调整、新能源车推广、燃料税和生物燃料推广五个节能减排子情景。研究结果表明 2030 年最佳情景要比基准情景节能 36.08%, CO₂、SO₂、NO_x 和 PM₁₀ 的排放量分别减少 40.46%、47.06%、32.07% 和 44.91%; 在各种节能减排措施中, 私家车控制措施节能减排效果最好。

关键词 城市交通; 能源消费; 污染物排放; 节能减排

中图分类号: X32 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1003-6504.2011.11.034 文章编号: 1003-6504(2011)11-0164-07

LEAP Based Analysis of Transport Energy Consumption and Air Pollutants Emission in Xiamen City

ZHOU Jian^{1,2}, CUI Sheng-hui^{1*}, LIN Jian-yi¹, LI Fei^{1,2}

(1. Key Laboratory for Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract : Due to a large proportion of energy consumption and pollutant emissions in transport sector, the study of measure of energy saving and emissions reduction in the transport sector is particularly urgent. A transport model of Xiamen-2008Tra based on Long Range Energy Alternatives Planning System (LEAP) was developed, taking Xiamen transport sector as a case study. The energy consumption and emissions of CO₂, SO₂, NO_x and PM₁₀ for the base year 2008 and extrapolated till 2030 were analyzed. The model established Business as Usual (BAU) scenario and Best Case (BC) scenario totally. BAU scenario was pertaining to a base line reference scenario, in which the government was assumed to do nothing to inhabit the increase of road transport energy demand. BC scenario was considered the most optimized case, which included five available reduction subscenarios such as private vehicle control, fuel economy regulation, promoting new alternative power vehicles, fuel tax and biofuel proportion. Results showed that comparing with BAU scenario, the BC scenario saved 36.08% of energy consumption, and emissions of CO₂, SO₂, NO_x and PM₁₀ decreased by 40.46%, 47.06%, 32.07% and 44.91% respectively. Private vehicle control had a better effect on reducing energy consumption and pollutants emission than other sub-scenarios.

Key words : urban transport; energy consumption; pollutants emission; energy saving and emission reduction

交通部门已经成为全球能源消费和环境污染排放的重要来源,且增长迅速。如过去 10 年全球 CO₂ 排放总量增加了 13%,而源自交通工具的碳排放增长率就达 25%^[1]。欧盟大部分工业领域都做到了成功减

排,但交通工具碳排放却在过去 10 年增长了 21%到 2050 年,全球交通工具碳排放将比目前增长 30%~50%^[1]。在中国,交通行业的能耗约占全社会能耗的 7%~8%,是仅次于制造业的第二大油品消费行业,机动车

《环境科学与技术》编辑部 (网址) <http://jks.chinajournal.net.cn/> (电话) 027-87643502 (电子信箱) hjksyjs@126.com

收稿日期 2011-02-02; 修回 2011-04-24

基金项目 国家自然科学基金(71003090); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-450) 科技部国际合作项目(2009DFB90120)

作者简介 周健(1984-) 男, 硕士研究生, 主要从事城市规划和环境管理研究 (电话) 0592-6190664 (电子信箱) jzhou@iue.ac.cn; * 通讯作者 (电话) 0592-6190957 (电子信箱) shcui@iue.ac.cn.

的迅猛增加导致了大量交通能源消耗和环境污染物的排放,特别在我国高速城市化进程中,人口加速密集,城市不断扩张的背景下,探索交通节能减排显得尤为迫切与重要^[2-5]。

LEAP 模型是由斯德哥尔摩环境实验所波士顿研究中心(SEI-B)研究开发的一个能源环境情景分析模型,其广泛应用于各种尺度各个行业的能源环境政策模拟评价^[6-9]。在交通方面,国际环境政策研究所(IGES)使用 LEAP 模型分析了尼泊尔首都加德满都的城市交通的污染物排放以及能源使用等问题^[10];Dhakal 等运用 LEAP 模型评估了印度德里市客运交通的能源消费和污染物排放^[11];在巴基斯坦,LEAP 模型被应用在监测拉瓦尔品第和伊斯兰堡市交通部门的污染物排放量^[12]。

本文以厦门市为案例,根据现行的多种交通政策措施来制定不同情景,应用 LEAP 模型模拟厦门市交通部门未来能源消费及环境排放量,分析厦门市交通部门的节能及环境减排的潜力,进而评估交通部门各种节能减排政策效果。

