

文章编号: 1002-0268 (2004) 12-0100-03

# 信号交叉口汽车燃油消耗分析方法研究

项乔君, 王 炜, 陆 键  
(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 介绍汽车燃油消耗微观模型, 分析信号交叉口汽车燃油消耗的影响因素, 提出基于汽车燃油消耗微观模型和信号交叉口延误分析技术的汽车燃油消耗分析方法和步骤。将微观模型与宏观分析方法相结合, 揭示信号交叉口汽车燃油消耗的基本规律, 得出信号交叉口汽车燃油消耗与交通量的关系, 以及信号交叉口各种汽车燃油消耗所占的比例。

**关键词:** 信号交叉口; 汽车; 燃油消耗

**中图分类号:** U471.23

**文献标识码:** A

## Research on Fuel Consumption at Signalized Intersection

XIANG Qiao-jun, WANG Wei, LU Jian

(Transportation College, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

**Abstract:** A micro-model of fuel consumption was introduced and the factors affecting motor vehicle fuel consumption at signalized intersection were analyzed. A practical method and procedure based on the combination of micro-model and delay analysis technology was proposed. The principle of the fuel consumption at signalized intersection was also expounded through an example calculation. The relationship between the fuel consumption and the volume of traffic flow, and the fuel consumption of all kinds of motor vehicle at the signalized intersection were brought out.

**Key words:** Signalized intersection; Automobile; Fuel consumption

信号交叉口是交叉口的主要控制方式。在信号交叉口, 多数车辆在经过信号交叉口时会产生周期性的延误, 同时, 汽车进入交叉口前的减速、停车和离开交叉口时的加速过程会使得汽车行驶工况发生明显的变化, 这就使得汽车产生一个比在正常连接道路行驶时更多的燃油消耗。交叉口燃油消耗研究对于分析交通系统燃油消耗规律, 显得尤为重要。分析信号交叉口燃油消耗规律的关键是要找出汽车行驶工况与燃油消耗的关系, 以及单车燃油消耗与整个交叉口燃油消耗的关系。本文提出了以汽车燃油消耗微观模型和交通流理论相结合, 从微观到宏观的信号交叉口燃油消耗分析方法。从分析汽车通过交叉口时减速、停车和加速过程着手, 运用汽车燃油消耗微观模型, 得出单个车辆通过交叉口的燃油消耗; 然后从交通流在信号交叉口排队过程着手, 分析整个交叉口燃油消耗。

### 1 汽车燃油消耗微观模型

根据汽车发动机比油耗的变化规律, 以功率平衡原理可以建立汽车燃油消耗微观模型<sup>[1]</sup>, 微观模型一般表达式如下

$$UFC = \frac{\alpha \cdot (P_{in} + P_e) \cdot g_e(u, n_0) [1 + \beta(n - n_0)]}{3600 \cdot \gamma} \quad (1)$$

式中,  $UFC$  为单位油耗,  $\text{mL/s}$ ;  $\alpha$  是修正系数;  $P_{in}$  是发动机内部消耗功率,  $\text{kW}$ ;  $P_e$  是发动机输出功率,  $\text{kW}$ ;  $u$  是发动机的负荷率, 即发动机的输出功率与发动机的最大输出功率之比, 即  $u = P_e / P_{e\max}$ ;  $n_0$  是发动机的某一稳定转速 ( $n_0 = 1000 \text{ r/min}$ );  $g_e(u, n_0)$  为当发动机转速为  $n_0$  时的比油耗,  $\text{g/kW} \cdot \text{h}$ , 是发动机负荷率的函数;  $\beta$  是比油耗增长系数;  $\gamma$  是燃油密度,  $\text{g/mL}$ , 对于汽油车  $\gamma = 0.73$ , 对于柴油车  $\gamma = 0.83$ 。

收稿日期: 2003-09-28

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (59838310)

作者简介: 项乔君 (1964—), 男, 湖北武汉人, 副教授, 博士, 从事交通工程、智能运输系统研究. (xqj@seu.edu.cn)

对于指定的车辆,  $\alpha$ ,  $P_{in}$ ,  $n_0$ ,  $\beta$  是常数,  $g_e$  ( $u$ ,  $n_0$ ) 有明确的表达式<sup>[1]</sup>。

2 汽车通过信号交叉口时的燃油消耗

2.1 信号交叉口延误

汽车在信号交叉口的延误包括两部分, 一部分是汽车在停车线前停车等待时间, 即停车延误, 另一部分是由汽车在到达交叉口前减速及停车以后加速过程所形成的减速、加速延误<sup>[2]</sup>。通常在通行能力研究中, 仅以停车延误作为服务水平的划分标准。显然, 在研究交叉口控制方式对汽车燃油消耗的影响时, 还必须考虑减速、加速延误对燃油消耗的影响。

