

文章编号:1671-1637(2013)03-0094-07

城市交通能耗动态情景组合分解模型

孙启鹏¹, 贾诗炜², 朱磊¹, 徐成¹

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 北京邮电大学 理学院, 北京 100876)

摘要:分析了现有的城市交通结构,以机动车保有量、百公里油耗与年行驶里程为影响因素,引入影响因素的变化率作为参数,运用迪氏指数分解模型,建立了城市交通能耗动态情景组合分解模型。根据3个影响因素的变化情况,设置了12种情景组合模式,分析了不同情景组合模式下的城市交通能耗变化趋势。分析结果表明:最大总能耗增量为174.92万吨标准煤,3个影响因素的能耗贡献率分别为91.79%、-9.57%、17.78%,最小总能耗增量为55.06万吨标准煤,3个影响因素的能耗贡献率分别为128.10%、-52.34%、24.24%;按机动车保有量增速将12种情景模式分为低速增长、中速增长、高速增长3类方案,3类方案能耗增量的最大值分别为87.02、130.97、174.92万吨标准煤,最小值分别为55.06、94.08、134.55万吨标准煤。

关键词:城市交通能耗;LMDI模型;动态情景组合;能耗贡献;机动车保有量;百公里油耗;年行驶里程

中图分类号:U491

文献标志码:A

Dynamic situation combination decomposition model of urban traffic energy consumption

SUN Qi-peng¹, JIA Shi-wei², ZHU Lei¹, XU Cheng¹

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. School of Sciences, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: The existing urban traffic structure was analyzed. The motor vehicle population, 100-kilometer fuel consumption and annual driving distance were taken as influence factors, the rate of influence factor was introduced as parameter, and the dynamic situation combination decomposition model of urban traffic energy consumption was set up by using logarithmic mean Divisia index (LMDI) model. Based on the change conditions of 3 influence factors, 12 situation combination modes were designed, and the change trends of urban traffic energy consumption under different situation combination modes were analyzed. Analysis result shows that the maximum increase amount of total energy consumption is 1.7492×10^6 t standard coal, the energy consumption rates of 3 influence factors are 91.79%, -9.57%, 17.78% respectively. The minimum increase amount of total energy consumption is 5.506×10^5 t standard coal, the energy consumption rates of 3 influence factors are 128.10%, -52.34%, 24.24% respectively. Based on the increase speed of motor vehicle population, the 12 situation combination modes can be divided into 3 schemes such as low-speed increase scheme, middle-speed increase scheme and high-speed increase scheme. The maximum increase amounts of energy consumption for 3 schemes are 8.702×10^5 , 1.3097×10^6 , 1.7492×10^6 t standard coal, the minimum values are

收稿日期:2012-11-22

基金项目:国家自然科学基金项目(50808022);教育部人文社会科学研究项目(10YJC630216)

作者简介:孙启鹏(1976-),男,陕西安康人,长安大学副教授,工学博士,从事低碳交通与综合交通系统优化研究。

5.506×10^5 , 9.408×10^5 , $1.345 5 \times 10^6$ t standard coal. 3 tabs, 5 figs, 15 refs.

Key words: urban traffic energy consumption; LMDI model; dynamic situation combination; energy consumption contribution; motor vehicle population; 100-kilometer fuel consumption; annual driving distance

Author resume: SUN Qi-peng(1976-), male, associate professor, PhD, +86-29-62630070, sunqip2003@163.com.

0 引言

不断增加的城市交通能耗已经成为各界十分关注的焦点和热点^[1],相关研究可以分成6类。第1类是城市低碳交通基础理论的研究;第2类是国外城市低碳交通发展的经验借鉴;第3类是结合各大中城市实际情况,定性解析其能耗影响因素,提出低碳交通发展对策;第4类是通过城市交通能耗的统计分析或定量模型计算,探寻能耗影响因素和发展重点;第5类是从宏观层面探讨能耗影响因素和城市低碳交通发展模式;第6类是通过分解能耗影响因素,计算各自贡献率,提出发展策略。

