文章编号：1002-0268（2009）09-0150-04

客车燃油消耗计算模型的构建及验证

蔡团结[1]，王旭斌[2]，陈春梅[1]
（1. 长安大学 汽车学院，陕西 西安 710064；2. 河南交通职业技术学院，河南 郑州 450053）

摘要：采用理论和试验相结合的方法进行了研究，用基本运行条件下的油耗计算值乘以影响因素的修正系数，得出公路客车在实际运行条件下燃油消耗最高限额值。采用质量和速度因素对油耗影响独立计算的方法，对基本运行条件下的油耗计算过程进行了修订，建立了基本运行条件下客车燃油消耗量的计算模型。通过试验验证了计算模型推导、建立的正确性和合理性。

关键词：汽车工程；客车；计算模型；基本运行条件；油耗
中图分类号：U471.23 文献标识码：A

Modeling and Verification of Fuel Consumption Calculating Model for Passenger Vehicles

CAI Tuanjie[1], WANG Xubin[2], CHEN Chunmei[1]
(1. School of Automobile, Chang, an University, Xi, an Shaanxi 710064, China;
2. Henan Vocational and Technical College of Communications, Zhengzhou Henan 450053, China)

Abstract: The method of combining theory with test was used in this research. The maximum quota value of fuel consumption in the actual operation condition was calculated by multiply fuel consumption quantity in the basic operation conditions with correction coefficient of influential factors. With consideration of the influence of mass and speed on the fuel consumption respectively, the calculation process under the basic operation conditions was revised, and the fuel consumption calculating model under the basic conditions was established. The correctness and rationality of the model was verified through testing.

Key words: automobile engineering; passenger vehicle; calculating model; basic operation condition; fuel consumption

1 建模的思路及理论基础

1.1 建模依据及思路

客车行驶时燃油消耗是由发动机本身运转油耗、整备质量移动油耗、载质量移动油耗、汽车底盘等部件工作油耗组成，表现为内部油耗和外部输出油耗，内部油耗消耗于摩擦、振动、热损等，外部输出油耗消耗于四大阻力功。

根据上述对燃油消耗的划分，新建立模型借鉴国标 GB4353 燃油消耗计算思想，采用汽车在基本运行条件（一级路面、标准大气压、标准温度）下的燃油消耗与各种影响因素的修正系数相乘的方法来计算实际运行条件下燃油消耗的最高限额值。

1.2 建模理论基础

油耗是人-车-路-环境相互影响的结果。当今，由于车型较多，且性能差别较大，若根据原标准采用多次试验求得与油耗有关的具体数据显然是不科学的。对于 1 辆车来说，燃油消耗量与整备质量、载质量、车速和使用档位有关。由发动机万有特性和客车等速百公里燃油消耗计算公式，得到客车在不同档位、不同载质量下的等速百公里油耗曲线如图 1 所示。