信号交叉口通行能力与延误的计算有一套成熟的方法<sup>[3]</sup>, 详细的计算过程在本文中不再赘述。

2.2 单车通过信号交叉口的燃油消耗

车辆在通过信号交叉口时产生的燃油消耗  $FC$  包括 3 部分: 车辆减速过程产生的燃油消耗  $FC_d$ ; 车辆加速过程产生的燃油消耗  $FC_a$ ; 车辆在停车线附近停车过程产生的燃油消耗  $FC_s$ , 即

$$FC=FC_d+FC_a+FC_s \tag{2}$$

减速过程和停车过程的燃油消耗等于减速延误或停车延误与相应车型的单位怠速油耗的乘积。可见, 计算信号交叉口车辆的燃油消耗的关键是加速油耗。

加速过程燃油消耗计算步骤如下: (1) 根据实际观测的交通流数据, 确定车辆在交叉口连接道路上的平均行驶速度, 设该速度即为车辆进入交叉口前的初始速度  $V_0$ 。(2) 计算汽车在加速过程中发动机输出功率的平均值<sup>[2]</sup>。(3) 用公式 (1) 计算车辆加速过程中的单位油耗和实际油耗。

桑塔纳轿车的计算结果见图 1, 表 1 列出了 3 种常见车型的加速油耗与车速的回归模型。

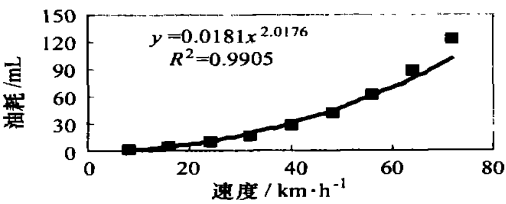


图 1 桑塔纳轿车在信号交叉口的加速油耗

表 1 3 种常见车型的加速油耗回归模型

| 车型         | 桑塔纳轿车             | 解放 CA6440 客车      | 东风 EQ1090 载货车     |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 回归模型       | $y=0.018x^{2.02}$ | $y=0.017x^{2.43}$ | $y=0.063x^{2.15}$ |
| 相关系数 $R^2$ | 0.991             | 0.995             | 0.989             |

3 信号交叉口燃油消耗总量

信号交叉口燃油消耗是指通过信号交叉口所有车

辆的燃油消耗量。信号交叉口燃油消耗不仅取决于单车在通过信号交叉口的燃油消耗, 还取决于交通量、信号配时以及由此产生的车辆在信号交叉口的减速、加速延误等。

信号交叉口燃油消耗计算方法及步骤如下:

(1) 根据现场调查数据确定信号交叉口的信号配时、交叉口各进口车道的交通量。

(2) 计算信号交叉口各进口车道的通行能力, 平均延误, 停车延误及停车率, 加速、减速延误及加减速比例<sup>[3]</sup>。

(3) 计算各进口车道的停车油耗  $AFC_s$  (mL)、减速油耗  $AFC_d$  (mL) 和加速油耗  $AFC_a$  (mL)。

$$AFC_s=N \circ p_s \sum_{i=1}^n p_i \circ FC_{si} \tag{3}$$

$$AFC_d=N \circ p_d \sum_{i=1}^n p_i \circ FC_{di} \tag{4}$$

$$AFC_a=N \circ p_d \sum_{i=1}^n p_i \circ FC_{ai} \tag{5}$$

式中,  $N$  为交通量, veh/h;  $p_s$  为停车率;  $FC_s$  为第  $i$  种车型的停车油耗;  $p_d$  为延误率;  $FC_{di}$  为第  $i$  种车型的减速油耗;  $FC_{ai}$  为第  $i$  种车型的加速油耗。

(4) 计算交叉口各进口车道总的燃油消耗

$$AFC=AFC_s+AFC_d+AFC_a \tag{6}$$

(5) 计算交叉口总的燃油消耗

$$TAFC=\sum_{j=1}^k AFC_j \tag{7}$$

式中,  $AFC_j$  为第  $j$  个进口车道的燃油消耗。

4 实例分析

计算所选择的交叉口为南京市北京东路与进香河路交叉口。此交叉口为主干道与次干道交叉的 T 型交叉口, 东西向的北京东路为主干道, 双向 6 车道, 高峰小时交通量为 2 800veh/h, 交叉口南进口进香河路为次干道, 双向 4 车道, 高峰小时交通量为 800veh/h。交叉口布局见图 2。

为全面分析该交叉口燃油消耗各项指标, 项目组在交叉口进行了连续 10h 的交通量观测<sup>[2]</sup>, 记录了该交叉口交通量及信号配时的有关参数。根据前面介绍的计算方法即可计算出该交叉口的燃油消耗。交叉口燃油消耗与交通量的回归关系式见图 3。

图 4 为车辆通过交叉口时减速油耗、停车油耗和加速油耗所占的比例, 该图显示在信号交叉口的所有燃油消耗中, 加速油耗所占比例最高达 71%, 其次是停车油耗为 27%, 减速过程消耗的油耗最小, 只有