1 基于 LEAP 模型的交通部门能源消耗模拟方法

LEAP 模型采用自下而上的方法,根据行业终端用能的变化设置不同情景,并链接各种环境污染物排放因子,可以对不同行业能源消费和大气污染物排放进行分析。本文研究的城市交通部门指除航空、铁路和水运之外的城市公交、出租、道路运输和民用车辆等服务城市运行的交通部门,重点在于分析评价城市交通部门能源消费和相应污染物的直接排放量^[13]。整个模型中计算过程主要分为三个部分:能源消费量、污染物排放量和节能减排潜力的计算,其中能源消费和污染物排放量主要依据机动车数量、燃料经济性、行驶里程以及客(货)周转量等模型基本参数进行计算,这些参数可基于不同政策选择和技术因素的情景进行调整。研究中设定了基准情景和最佳情景,两种情景对应不同的参数集,然后分别计算厦门市城市交通部门的总能耗及污染物直接排放量,最后分析比较控制情景的节能减排潜力,进而对各种政策的效果进行评估。如图 1 所示。

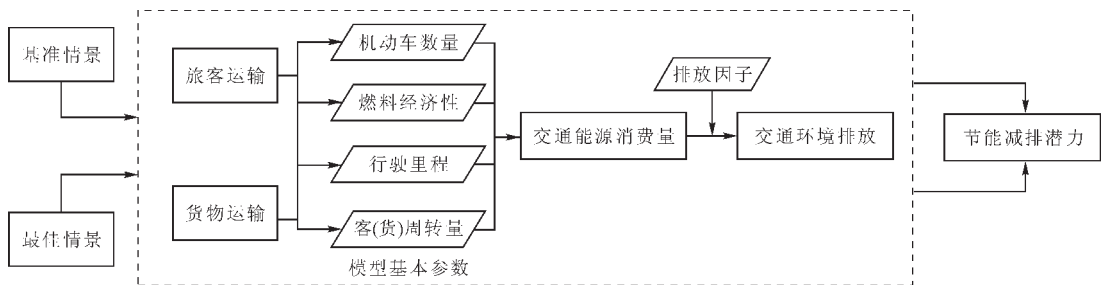


图1 LEAP模型城市交通部门研究思路
Fig.1 Research process of LEAP mode for urban transport sector

1.1 能源消费

由于数据及模型设置要求,能源消费主要从普通机动车、公共交通和货物运输三方面计算。其中公共交通部分为旅客运输中的公共交通,货物运输指整个货物运输部门,剩下的全部为普通机动车。

1.1.1 普通机动车

不同燃料类型的机动车的能源消费量主要通过机动车数量、机动车平均行驶里程以及燃料使用效率来进行计算。因此,机动车能源消费量可以由以下公式计算得出:

$$ED_i(t) = \sum V_i(t) VKT_i(t) F_i(t) \quad (1)$$

其中 $ED_i(t)$ 代表 t 年第 i 种普通机动车的能源消费量,万 t 标准油; $V_i(t)$ 表示第 t 年在道路上行驶的第 i 类车总量; $VKT_i(t)$ 表示第 t 年第 i 类车年均行驶的里程数 km; $F_i(t)$ 表示第 t 年第 i 类车的燃料经济性,本文用单位里程的燃料消费量表示, MJ/km。

1.1.2 公共交通

在 LEAP 模型中,因为客运交通需要考虑到居民交通出行量,所以能源消费量通常都是把总客运周转量(人·km)与每单位客运周转量的能源消费量相乘来计算。然而厦门市在进行公共交通出行统计口径为日出行总量,人,因此本文中的客运交通能源消费量要进行适当修改,其公式如下:

$$EDP_i(t) = \sum EPass_i(t) \times TDTP_i(t) \quad (2)$$

其中 $EDP_i(t)$ 指的是第 t 年第 i 种客运交通能源消费量,万 t 标准油; $EPass_i(t)$ 为 t 年第 i 种客运交通每人每次能源消费量, MJ/人; $TDTP_i(t)$ 表示 t 年第 i 种客运交通的日出行总量,人。

1.1.3 货物运输

货物运输方面,具体公式如下:

$$EDF_i(t) = \sum EFrigh_i(t) \times TEF_i(t) \quad (3)$$

其中, $EDF_i(t)$ 表示 t 年第 i 种车货运能源消耗量, 万 t 标准油; $EF_{fright_i}(t)$ 为 t 年第 i 种车每单位货物周转过程中能源消费量, MJ; $TEF_i(t)$ 为 t 年第 i 种车的货运周转量, t·km。