由图 1 可分析出等速百公里燃油消耗量与载质量、车速、使用档位间存在下述规律：

（1）载质量、速度一定，一般来说，低档位百公

收稿日期：2009-02-01

作者简介：蔡团结（1971—），男，河南周口人，博士研究生，从事车辆技术管理.（caitj@moc.gov.cn）

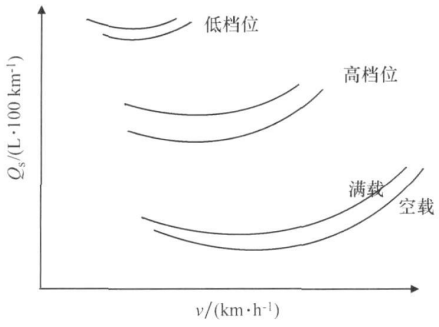

图 1　油耗与载质量、速度和档位的关系

Fig. 1　Relation of fuel consumption with loading capacity, speed and gear

里油耗较大。速度一定，高档位可使发动机在较低转速下运行，因此，客车在实际行驶中，大多采用高档位，即直接档或最高档位，公路车辆的高档利用率可达到 92%～96%。

(2) 载质量、档位一定，有最低油耗车速，低于或高于该车速时油耗均增大。这是因为低速时，发动机内部阻力消耗大，所以油耗较高。高速时，尽管内部阻力消耗相对减小，但由于空气阻力和滚动阻力急剧增大，致使油耗急剧增高。但是，对于当今的公路客车，为了提高动力性，大都采用后备功率较大的发动机，使得公路客车经济车速很低，等速百公里油耗曲线呈现为一直上升的趋势，特别对于装用柴油发动机的客车表现的更明显。

(3) 速度、档位一定，油耗与载质量呈正比关系。速度和档位一定，即发动机转速一定，载质量越大，负荷率越高，发动机比油耗应减小，但由于行驶阻力消耗急剧增加，整体油耗还是增加。能量守恒解释为载质量越大，需消耗越多的能量来克服行驶阻力功。

2　模型的建立

2.1　建立模型的目标

所建立的模型应能够计算出汽车在一定的整备质量、一定的载质量下，某一速度在较高档位行驶时燃油消耗的最高限额值。为了使所建立的油耗模型更好的反应客车的实际油耗，在不同总质量和不同速度下，用建立的模型计算的油耗值应有较小的值。

2.2　基本条件下油耗模型的建立与使用

2.2.1　基准速度下油耗计算

为了减少计算误差，选取 $v_{基}$（空载时油耗随载质量变化最快的速度）速度时油耗随质量变化曲线的空载和满载点的斜率反映油耗与整备质量、载质量的关系。结合上述理论分析，得到速度 $v_{基}$ 下，由空载和满载点斜率计算油耗的表达式分别为：

$$Q^{*}_{质量}=q_{k}+q^{*}_{zf}\times N+q^{*}_{zf}\times \Delta m+q_{kt}\times N, \quad (1)$$

$$Q^{**}_{质量}=q_{m}-q''_{zf}\times N''+q^{*}_{zf}\times \Delta m+q_{kt}\times N, \quad (2)$$

式中，$Q^{*}_{质量}$，$Q^{**}_{质量}$分别为空载点斜率的油耗计算值和满载点斜率的油耗计算值；q_k、q_m 分别为 $v_{基}$ 速度下的空载和满载油耗值；q_{zf}、q''_{zf}分别为 $v_{基}$ 速度下油耗对载质量的最大敏感度（空载油耗变化最大值）和油耗对载质量的最小敏感度（满载油耗变化最小值）；q^{*}_{zf} 为油耗对整备质量的敏感度（额定整备质量时，油耗随质量的变化量）；N、N''分别为实际乘车人员数量（行李应按装载质量计入）和满载乘车人数与实际乘车人数的差值；Δm 为整备质量变化量（实际整备质量减去额定整备质量；m_e 为额定整备质量；q_{kt}为空调修正系数。

2.2.2　其他速度相对于基准速度 $v_{基}$ 的速度修正系数

按照油耗在其他速度下相对于基准速度 $v_{基}$ 下的变化分析，速度修正系数计算公式见式(3)和(4)。

$$K^{*}_{v}=\frac{Q_{ve}}{Q_{be}}, \quad (3)$$

$$K^{**}_{v}=\frac{Q_{vf}}{Q_{bf}}, \quad (4)$$

式中，K^{*}_{v}，K^{**}_{v} 分别为两速度下空载油耗比值和满载油耗比值；Q_{ve}、Q_{vf}分别为实际速度所在区间的上限在空载和满载行驶时的百公里油耗值；Q_{be}、Q_{bf} 分别为 $v_{基}$ 速度下空载和满载行驶时的百公里油耗值。