由于城市交通能耗受机动车数量、交通结构、行驶里程、燃料经济性等多因素影响,各因素对城市交通能耗变化的影响存在差异,即贡献率不同,因此,第6类能耗影响因子及其测算方法的研究成为当前的热点。这类研究主要是通过分解相关因素对城市交通能耗的综合影响,并识别影响交通能耗的主导因素,由此制定科学的节能措施^[2]。Zhang运用Divisia分解模型,分析了中国1980~1997年的相关数据,认为中国政府应积极利用各种手段降低单位产出的能源消耗^[3];Fan等利用适应性加权迪氏分解模型分析了中国1980~2003年的能耗因素,认为能耗结构对此影响十分重要^[4];Vinuya等采用LMDI分解模型对1990~2004年美国的能源消耗进行了因素分析^[5];Ang等运用因素分解法分析了英国、立陶宛等国家的能耗影响因素^[6-9];李政运用Laspeyres分解法分析了影响城市客运交通能耗变化的主导因素,得出不同发展阶段城市交通能耗变化具有不同的特征^[10];汪宏韬建立上海能源消费碳排放的LMDI分解模型,选取经济规模、产业结构、能源强度和产业碳排放系数4个因素,分析了1995~2005年上海三次产业能源消费变化机理^[11]。

从现有研究看,大多研究都是根据历史数据统计得到所选因素对城市交通能耗的贡献程度,对城市低碳交通政策制定有重要参考,但局限在于无法体现所选因素的未来变化趋势对城市交通能耗的影

响程度,仅仅反映了已发生的静态影响。也有少数研究通过设定城市交通发展情景来分析影响因素的未来变化趋势对能耗的影响,但主要是某单个因素的变化,如私家车数量的增幅等,无法体现多个因素共同变化对能耗的影响,而这种影响更符合城市交通能耗变化的实际状况。本文通过扩展LMDI分解模型建立能耗的交通结构分解模型,并在此基础上建立能够体现多因素未来变化趋势的城市交通能耗动态情景组合分解模型,全面分析各个因素变化趋势对城市交通能耗的贡献度,并以西安市为例进行实例验证。

1 交通结构扩展分解模型

指数分解法是城市交通能耗因素分析的常用方法,基本思想是把一个目标变量(如能源消耗)的变化分解成若干个影响因素,从而识别各个因素影响程度(即贡献率)的大小,客观确定出影响比较大的因素。在可得到数据的情况下,通过逐层分解,最终把各个影响因素对目标变量的影响区分开来。城市交通能耗因素分解有自上而下和自下而上2类方法。自上而下方法主要从宏观经济角度,反映能源消费与经济发展的关系;自下而上模型从人类生产活动过程角度,反映能源消费与生产活动技术过程的关系。自下而上方法以活动与技术变化的详细信息为基础,结果具体,易于解释,利于提出具体发展方向和对策,因此,本文选择自下而上方法分解城市交通能耗。

自下而上的能耗因素分解方法中主要有结构分解分析(Structural Decomposition Analysis, SDA)法和指数分解分析(Index Decomposition Analysis, IDA)法2种。两者相比,后者更适合时间序列的分析比较,利于政策方向的制定,因而被广泛使用。IDA法可分为Laspeyres、Divisia、Paasche、Fisher、Marshall-Edgeworth等10多种方法。其中Divisia指数分解(LMDI)模型由于不产生残差,应用便捷,结果表达具体,被认为是目前相对较优的分解方法^[7]。

本文在细分城市交通结构基础上,综合考虑各

个因素对能耗的影响,对 Kaya 恒等式进行扩展,建立城市交通能耗的交通结构 LMDI 分解扩展模型。与现有文献不同,本文 LMDI 模型考虑了城市交通结构对模型的影响。

按照自下而上方法的思路,结合文献[12-14],本文从机动化水平、运行效率、能耗经济性 3 方面,选择机动车保有量、年行驶里程、百公里油耗 3 个影响因素,并按照统计口径,将机动车分为普通机动车、出租车、常规公交 3 类。 t 目标期的城市交通总能耗 E_t 为

$$E_t = \sum_i Q_{it} S_{it} L_{it} \rho \quad (1)$$

式中: Q_{it} 为 t 目标期 i 类机动车的保有量; S_{it} 为 t 目标期 i 类机动车的百公里油耗; L_{it} 为 t 目标期 i 类机动车的年行驶里程; ρ 为燃油的折算标准煤系数。