1.2 大气污染物排放

交通带来的大气污染物排放量计算主要基于每种能源类型的机动车能源消耗量及相应排放因子, 所以普通机动车、公共交通和货物运输的环境排放量统一按照如下公式计算:

$$E_j(t) = \sum TED_i(t) \times EF_{ij}(t) \quad (4)$$

$E_j(t)$ 为 t 年 j 种污染物的环境排放量; $TED_i(t)$ 为 t 年第 i 种燃料车的能源消费量, t; $EF_{ij}(t)$ 为 t 年第 i 种燃料车的 j 种污染物的环境排放量, kg/km。

2 研究实例

2.1 研究区概况

厦门市地处中国东南沿海福建省东南部, 是中国著名的风景旅游城市, 也是国家最早设立的五个经济特区之一。厦门市经济高速发展, 地区生产总值从 1980 年的 6.4 亿元增长到 2008 年 1 560.02 亿元, 年均增长 17.6%。伴随着经济的高速增长, 厦门市的机动车保有量同样保持着高速增长, 到 2008 年, 全市机动车保有量达到 57.61 万辆, 较 2004 年翻了一番, 年均增速将近 20%^[14]。机动车的快速增加不仅导致了城市的拥堵、能源消费的增长和更高的事故发生率, 其尾气排放也是厦门市大气主要污染物 SO_2 、 NO_x 和 PM_{10} 的主要来源之一^[15]。同时厦门市交通碳排放已占全市总碳排放量的 18%, 交通碳减排是厦门市节能减排的重要内容。厦门市政府采取了多种措施来减少交通部门能源消费和大气污染物排放量^[16-19], 因此厦门市是研究交通部门节能减排潜力的良好案例。

2.2 模型结构与基本假设

文章基于 LEAP 模型构建厦门能源交通模型 Xiamen-2008Tra, 以 2008 年为基准年, 分析和预测不同情景下的厦门市 2009-2030 年的交通能源消费及相关大气污染物排放。整个模型的核心思想为能源终端利用的情景分析, 基于上述思想模型能源消费框架包括四个等级: 部门、子部门、终端利用和设备(用能类型), 然后能源消费量能够通过以下两个因子计算: 活动等级和能源强度。活动等级主要依赖于交通活动的各种数据, 诸如机动车数量和行驶里程, 而能源强度则包括机动车的能源使用效率。机动车污染物排放量则主要通过能源消费量及相应的排放因子来计算, 具体数据包括机动车对应燃料类型的排放因子。有研究

表明, 当私家车拥有量增多时会减少其行驶里程^[20-21]。因此, 厦门市私家车保有量的增加会导致其年均行驶里程的下降, 本文参考 Yan^[21]的研究设定在规划年末私家车年均行驶里程会呈线性下降 20%。其他车辆的行驶里程不变保持在基准年的水平。

整个交通能源消费部门按服务分为两个部门: 旅客运输和货物运输。其中旅客运输又细分为公共交通、私家车、出租车、政府和租赁用车和摩托车等子部门。各子部门和终端利用的设定一般决定于详细的部门能源消费特征。整个模型框架如表 1 所示。

表 1 Xiamen-2008Tra 模型中的部门结构
Table 1 Sectorial structure in Xiamen-2008Tra

部门	子部门	终端利用	设备/燃料类型
公共交通		快速公交	柴油、CNG ^a 、电力
		普通公交	柴油、天然气、电力
	私家车	汽油车	汽油
		油电混合动力车 ^b	汽油
旅客运输	出租车	CNG 汽车	CNG
		电动车	电力
		汽油车	汽油
	政府和租赁用车	LPG 汽车	LPG ^c
		CNG 汽车	CNG
		电动车	电力
货物运输	摩托车	两轮摩托车	汽油
	卡车	柴油车	柴油

注: a CNG 为 Compressed natural gas 缩写, 为压缩天然气; b 文中混合动力车电能不需要外部输入; c LPG 为 Liquefied petroleum gas 缩写, 即液化石油气。

2.3 情景设定

2009-2030 年为情景分析时间, 首先假设在该时间段内厦门市经济发展会继续保持一个较高的态势; 由于国家各种严格的控制政策, 各种燃料价格不会受到国际能源价格的波动而继续保持不变。为了研究各种政策和技术措施对厦门市交通能源消费量和环境排放的影响, 我们设定了两种情景: 基准情景和最佳情景。基准情景作为各种控制情景的参照, 以便检验各种政策的效果。

2.3.1 基准情景

基准情景的核心假设就是情景时间内厦门市交通部门不会采用任何措施来减少能源消费量和各种污染物排放量, 同时在 2008 年以前已经采取的措施也会不予考虑。实际上, 基准情景可以看成是厦门市政府对交通部门不作为的情况下能源消费和环境排放的一个参考结果, 而不仅仅是预测。