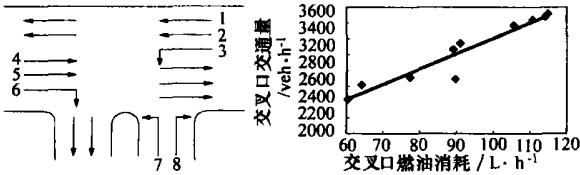


图 2 南京市北京东路-进 图 3 交叉口燃油消耗与  
香河路交叉口示意图 交叉口交通量的关系

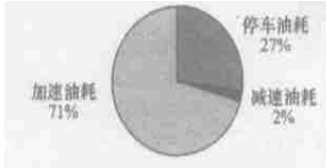


图 4 信号交叉口各种油耗所占比例

2%。  
停车油耗过高的主要原因是该交叉口采用多相位，导致车辆停车时间过长。

(上接第 95 页)  
布模式随时间变化较慢，这一假设不会产生过大的误差，是可接受的。此时，为了跟踪划分参数随时间的变化，可以采用两种方法。

4.1 滚动式方法 (Rolling Horizon)

根据经验或实际交通状况确定划分参数  $b_{ij}(k)$  保持不变的时段数目  $K$ ，定义初始的研究范围为时段  $k=1, 2, \dots, K$ ，利用这  $K$  个时段的路段流量观测值即可得到划分参数矩阵  $B(b_{ij})$ 。然后，采用滚动式方法对  $B(b_{ij})$  进行更新，也就是说，将研究范围向前移动至少一个时段  $l(l \geq 1)$ ，在研究区间长度不变的情况下，研究时段变为  $k=l+1, l+2, \dots, l+K$ 。随着时间的延续，持续这一过程，即可得到划分参数随时间的变化情况。

4.2 折减系数法 (Discounting Parameter)

若动态 OD 反推模型在计算时段  $k$  的划分参数  $b_{ij}(k)$  时，假定  $b_{ij}(k)$  不仅是最后  $K$  个时段  $h=k-K+1, k-K+2, \dots, k$  的均值，而是全部过去时段  $h=1, 2, \dots, k$  的平均值。此时，引入折减系数  $d, 0 \leq d \leq 1$ ，将由时段  $h$  观测值定义的修正项 (如目标函数中时段  $h$  的误差项  $[y(h)-x(h)^T \beta(k)]^2$ ) 乘以  $d^{k-h}$ ，则随着时间增加，越早的观测值折减的越多，因此对当前交通分布模式的影响越小，划分参数主要体现了最近观测量的影响，从而反映了 OD 分布模式随时间的变化情况。

5 结论

交叉口不仅是交通网络中的瓶颈地段，也是燃油消耗最多的地段。本文根据汽车燃油消耗微观模型，结合交通流理论，提出了一种信号交叉口燃油消耗的分析方法和步骤。实例分析显示，信号交叉口的燃油消耗与交通量之间有明显的相关性，论文同时给出了信号交叉口燃油消耗各组成部分所占的比例。

参考文献:

[1] 项乔君, 王伟. 汽车燃油消耗微观模型研究 [J]. 土木工程学报交通工程分册, 2002, 2 (1).  
[2] 王伟, 项乔君, 等. 城市交通系统能源消耗与环境影响分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.  
[3] National Council Highway Capacity Manual, Special Report 209 [R]. Washington: Transportation Research Board, 2000.  
[4] 余志生. 汽车理论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.

5 结论

现有动态 OD 反推模型建立的思路虽然有所不同，但基本都是基于路口、高速路段和全网这三种类型进行建立，而且在建模过程以及设计算法求解的过程中，都涉及到了以上几个方面的关键问题，因此作者在文中首先分析了动态 OD 反推理论的关键问题，在此基础上对这些关键问题的解决方法进行了进一步的分析，深入研究了模型中状态变量的选择、系统方程的确定、OD 量与路段流量的关系以及 OD 矩阵动态特性的体现，从而为动态 OD 反推理论的研究理清了思路。

参考文献:

[1] Wu W, Kachroo P. Dynamic Traffic Origin-destination Estimation Using Kalman Filter: An Application to Beltway Network with VMS Control [C]. Pittsburgh, Pennsylvania: Proceedings of SPIE-Photonics East, 1997, 3207: 242-249.  
[2] Ashok K, Ben-Akiva. Dynamic Origin-destination Matrix Estimation and Prediction for Real-time Traffic Management Systems [C]. Proc. of the 12th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 1993: 465-484.  
[3] Chang G, Wu J. Recursive Estimation of Time-varying O-D Flows from Traffic Counts in Freeway Corridors [J]. Transportation Research, 1994, B28: 141-160.  
[4] 陆化普. 交通规划理论与方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.  
[5] Ran B Boyce. Dynamic Urban Transportation Network Models: Theory and Implications for IVHS [M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994.