由于 LMDI 模型中的加法分解和乘法分解是无差异的^[15],从易于理解的角度,本文利用加法分解法对式(1)进行分解。令基期的城市交通能耗总量为 E_0 ,则有

$$\Delta E_t = E_t - E_0 = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_3 \quad (2)$$

$$\Delta E_1 = \sum_i \frac{E_{it} - E_{0i}}{\ln(E_{it}) - \ln(E_{0i})} \ln\left(\frac{Q_{it}}{Q_{0i}}\right) \quad (3)$$

$$\Delta E_2 = \sum_i \frac{E_{it} - E_{0i}}{\ln(E_{it}) - \ln(E_{0i})} \ln\left(\frac{S_{it}}{S_{0i}}\right) \quad (4)$$

$$\Delta E_3 = \sum_i \frac{E_{it} - E_{0i}}{\ln(E_{it}) - \ln(E_{0i})} \ln\left(\frac{L_{it}}{L_{0i}}\right) \quad (5)$$

式中: ΔE_t 为基期到 t 目标期的城市交通总能耗变化量; ΔE_1 为机动车保有量变化引起的能耗变化量; ΔE_2 为百公里油耗变化引起的能耗变化量; ΔE_3 为年行驶里程变化引起的能耗变化量; E_{0i} 、 Q_{0i} 、 S_{0i} 、 L_{0i} 分别为基期的 i 类机动车总能耗、保有量、百公里油耗、年行驶里程。

机动车保有量、百公里油耗、年行驶里程 3 个影响因素对城市交通总能耗变化的贡献率 C_1 、 C_2 、 C_3 分别为

$$C_1 = \frac{\Delta E_1}{\Delta E_t} \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{\Delta E_2}{\Delta E_t} \quad (7)$$

$$C_3 = \frac{\Delta E_3}{\Delta E_t} \quad (8)$$

2 动态情景组合扩展分解模型

式(2)~(5)主要用于分析现有统计年份机动车保有量、年行驶里程、百公里油耗 3 个影响因素对城市交通能耗的影响。引入 3 个影响因素的变化率参

数可以分析未来 3 个影响因素的变化趋势对城市交通能耗的影响,且不影响 LMDI 模型差分方程的数理表达。现有文献中的能耗 LMDI 分解模型主要是测算各个因素的单独变化情况对城市交通能耗的影响,据此制定的能耗控制措施不可能实现能耗最大程度的减低。现实中城市交通能耗的变化往往是多个因素共同变化引起的,而本文模型将为多个因素的共同变化结果(即多因素组合)对测算城市交通能耗影响提供方法。

令 $t+n$ 目标期 i 类机动车的保有量变化率、百公里油耗变化率、年行驶里程变化率分别为 α_i 、 β_i 、 γ_i ,根据式(1)~(5),有

$$\Delta E_{1,t+n} = \sum_i \frac{E_{it} [(1+\alpha_i)(1+\beta_i)(1+\gamma_i) - 1]}{\ln[(1+\alpha_i)(1+\beta_i)(1+\gamma_i)]} \cdot \ln(1+\alpha_i) \quad (9)$$

$$\Delta E_{2,t+n} = \sum_i \frac{E_{it} [(1+\alpha_i)(1+\beta_i)(1+\gamma_i) - 1]}{\ln[(1+\alpha_i)(1+\beta_i)(1+\gamma_i)]} \cdot \ln(1+\beta_i) \quad (10)$$

$$\Delta E_{3,t+n} = \sum_i \frac{E_{it} [(1+\alpha_i)(1+\beta_i)(1+\gamma_i) - 1]}{\ln[(1+\alpha_i)(1+\beta_i)(1+\gamma_i)]} \cdot \ln(1+\gamma_i) \quad (11)$$

$$\Delta E_{t+n} = \Delta E_{1,t+n} + \Delta E_{2,t+n} + \Delta E_{3,t+n} = \sum_i E_{it} [(1+\alpha_i)(1+\beta_i)(1+\gamma_i) - 1] \quad (12)$$

式中: $\Delta E_{1,t+n}$ 为 $t+n$ 目标期机动车保有量变化对能耗的贡献量; $\Delta E_{2,t+n}$ 为 $t+n$ 目标期百公里油耗变化对能耗的贡献量; $\Delta E_{3,t+n}$ 为 $t+n$ 目标期年行驶里程变化对能耗的贡献量; ΔE_{t+n} 为 $t+n$ 目标期城市交通总能耗的变化量。