因此, 基准情景下厦门市机动车总量在情景设计

时间内仍会高速增加。私家车和摩托车方面,由于政府没有相应的限制措施,其数量仍会保持一个较高的水平,但其年均增长率随着总量的递增会逐渐降低。公共交通和出租车方面,参考厦门市各种规划,其客运比例同 2008 年保持不变。政府用车和租赁用车方面随着经济和人口的增长也会有大幅增长,假设和私家车增幅相同。货运方面,城市的大幅度扩张、能源运输和后勤保障需求的增加等都导致了城市货运的大幅增加,因此货运周转量方面也增速较快并且也随着经济总量的增大而降低。

2.3.2 最佳情景

最佳情景的设置主要根据厦门市现有交通治理措施,同时参考相关文献中适合厦门未来实施的其他措施,共设置了五个子情景:私家车控制情景、燃料经济性调整情景、新能源车推广情景、燃料税情景和生物燃料推广情景。其中具体数据的定量化主要根据相关文献、国家到厦门市等各级政府近些年已经实施的各种交通政策、各级交通规划里面提到的即将实施的措施和重点发展领域以及符合厦门市本地交通部门未来发展的一些趋势等。具体最佳情景的定量化见表 2。

表 2 最佳情景的定量化
Table 2 Quantification for best case scenario

情景 ^a	子情景	情景内容	参考依据
最佳情景	机动车控制	私家车、摩托车数量同非常规情景减少 20%;公共交通 2020 占客运比例达到 30% 2030 年达到 40% 私家车年均行驶里程在 2030 年同比 2008 年减少 10%。	《厦门市城市总体规划 2004-2020》、《厦门市低碳城市总体规划纲要》、Yan ^[21] 、Dhakal ^[22] 。
	燃料经济性调整	所有车型年均行驶里程同比提高 12%;所有车型燃料经济性提高 40%。	Yan ^[21] 、Wang ^[23] 、Shabbir ^[12] 、朱松丽 ^[24]
	新能源车推广	公共交通方面新能源车达到 60% 私家车、政府用车和租赁用车 2030 年达到 30% 新能源车中油电混合、CNG、电动等车型比例相等。	厦门市节能公共服务网 ^[25] 、Yan ^[21] 、Dhakal ^[22] 、朱松丽 ^[24] 。
	燃料税	私家车、政府和租赁车辆中的汽油车年均行驶里程下降 10% 除电动车外,所有车燃料经济性提高 10%;公交和出租车新能源车车型比例达到 30% 私家车和其他车辆比例达到 15%;各种新能源车比例相等。	Yan ^[21] 、朱松丽 ^[24]
	生物燃料推广 ^b	生物能源 E10 代替汽油使用量达到 70% B20 在公交代替普通柴油达到 30% 柴油货车达到 30%。	Yan ^[21] 、Hu ^[25] 、庄幸 ^[26]

注 a 表中除指定外 均为 2030 年达到数值 b 本文中所涉及生物燃料包括 E10 和 B20^[25-26]。E10 为燃料乙醇和汽油体积比 1:9 的混合燃料 B20 为普通柴油中混入 20%体积的生物柴油燃料。

3 计算结果与分析

3.1 能源消费

基准情景下厦门市交通部门能源消费量在 2030 年将会达到 307.07 万 t 标准油,约为 2008 年的 3.5 倍,年均增速达到了 6%。如图 2 所示,各种控制措施的实施有效的抑制了交通能源的增长速度,在最佳情景下,交通能源消费量从 2008 年的 85.66 万 t 标油增长到 2030 年的 196.27 万 t 标油,年均增速仅为 3.8%,比基准情景节能 36.08%。同时,随着新能源车中的电动车和 CNG 汽车的推广,电力和天然气开始成为厦门市交通能源中的一部分,到 2030 年电力和天然气约占总能源消费量的 10%。厦门市交通部门节能潜力及各子情景的节能贡献率如表 3 所示。从结果可知,随着最佳情景的各种措施的深入实施,交通部门节能的潜力逐渐加大。子情景贡献率方面,私家车控制情景的贡献率最大,年均达到 30%以上。其次为能源税和燃料经济性调整情景,节能效果也都较好。

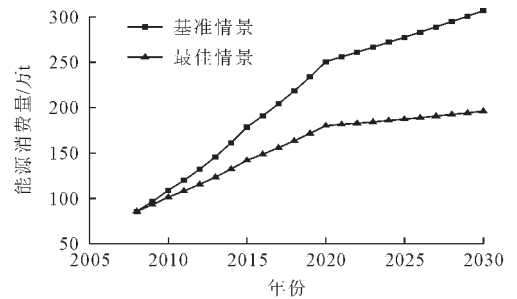


图 2 2008-2030 年厦门市交通部门不同情景下能源消费量
Fig.2 Energy consumption in the transport sector of Xiamen City under different scenarios, 2008-2030