2.2.3　基本运行条件下客车油耗计算模型

记式(1)和式(2)计算结果的最小值为 $Q_{质量}$，式(3)和式(4)计算结果的较大值为 K_v，则大中型客车在基本条件下，在某一整备质量、某一载质量以一定的速度 v 行驶距离 S 的油耗 $Q_{基本}$ 计算模型为：

$$Q_{基本}=Q_{质量}\times K_{v}\times \frac{S}{100}。 \quad (5)$$

3　验证试验与结果分析

3.1　试验条件

根据研究对象为大中型公路客车的特点，结合实际试验条件，试验选取扬州亚星 JS6820C32D1 客车作为试验车型，该客车基本资料见表 1。

基本运行条件下油耗计算模型对道路的要求为一级道路。试验在长安大学渭水校区试验场平直路段进行，油耗计采用小野油耗计。天气：阴，气温：25 ℃，气压：100.8 kPa，风速：2.5 m/s，油耗修正系数：0.993 1。

表 1 试验客车基本资料

Tab 1 Basic information of tested bus

车型	发动机型号	最大功率	最大扭矩	最大乘员数	整备质量	最大总质量
JS6820C32D1	Phaser160T	118 kW/2 600 r/min	516 N·m/1 600 r/min	31 人	6 500 kg	10 000 kg

最高车速	油耗	轮胎	变速器	5 档速比	6 档速比	空调
110 km/h	18 L/100 km	9.00R20-14PR	ZQC6T53	1.00	0.795	独立式

3.2 试验方法

按照国标 GB/T12545.2-2001《商用车辆燃料消耗量试验方法》和 GB/T12534-1990《汽车道路试验方法通则》的规定，本次试验是在试验环道设置 500 m 平直路段作为测试路段，试验车速范围为 30 ~ 100 km/h。为了测量不同载质量下的百公里油耗值，载质量由人和水桶模拟（75 kg/人和 26 桶水（25 kg/桶）），载质量的设定依次为：基准载质量（5 个人：驾驶员、试验操作员、数据记录员、数据处理员及技术指导员，约为 6.875 t）；1/3 载质量（5 个人和 26 桶水，约为 7.525 t）；2/3 载质量（14 个人和 26 桶水，约为 8.2 t）；满载质量（25 个人和 26 桶水约为 9.025 t）。为了下面叙述方便，记 4 种载质量情况依次为 *A*、*B*、*C*、*D*。

3.3 试验数据及结果分析

3.3.1 原始试验数据

按照试验设计，测得不同载质量下试验车油耗平均值见表 2。

表 2 试验原始数据（速度：km/h；油耗：mL/500 m）

Tab 2 Original test data (speed: km/h; fuel consumption: mL/500 m)

基准质量	车速	25.71	35.25	45.71	56.28	66.59	76.7	86.83	95.82
	油耗	41.055	42.17	48.14	55.21	62.4	76.42	85.73	98.09
1/3 载质量	车速	26.6	36.48	45.65	56.18	66.77	76.17	86.56	95.59
	油耗	43.44	43.43	49.36	57.24	63.84	76.23	86.93	98.86
2/3 载质量	车速	23.77	36.62	46.2	56.15	67.2	76.26	86.12	95.43
	油耗	41.15	46.12	49.88	58.82	65.35	76.26	88.91	98.82
满载质量	车速	27.27	35.85	46.33	55.92	66.19	74.98	86.04	94.12
	油耗	43.54	46.32	49.99	59.7	65.65	76.56	89.01	98.02

3.3.2 处理后的试验数据及结果分析

（1）为了比较不同载质量下油耗值，对表 2 中数据按数理统计方法拟合得出各载质量下油耗关于设定试验速度的表达式，然后计算出设定试验速度下的百公里油耗值，见表 3，并作出不同载质量下油耗随速度变化的曲线如图 2 所示。对图 2 中出现在速度 100 km/h 时，油耗在载质量较大时变化急剧增大，可解释为试验客车在接近最大设计速度和最大总质量行驶时，发动机工作恶化造成的。对于装用后备功率大的发动机客车，油耗随载质量的变化应呈现凸抛物线。