3 计算结果分析

3.1 数据来源与处理

本文基于西安市的实际状况进行实证研究,数据包括不同类型机动车的保有量、百公里油耗和年行驶里程,数据来源于《陕西省统计年鉴》、《西安市统计年鉴》,部分数据和参数来源于其他文献。机动车类型分为普通机动车、出租车、常规公交 3 类。参考政府间气候变化专门委员会(IPCC)的计算方法,燃油的折算标准煤系数 ρ 为 $1.16 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

3.2 影响因素分析

以 2006 年为基期,根据式(3)~(5)可得机动车保有量引起的能耗变化量 ΔE_1 、百公里油耗引起的能耗变化量 ΔE_2 、年行驶里程引起的能耗变化量 ΔE_3 和总能耗变化量 ΔE_t 的逐年变化情况,计算结果见表 1,单位均为万吨标准煤。从表 1 可以看出,

2006~2010年,机动车保有量的增加使城市交通能耗增加了125.80万吨标准煤,年行驶里程的增加使能耗增加了14.58万吨标准煤,百公里油耗的增加使能耗减少了32.00万吨标准煤,城市交通总能耗增长了108.38万吨标准煤。

表1 三个影响因素的能耗贡献量

Tab. 1 Energy consumption contribution amounts of three influence factors

统计年份	总能耗 变化量	保有量的 能耗贡献量	百公里油耗的 能耗贡献量	年行驶里程的 能耗贡献量
2006~2007 (时间段1)	19.98	21.35	-4.47	3.09
2007~2008 (时间段2)	16.70	18.36	-5.10	3.44
2008~2009 (时间段3)	29.08	40.37	-14.79	3.50
2009~2010 (时间段4)	42.62	45.72	-7.64	4.55

3.2.1 贡献量变化趋势分析

2006~2010年,3个影响因素都在不同程度上驱动了城市交通能耗的变化,但在不同时段又表现出一定的特征差异。机动车保有量增长驱动了城市交通能耗增长,百公里油耗减少对抑制能耗增长起到了积极作用,而年行驶里程增长对能耗增加的影响不明显。

3.2.2 各个影响因素与总能耗的增速分析

图1为3个影响因素对应的3个交通方式的变化速度与总能耗增长速度的趋势对比。从图1(a)可以看出,普通机动车保有量的增速一直高于总能耗的增速,而常规公交和出租车保有量的增速低于总能耗增速,说明普通机动车数量的增加是能耗增加的主要因素,总的机动车保有量不变的情况下,常规公交车和出租车数量所占比例的提高,能够有效减缓总能耗的增加;从图1(b)、(c)可以看出,3种交通方式的变化速度较为平缓,因对总能耗增速的影响并不明显,未来还有较大的节能空间可以挖掘。

图2为3个交通方式对应的3个影响因素的变化速度与3个交通方式能耗增长速度的趋势对比,从中可以看出,出租车、常规公交、普通机动车3种交通方式的保有量增速都处在所有影响因素增速变化曲线的上方,且与各方式能耗变化率曲线基本一致,是主要影响因素,这与图1结论相同。在图2(b)中,保有量增速曲线在能耗增速曲线下方,说明百公里油耗和年行驶里程对能耗增长有重要贡献。在图2(c)中,