表 3 厦门交通部门节能潜力及各子情景节能贡献率
Table 3 Reduction potentials of energy consumption in Xiamen's transport sector and the contribution rate of each sub scenario

年份	2010	2015	2020	2030
最佳情景节能值/万 t	7.43	36.57	70.29	110.16
各子情景贡献率/%				
机动车控制情景	48.82	46.40	41.71	32.82
燃料经济性调整情景	14.35	15.47	17.54	20.85
新能源车推广情景	15.52	14.84	13.89	14.65
燃料税情景	19.16	20.71	23.72	27.79
生物燃料推广情景	2.14	2.58	3.14	3.89

3.2 大气污染物排放

图 3 展示了基准情景和最佳情景下 CO₂、SO₂、NO_x 和 PM₁₀ 的排放情况。基准情景下各种污染物环境排放量增长迅速,2030 年 CO₂、SO₂、NO_x 和 PM₁₀ 的排放量分别达到了 925.88 万 t、1.7 万 t、5.02 万 t 和 1.18 万 t,是 2008 年的 3.57 倍、2.66 倍、3.39 倍和 3.19

倍。最佳情景下 2030 年 CO₂、SO₂、NO_x 和 PM₁₀ 的排放量仅为 551.24 万 t、0.9 万 t、3.75 万 t 和 0.43 万 t,同比基准情景下减少了 40.46%、47.06%、32.07%和 44.91%。由此可见最佳情景下污染物减排迅速。

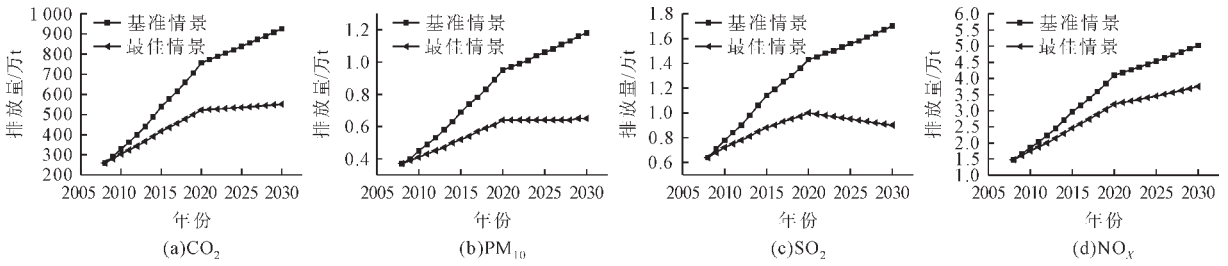


图3 基准情景和最佳情景下各种污染物的排放量
Fig.3 Emissions of pollutants under BAU and BC scenario

各子情景的污染物减排效果不同,表 4 展示了各种污染物在私家车控制等五种子情景下的减排效果。CO₂ 排放方面,在 2030 年机动车控制、燃料经济性调整、新能源车推广、燃料税和生物燃料推广的减排率分别为 21.80%、13.85%、13.67%、20.19%和 5.07%,其中私家车控制效果最好。SO₂ 排放方面,生物燃料推广减排效果最好,到 2030 年减排率达到 23.53%,其余除新能源车推广情景外,剩余各子情景减排率差别不大,都在 10%以上。NO_x 排放方面,生物燃料推广减排效果最好,年均减排率为 16.80%,其次私家车控制子情景,剩余各种措施差别不大。PM₁₀ 排放方面,减排率最大的为生物燃料推广子情景,在 2030 年达到了 32.20%,紧随其后的私家车控制减排率也超过了 25%。因此综合来看,各子情景中私家车控制子情景在污染物减排中效果最好,紧随其后的为燃料税和生物燃料推广子情景,值得注意的是生物燃料推广在 CO₂ 减排方面没有显著效果。

4 讨论与结论

最早比较全面的利用 LEAP 模型进行交通部门模拟研究的在 2005 年的尼泊尔,该研究以 2005 年为基准年,2025 年为模拟结束年份。研究表明,同基准情景相比,各种可选情景能够降低 15%~20%的能源消费量和污染物排放量^[10]。同样,文章中以 2008 年作为基准年并且持续预测到 2030 年。能源消费量方面,2030 年基准情景和最佳情景下厦门市能源消费量分别为 307.07 万 t 标准油和 196.91 万 t 标准油,最佳情景下节能 35.87%。环境排放方面,2030 年最佳情景同比基准情景 CO₂、SO₂、NO_x 和 PM₁₀ 的排放量分别减少了 40.46%、47.06%、32.07%和 44.91%,仅为 551.24 万 t、0.9 万 t、3.75 万 t 和 0.43 万 t。