表 3 换算后百公里油耗（速度：km/h；油耗：L/100 km）

Tab 3 Fuel consumption of 100 km by conversion (speed: km/h; fuel consumption: L/100 km)

载质量	速度							
	30	40	50	60	70	80	90	100
A	8.283 4	9.044	10.157	11.622	13.439	15.607	18.128	21.01
B	8.485 6	9.281	10.416	11.892	13.717	15.863	18.358	21.193
C	8.614 4	9.475	10.652	12.144	13.953	16.077	18.518	21.275
D	8.797	9.651	10.824	12.317	14.131	16.263	18.717	21.490

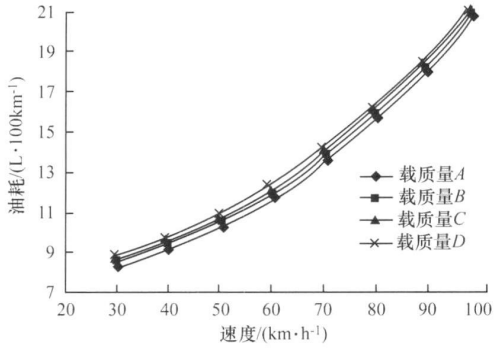

图 2 试验所得不同载质量下油耗与速度的拟合曲线图

Fig 2 Fuel consumption—speed fitting curves with different loading capacities in test

（2）为了反应油耗随载质量变化情况，相邻载质量对应的油耗差值见表 4。

表 4 同样速度，增加载荷，油耗变化值（速度：km/h；油耗：L/100 km）

Tab. 4 Variations of fuel consumption with increasing loads and constant speed (speed: km/h; fuel consumption: L/100km)

载质量差	速度							
	30	40	50	60	70	80	90	100
B-*A*	0.202 2	0.236 8	0.259 4	0.27	0.278 6	0.255 2	0.229 8	0.183 4
C-*B*	0.128 8	0.194	0.235 3	0.252 4	0.235 6	0.214 8	0.16	0.081 2
D-*C*	0.183	0.175 6	0.172 2	0.172 8	0.178 4	0.186	0.198 6	0.215 2

由表 4 可见，同一车速，随载质量增加，油耗增加值减小；某一速度、空载时油耗随载质量变化最快。比较表 4 中增加值可知，试验客车在 60 ~ 80 km/h 时有最大变化值，根据计算模型推导过程，取 70 km/h 作为试验客车的计算基准速度。

3.4 计算模型验证结果

由上述数据分析可知，在速度 60～80 km/h 下空载油耗出现最大变化值，根据建立油耗模型的要求，该客车以 70 km/h 作为基准速度 $v_{基}$。

根据油耗计算过程，首先确定 70 km/h 时，公式（1）、（2）中各参数数值：由计算模型得到：70 km/h 车速空载（m＝6.5 t）油耗为 13.25 L/100 km，满载（m＝9.025 t）油耗为 14.22 L/100 km；由 70 km/h 车速计算模型求导可以计算出该速度下的空载油耗最大变化率为 0.539 1 L/t·100 km，油耗最小变化率为 0.015 5 L/t·100 km。

为了验证任意载质量、任意速度下的油耗，试验测量了载质量为 20 人和 26 桶水（总质量约 8.65 t）、设计速度为 75 km/h 下运行的油耗量，测得计算速度为 71.29 km/h 时的油耗为 14.08 L/100 km。由公式（1）、（2），结合上面求得的参数值，速度 70 km/h 下总质量 8.65 t 时的油耗计算值分别为 17.91 L/100 km，14.2 L/100 km。根据要求，取较小值 14.2 L/100 km。