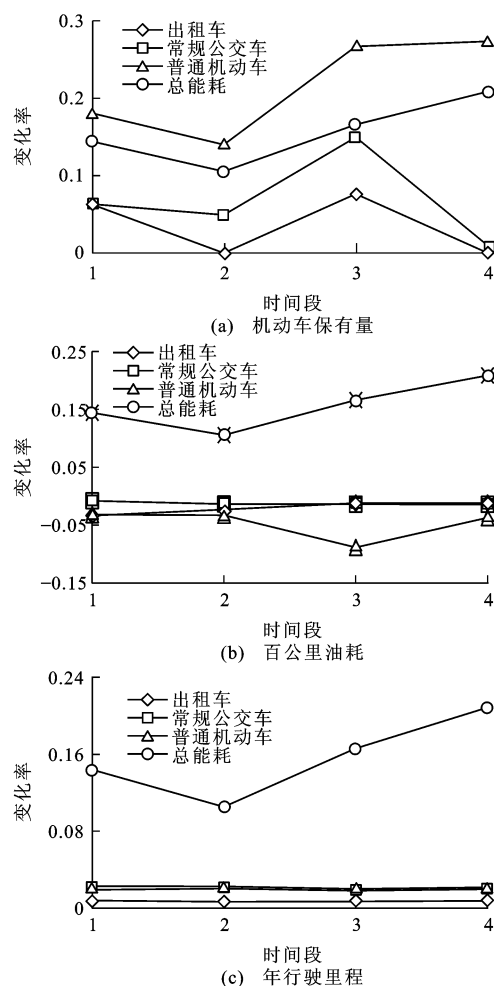


图1 三个影响因素的能耗变化率

Fig. 1 Energy consumption rates of three influence factors

时间段2~3的保有量增速明显高于能耗增速,同时百公里油耗的下降速度也明显增大,这说明,在保有量不断增加的情况下,百公里油耗的下降也能有效减缓总能耗的增加。

图3为普通机动车保有量、百公里油耗、年行驶里程的增速与能耗贡献量的趋势对比,从中可以看出,机动车保有量、百公里油耗的变化速度与各自对应的能耗增量变化速度基本一致,说明降低这2个影响因素的增长速度可以明显降低能源消耗量。年行驶里程的增速变化对能耗增量变化的影响波动不大,但一直处于正增长状态。说明只要年行驶里程处于增长状态,它对能耗的贡献量虽然不会明显变化,但会持续增加。

从图1~3可以看出,3个影响因素的变化与总能耗增量、各自能耗贡献量的变化明显不同步,贡献程度也有较大差异。要寻求最低碳节能的城市交通状态,需要对3个影响因素的不同情景组合状况加以考察。

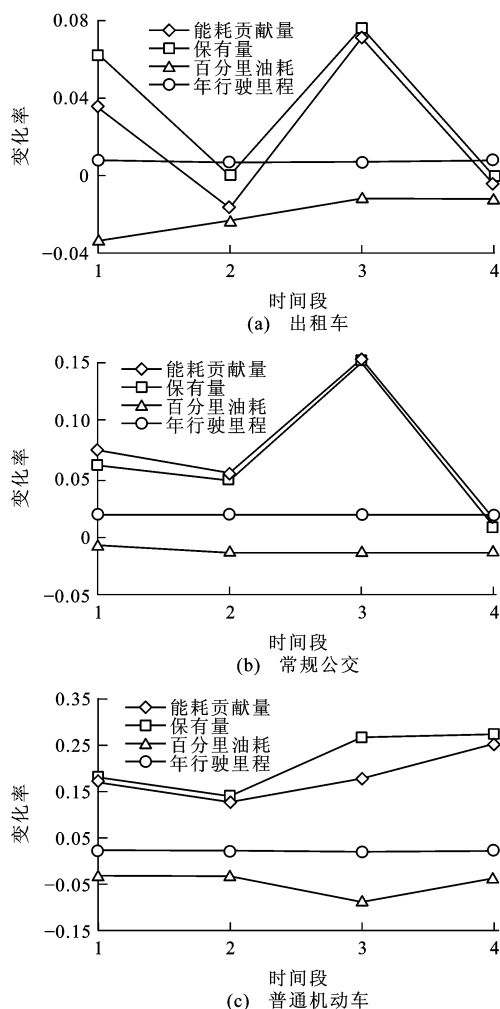


图 2 三种交通方式对能耗的影响

Fig. 2 Influence of three traffic modes on energy consumption

3.3 情景组合模式分析

根据陕西省和西安市的经济发展趋势,预计到 2015 年西安市出租车和公交车数量分别增长到 10 000、14 000 veh。结合其他规划目标和现有统计数据,本文对 2015 年西安市机动车保有量、百公里油耗和年行驶里程 3 个城市交通能耗影响因素的不同情景方案进行设定。设机动车保有量分为 3 种增长情景,记为 Q_α , α 取 1、2、3 表示增长率分别为 30%、50%、70%;百公里油耗分为 2 种增长情景,记为 S_β , β 取 1、2 表示增长率分别为 -5% 和 -10%;年行驶里程分为 2 种增长情景,记为 L_γ , γ 取 1、2 表示增长率分别为 5% 和 10%。通过对 3 个影响因素不同增长情景方案进行组合,则可得 2015 年西安市城市交通能耗影响因素的 12 种情景组合模式。