综合来看,五种节能减排措施中,私家车控制节能减排效果最好。先前类似研究也得出了相似的结论,在印度德里通过增加公交出行来减少居民乘坐小汽车出行的比例,结果表明从 1990~2010 年该情景能够减少 17%的能源需求量和 19%的污染物排放量^[27]。此外,Shabbir 等采用 LEAP 模型对巴基斯坦的

表 4 不同子情景下 CO₂、SO₂、NO_x 和 PM₁₀ 的减排比较
Table 4 Comparison of different sub scenarios for CO₂, SO₂, NO_x and PM₁₀ reduction

情景	各污染物减排分析结果			
	2010	2015	2020	2030
CO ₂ 子情景减排率/%				
机动车控制情景	4.17	13.06	17.86	21.80
燃料经济性调整情景	1.23	4.37	7.54	13.85
新能源车推广情景	1.92	5.93	8.37	13.67
燃料税情景	1.84	6.45	11.19	20.19
生物燃料推广情景	0.35	1.45	2.73	5.07
SO ₂ 子情景减排率/%				
机动车控制情景	2.56	8.77	9.09	14.12
燃料经济性调整情景	1.28	4.39	7.69	14.12
新能源车推广情景	1.28	1.75	4.20	6.47
燃料税情景	1.28	4.39	7.69	14.12
生物燃料推广情景	2.56	8.77	13.29	23.53
NO _x 子情景减排率/%				
机动车控制情景	3.61	11.83	15.51	21.99
燃料经济性调整情景	1.30	4.58	7.72	14.23
新能源车推广情景	2.89	9.16	11.62	16.81
燃料税情景	1.73	5.92	10.25	18.64
生物燃料推广情景	3.61	11.16	17.60	30.22
PM ₁₀ 子情景减排率/%				
机动车控制情景	4.44	13.04	18.95	26.27
燃料经济性调整情景	2.22	4.35	7.37	13.56
新能源车推广情景	4.44	8.70	10.53	16.10
燃料税情景	2.22	5.80	10.53	18.64
生物燃料推广情景	4.44	10.14	17.89	32.20

拉瓦尔品第和伊斯兰堡城市交通部门从 2000~2030 年进行了模拟,其中控制私家车数量的公共交通情景节能减排效果最好,到 2030 年能够减少 19%~25%的能源消费量和污染物排放量^[12]。而本研究中,私家车控制情景在预测年限内节能贡献率年均达到 32%,四种污染物环境减排量随着措施实施年限的增长而增加,到 2030 年除 SO₂ 减排率为 14%外,其他 CO₂、NO_x 和 PM₁₀ 均在 20%以上,在各个节能减排措施当中仍然表现最好。

厦门市是一个能源相当匮乏的城市,自给率不足 1%,能源对外依赖性过大^[29]。如果对交通部门不采取

任何节能减排措施的话,在 2030 年将消耗 196.27 万 t 标油,CO₂、SO₂、NO_x 和 PM₁₀ 的排放量分别达到了 925.88 万 t、1.7 万 t、5.02 万 t 和 1.18 万 t,这势必会给厦门市能源供给和当地环境造成巨大的压力,因此交通节能减排对于厦门市的可持续发展有着重要意义。

目前厦门市已经采取的政策主要有新能源车的推广,如推行电动公交车,加入新能源车应用示范城市以及鼓励居民购买新能源车等,并且已经小有成效^[16-18]。此外,厦门市还修建了大运量的快速公交系统 BRT (Bus rapid transit),其在一定程度上也缓解了厦门市的交通压力^[29]。根据分析可知私家车控制措施在各项节能减排子情景中表现最好,这也同先前亚洲一些城市交通部门能源研究结果相似^[1227],而且新加坡、香港等地采取私家车控制措施已经取得了不错的效果^[30],因此厦门市在目前应着力控制私家车整体数量,加大公共交通设施投资等。其余四项措施尽管在近期内效果不如私家车控制,但却是政府应该在长期内加以考虑并发展的对象。如在发达国家,燃料经济性法规被认为是政府控制机动车排放最有效的手段之一^[31]。综上所述,厦门市目前应该加大私家车控制力度,同时在燃料经济性提高、新能源车推广、燃料税以及生物燃料方面加以扶持,这样才更有效地抑制交通能源消费和污染物排放的迅速增长。不过本文所分析的节能减排政策措施均未考虑实施成本,有研究表明高额的实施成本为实施交通控制政策的主要障碍之一^[21],因此为提高政策措施的可操作性,相关研究有待深入探讨。