已知 75 km/h 所在速度区间为［70、80］，根据速度修正系数的推导，需要求出来速度 80 km/h 相对于速度 70 km/h 的速度修正系数值。由计算模型得到：速度 80 km/h 时，空载和满载油耗值分别为 15.44 L/100 km 和 16.39 L/100 km。由公式（3）、（4）求得空载和满载 80 km/h 油耗与 70 km/h 油耗的比值分别为 1.16 和 1.15，从而确定速度为 80 km/h 下的速度修正系数 K_v＝1.16。

将上述计算值代入油耗计算模型（5），可知设定载质量（总质量约 8.65 t）下，在 70～80 km/h 速度区间下行驶的计算油耗 $Q_{基本}$为 16.472（L/100 km）。

计算油耗值 16.472 L/100 km 大于实际测量油耗值 14.08 L/100 km，可见模型计算可以满足最高限额值尽量小的原则。模型计算油耗值与实测油耗值误差较大可能是由于试验是人工操作控制，且风力和风向变化较大，造成测量数据误差偏大引起的。

4 结论

（1）由不同速度下，油耗与载质量的关系分析可知空载某一速度时，油耗随载质量变化最快，可以用该速度作为所建计算模型的基准计算速度。

（2）用基本运行条件下的油耗计算值乘以影响因素的修正系数，得出公路客车在实际运行条件下燃油消耗最高限额值的计算思想，对基本运行条件下的油耗计算过程进行了修订，建立了基本运行条件下客车燃油消耗量的计算模型。

（3）通过道路试验验证了计算模型推导、建立是正确的和合理的，公路客车油耗的估算可以使用该计算模型进行。

参考文献：

References:

[1] 冯健璋. 汽车发动机原理与汽车理论 [M]. 北京：机械工业出版社，2005.
FENG Jianzhang. Engine Principles and Theory of Automotive [M]. Beijing: China Machine Press, 2005.

[2] 许洪国. 汽车运用工程基础 [M]. 北京：清华大学出版社，2004.
XU Hongguo. Application and Engineering Foundation of Automobile [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.

[3] 吴建华. 汽车发动机原理 [M]. 北京：机械工业出版社，2005.
WU Jianhua. Principles of Automotive Engine [M]. Beijing: China Machine Press, 2005.

[4] 李兴华，姚祖康. 车辆燃油消耗预估模型 [J]. 同济大学学报，1992，20（4）：403－410.
LI Xinghua, YAO Zukang. Vehicle Fuel Consumption Prediction Model [J]. Journal of Tongji University, 1992, 20 (4): 403－410.

[5] MASON M K. Highway Design and Maintenance Standards [J]. Transportation Forum, 1984 (1): 28－39.

[6] 章后忠，潘玉利，程珊珊，等. 建立四类代表车型的理论油耗模型 [J]. 华东公路，2002（6）：62－66.
ZHANG Hongzhong, PAN Yuli, CHENG Shanshan, et al. Theory Gas－consuming Model of Setting up Four Typical of Vehicle Type [J]. East China Highway, 2002 (6): 62－66.

[7] 余志生. 汽车理论 [M]. 北京：机械工业出版社，2000.
YU Zhisheng. Automobile Theory [M]. Beijing: China Machine Press, 2000.

[8] 潘玉利，程姗姗. 运行速度和发动机油耗预测模拟技术研究 [J]. 公路交通科技，2004，21（5）：96－99.
PAN Yuli, CHENG Shanshan. Modelling of Vehicle Speed and Fuel Consumptions [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (5): 96－99.

[9] 王健，王晓原，王刚. 公路燃油消耗统计模型的建立与实证研究 [J]. 山东师范大学学报：自然科学版，2004，19（4）：13－16.
WANG Jian, WANG Xiaoyuan, WANG Gang. Study on Statistical Model of Highway Oil-consumption [J]. Journal of Shandong Normal University: Natural Science Edition, 2004, 19 (4): 13－16.