根据式(9)~(12)可得各种情景组合模式下西安市 2015 年城市交通能耗分解结果,见表 2,单位为万吨标准煤。不同情景组合模式下 3 个影响因素的能耗贡献率计算结果见表 3。

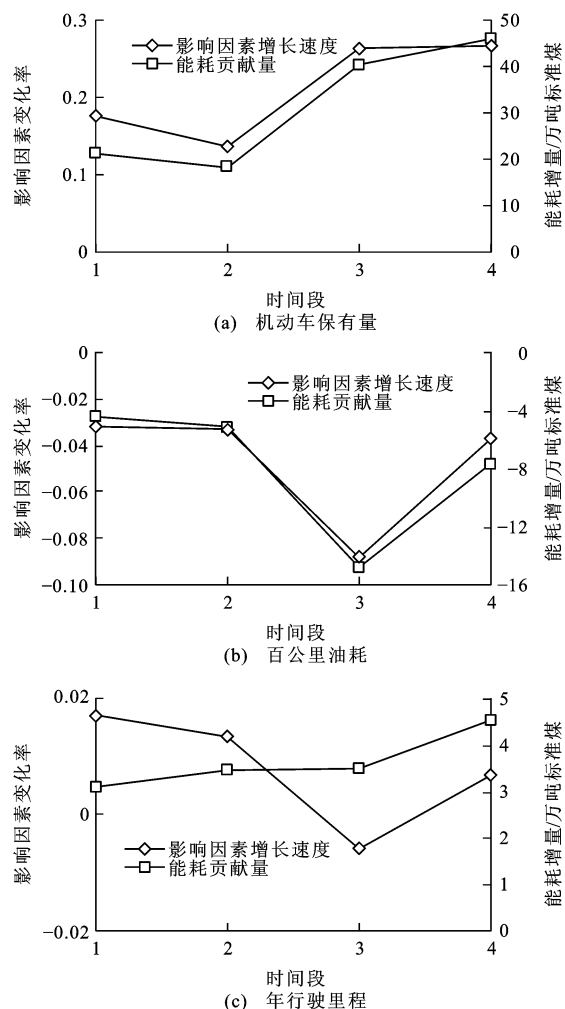


图 3 普通机动车能耗贡献量

Fig. 3 Energy consumption contribution amount of common vehicle

表 2 能耗量分解结果

Tab. 2 Devision result of energy consumption amounts

情景组合	总能耗变化量	保有量能耗贡献量	百公里油耗能耗贡献量	年行驶里程能耗贡献量	2010 年总能耗	2015 年总能耗
1	71.84	72.54	-14.43	13.73	246.98	318.82
2	87.02	74.33	-14.79	27.47	246.98	334.00
3	55.06	70.53	-28.82	13.35	246.98	302.04
4	69.44	72.26	-29.52	26.71	246.98	316.42
5	113.79	114.54	-15.40	14.64	246.98	360.77
6	130.97	117.43	-15.78	29.33	246.98	377.95
7	94.80	111.31	-30.73	14.23	246.98	341.79
8	111.08	114.08	-31.50	28.49	246.98	358.06
9	155.75	156.54	-16.32	15.53	246.98	402.73
10	174.92	160.56	-16.74	31.10	246.98	421.91
11	134.55	152.04	-32.57	15.08	246.98	381.53
12	152.72	155.90	-33.39	30.21	246.98	399.70

表3 各种情景组合模式下的能耗贡献率
Tab.3 Energy consumption rates under different situation combination modes

情景组合	保有量的贡献率	百公里油耗的贡献率	年行驶里程的贡献率
1	100.98	-20.09	19.11
2	85.42	-16.99	31.57
3	128.10	-52.34	24.24
4	104.06	-42.52	38.46
5	100.66	-13.53	12.87
6	89.66	-12.05	22.39
7	117.40	-32.42	15.01
8	102.70	-28.36	25.65
9	100.51	-10.48	9.97
10	91.79	-9.57	17.78
11	112.99	-24.20	11.21
12	102.09	-21.86	19.78

图4为12种情景组合模式下2015年城市交通能耗总量的变化趋势,从中可以看出,虽然12种情景组合模式中3个影响因素的增长率是直线变化的,而城市交通总能耗却呈波动变化,并非直线上升。可见要实现城市交通总能耗最低必须考虑多因素的组合效应。