[参考文献]

- [1] Fuglestvedt J, Berntsen T, Myhre G, et al. Climate forcing from the transport sectors[J]. PANS, 2008, 105(2): 454-458.
- [2] 新华社. 2009 年中国汽车产销量首次跃居世界第一[EB/OL]. (2010-1-11)[2010-9-27]. http://news.xinhuanet.com/auto/2010-01/11/content_12791236.htm. Xinhua News Agency. China has reached to number 1 in vehicle production and sales[EB/OL]. (2010-1-11)[2010-9-27]. http://news.xinhuanet.com/auto/2010-01/11/content_12791236.htm. (in Chinese)
- [3] 沈俊. 交通运输业节能减排国际管理手段及启示[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(4): 137-140. Shen Jun. Managerial inspiration from international measures of energy conservation and emission reduction of transportation industry[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(4): 137-140. (in Chinese)
- [4] 孙艳军, 陈新庚, 包芸, 等. 广州市交通环境承载力变化的相关性分析[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(8): 45-47. Sun Yan-jun, Chen Xin-geng, Bao Yun, et al. Regression analysis of traffic environmental carrying capacity change in Guangzhou[J]. Environmental Science & Technology, 2006, 29(8): 45-47. (in Chinese)
- [5] 成官文, 梁斌, 梁凌, 等. 柳州市区交通与机动车污染排放研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(7): 103-106. Cheng Guan-wen, Liang Bin, Liang Ling, et al. Urban traffic and motor vehicle pollution emission in Liuzhou City[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32 (7): 103-106. (in Chinese)
- [6] Ghanadan R, Koomey G J. Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California[J]. Energy Policy, 2005, 33(9): 1117-1142.
- [7] Lin J Y, Cao B, Cui S H, et al. Evaluating the effectiveness of urban energy conservation and GHG mitigation measures: the case of Xiamen City, China[J]. Energy Policy, 2010, 38 (9): 5123-5132.
- [8] Rashmi K, Dahiy P R, Garg P H. Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi[J]. Energy Policy, 2007, 35(12): 6195-6211.
- [9] Islas J, Manzini F, Masera O. A prospective study of bioenergy use in Mexico[J]. Energy, 2007, 32(12): 2306-2320.
- [10] Dhakal S. Urban transportation and environment in Kathmandu Valley, Nepal [EB/OL]. (2008-9-30)[2010-9-27]. http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/745/attach/iges_start_final_reprot.pdf.
- [11] Dhakal S. Implications of transportation policies on energy and environment in Kathmandu Valley, Nepal[J]. Energy Policy, 2003, 31(14): 1493-1507.
- [12] Shabbir R, Ahmad S S. Monitoring urban transport air pollution and energy demand in Rawalpindi and Islamabad using leap model[J]. Energy, 2010, 35(5): 2323-2332.
- [13] 钟良, 李晓丹, 赵洲洋. 北京市城市交通节能现状及建议[J]. 中国能源, 2008, (11) 39-41. Zhong Liang, Li Xiao-dan, Zhao Zhou-yang. Current situation and suggestions of energy saving in Beijing urban transportation[J]. Energy of China, 2008, (11): 39-41. (in Chinese)
- [14] 厦门市统计局, 国家统计局厦门调查队. 厦门经济特区年鉴 2009[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009. Xiamen City Bureau of Statistics, Investigation Team of National Bureau of Xiamen. Yearbook of Xiamen Special Economic Zone 2009[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2009. (in Chinese)
- [15] 厦门市环保局. 2008 年厦门市环境质量状况公报[EB/OL]. (2009-6-5)[2010-9-27]. <http://www.xmepb.gov.cn/sj/ContentView.aspx?CmsList=127&CmsID=81>. Xiamen Environmental Protection Bureau. 2008 Xiamen Environmental Quality Bulletin[EB/OL]. (2009-6-5)[2010-9-27]. <http://www.xmepb.gov.cn/sj/ContentView.aspx?CmsList=127&CmsID=81>. (in Chinese)
- [16] 厦门节能中心. 首批电动公交车近期上路[EB/OL]. (2010-8-6)[2010-9-27]. <http://xmec.xm.gov.cn/2010-8/20108690702.htm>. Xiamen Energy Saving Centre. The first electric buses will be