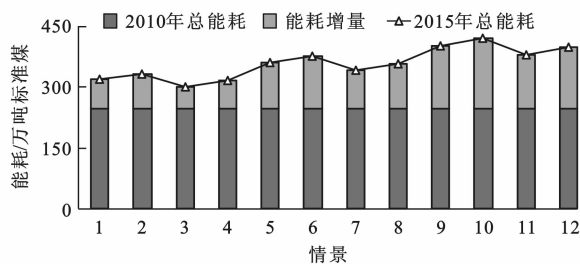


图4 能耗分布

Fig.4 Energy consumption distribution

图5为不同情景组合下3个影响因素能耗贡献率及其能耗贡献量的变化关系比较。

从3个影响因素贡献率的变化可以看出,不同影响因素随着情景组合模式变化对城市交通能耗变化的贡献率也呈波动式变化。而总体趋势上,保有量影响贡献率曲线方向基本不变,百公里油耗贡献率曲线呈上升趋势,年行驶里程贡献率曲线呈下降趋势。说明城市交通能耗增长越快,百公里油耗和年行驶里程对能耗变化贡献率越小。情景3是城市交通能耗增长最小的情景组合,总能耗增量为55.06万吨标准煤,但3个影响因素的贡献率不是同时处于最低状态。该情景组合中,百公里油耗的

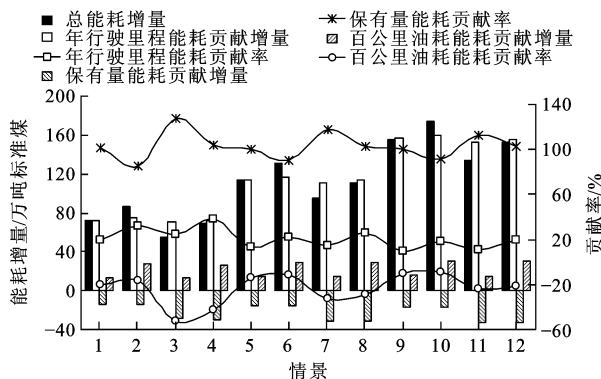


图5 三个影响因素的能耗贡献率与贡献量

Fig.5 Energy contribution rates and contribution amounts of 3 influence factors

能耗贡献率为-52.34%,为所有组合中最低;机动车保有量的能耗贡献率为128.1%,为所有组合中最高;年行驶里程的能耗贡献率为24.24%,排在所有组合的中间。情景10是城市交通能耗增长最多的情景组合,总能耗增量为174.92万吨标准煤,是情景3的3.18倍,3个影响因素的贡献率也不是同时处于最高状态。该情景组合中,百公里油耗的能耗贡献率为-9.57%,为所有组合中最高;机动车保有量的能耗贡献率为91.79%,年行驶里程的能耗贡献率为17.78%,均排在所有组合的中间。

若仅依据机动车保有量的增长速度进行情景划分,则12种情景组合可划分为3类增长方案。第1类为低速增长方案,即情景1~4;第2类为中速增长方案,即情景5~8;第3类为高速增长方案,即情景9~12。3类方案能耗变化的最高值分别为87.02、130.97、174.92万吨标准煤,最低值分别为55.06、94.08、134.55万吨标准煤。低速方案中的最高值87.02万吨标准煤(情景2)与中速方案中的最低值94.08万吨标准煤(情景7)差异并不大;中速方案中的最高值130.97万吨标准煤(情景6)与高速方案中的最低值134.55万吨标准煤(情景11)差异也不大。

综上分析,未来城市交通能耗仍将持续增长,其增长幅度将由机动车保有量、百公里油耗和年行驶里程这3个影响因素共同决定。不管那种情景模式,3个影响因素驱动的能耗贡献量和贡献率变化都不处于同步变化状态。要达到城市交通节能的目标,除了控制机动车保有量和提高能源使用效率外,更应该注重各影响因素的组合效应,在多因素组合上寻求能耗控制策略。

4 结 语

(1)城市交通能耗受多因素影响,基于LMDI的

动态情景组合模型能够更科学地计量未来多因素共同变化对城市交通能耗的贡献度。运用该模型可以为低碳城市交通体系构建提供更准确的科学依据。

(2)西安市交通能耗变化中,机动车保有量始终是最主要的影响因素;百公里油耗对能耗增长的抑制作用会随着机动车保有量增长幅度的减小而更加明显;年行驶里程对能耗增长影响不显著,但随着未来城市规模扩大导致居住区和工作区距离加大时,该因素对能耗增长将会有更加明显的驱动作用。

(3)城市交通能耗变化是多个影响因素共同变化引起的,情景组合分析表明不同因素组合中的各个影响因素能耗贡献量和贡献率变化并不处于同步变化状态。未来要达到城市交通节能的目标,应注重各个影响因素的组合效应,寻求最优的影响因素组合控制策略。为更清晰分析不同因素组合对总能耗的影响,本文在情景组合中并未考虑不同机动车保有量的增长率差异,后续将继续对此进行研究。

参 考 文 献 :

References :

- [1] 黄建中. 1980 年代以来我国特大城市居民出行特征分析[J]. 城市规划学刊, 2005(3): 71-75.
HUANG Jian-zhong. Analysis on the characteristics of resident trip in Chinese mega-cities since 1980's[J]. Urban Planning Forum, 2005(3): 71-75. (in Chinese)
- [2] 张 明, 穆海林. 基于 LMDI 分解方法的中国特大城市客运能源消耗研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(3): 483-486.
ZHANG Ming, MU Hai-lin. Research on the change of motorized passenger transport energy consumption in selected Chinese cities based on LMDI method[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, 46(3): 483-486. (in Chinese)
- [3] ZHANG Zhong-xiang. Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: an economic analysis and policy implications[J]. World Development, 2000, 28(4): 739-752.
- [4] FAN Ying, LIU Lan-cui, WU Gang, et al. Change in carbon intensity in China: empirical findings from 1980-2003[J]. Ecological Economics, 2007, 62(3/4): 683-691.
- [5] VINUYA F, DIFURIO F, SANDOVAL E. A decomposition analysis of CO₂ emissions in the United States[J]. Applied Economics Letters, 2010, 17(10): 925-931.
- [6] ANG B W, ZHANG F Q. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental analysis[J]. Energy, 2000, 25(12): 1149-1176.
- [7] ANG B W. Decomposition analysis for policy making in energy: which is the preferred method? [J]. Energy Policy, 2004, 32(9): 1131-1139.
- [8] SORRELL S, LEHTONEN M, STADLETON L, et al. Decoupling of road freight energy use from economic growth in the United Kingdom[J]. Energy Policy, 2013, 41(2): 84-97.
- [9] BALEZENTIS A, BALEZENTIS T, STREIMIKIENE D. The energy intensity in Lithuania during 1995-2009: a LMDI approach[J]. Energy Policy, 2011, 39(11): 7322-7334.
- [10] 李 政, 付 峰, 高 丹. 中国特大城市客运交通能源需求变化的因素分析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(11): 1945-1948.
LI Zheng, FU Feng, GAO Dan. Decomposition analysis of motorized passenger transport energy demand changes in selected Chinese cities[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(11): 1945-1948. (in Chinese)
- [11] 汪宏韬. 基于 LMDI 的上海市能源消费碳排放实证分析[J]. 环境与资源, 2010, 20(5): 143-146.
WANG Hong-tao. Logarithmic mean division index model and the carbon emission mechanism of energy sector in Shanghai[J]. Resources and Environment, 2010, 20(5): 143-146. (in Chinese)
- [12] 朱松丽. 北京、上海城市交通能耗和温室气体排放比较[J]. 城市交通, 2010, 8(3): 58-63.
ZHU Song-li. Comparison of transportation energy consumption and greenhouse gas emission between Beijing and Shanghai[J]. Urban Transport of China, 2010, 8(3): 58-63. (in Chinese)
- [13] 贾顺平, 毛保华, 刘 爽, 等. 中国交通运输能源消耗水平测算与分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(1): 22-27.
JIA Shun-ping, MAO Bao-hua, LIU Shuang, et al. Calculation and analysis of transportation energy consumption level in China[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(1): 22-27. (in Chinese)
- [14] EOM J Y, SCHIPPER L. Trends in passenger transport energy use in South Korea[J]. Energy Policy, 2010, 38(7): 3598-3607.
- [15] ANG B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide[J]. Energy Policy, 2005, 33(7): 867-871.