- operating lastly[EB/OL]. (2010-8-6)[2010-9-27]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/2010-8/20108690702.htm>. (in Chinese)
- [17] 厦门节能中心. 厦门列入新能源车补贴试点居民买电动汽车最高补贴 6 万[EB/OL]. (2010-6-4)[2010-9-27]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/2010-6/20106482805.htm>.
Xiamen Energy Saving Centre. Xiamen was placed on the pilot of subsidies for new energy vehicles and residents could get highest subsidies 60 000 for buying electric cars [EB/OL]. (2010-6-4)[2010-9-27]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/2010-6/20106482805.htm>. (in Chinese)
- [18] 厦门节能中心. 我市被国家授予第二批“十城千辆”节能与新能源汽车应用示范城市[EB/OL]. (2010-6-21)[2010-9-27]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/2010-6/2010612173011.htm>.
Xiamen Energy Saving Centre. Xiamen was granted energy saving and new energy vehicle demonstration cities by states [EB/OL].(2010-6-21)[2010-9-27].<http://xmecc.xmsme.gov.cn/2010-6/2010612173011.htm>. (in Chinese)
- [19] 厦门节能中心. 厦门今年建省内首座电动汽车充电站 [EB/OL]. (2010-3-10)[2010-9-27]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/2010-3/2010310104701.htm>.
Xiamen Energy Saving Centre. Xiamen will build the first electric car charging stations in Fujian province [EB/OL]. (2010-3-10)[2010-9-27].<http://xmecc.xmsme.gov.cn/2010-3/2010310104701.htm>.(in Chinese)
- [20] Schafer A. The global demand for motorized mobility [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 1998, 32(6): 455-477.
- [21] Yan X Y, Crookes J R. Reduction potentials of energy demand and gas emissions in China's road transport sector [J]. Energy Policy, 2009, 37(2): 658-668.
- [22] 厦门市节能中心. 厦门市节能公共服务网[EB/OL]. (2008-1-1)[2010-9-27]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/>.
Xiamen Energy Saving Centre. Energy saving public service network in Xiamen[EB/OL]. (2008-1-1)[2010-9-27]. <http://xmecc.xmsme.gov.cn/>.(in Chinese)
- [23] Wang C, Cai W J, Lu X D, et al. CO₂ mitigation scenarios in China's road transport sector[J]. Energy Conversion and Management, 2007, 48(7): 2110-2118
- [24] 朱松丽, 姜克隽. 北京市城市交通能源需求和环境排放: 1998-2020[EB/OL]. (2005-9-14)[2010-9-27]. <http://www.eri.org.cn/manage/englishfile/78-2005-9-14-788833.pdf>.
Zhu Song-li, Jiang Ke-juan. Energy Demand and Environmental Emission in the Urban Transport Sector: a Case of Beijing City[EB/OL].(2005-9-14)[2010-9-27]. <http://www.eri.org.cn/manage/englishfile/78-2005-9-14-788833.pdf>. (in Chinese)
- [25] Hu Z H, Tan P Q, Yan X Y, et al. Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China[J]. Energy, 2008, 33(11): 1654-1658.
- [26] 庄幸, 姜克隽. 生物燃料在我国公路交通中替代潜力分析 [J]. 中外能源, 2007, (2) 23-28.
Zhuang Xing, Jiang Ke-juan. Study on biofuel potential as alternative automotive fuel in domestic road transportation [J]. Sino-Global Energy, 2007, (2): 23-28. (in Chinese)
- [27] Bose R K. Energy demand and environmental implications in urban transport—Case of Delhi[J]. Energy Policy, 1996, 30(3): 403-412.
- [28] 徐全红. 厦门能源战略研究[J]. 市场论坛, 2008, (6) : 22-24.
Xu Quan-hong. The analysis of energy strategy in Xiamen [J]. Market Forum, 2008, (6): 22-24. (in Chinese)
- [29] Cui S H, Niu B H, Wang W, et al. Carbon footprint analysis of the bus rapid transit (brt) system: a case study of Xiamen City[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2010, 17(4): 329-337.
- [30] Cameron I, Lyons J T, Kenworthy R J. Trends in vehicle kilometres of travel in world cities, 1960-1990: underlying drivers and policy responses[J]. Transport Policy, 2004, 1(3): 287-298.
- [31] 网易商业报道. 能耗降低 20% , 冲击三大领域[EB/OL]. (2006-3-16)[2010-10-14].<http://biz.163.com/special/00021QOU/enjogdp.html>.
NetEase Business Report. 20% reduction of energy consumption will attack three fields [EB/OL]. (2006-3-16)[2010-10-14].<http://biz.163.com/special/00021QOU/enjogdp.html>. (in Chinese)