

# 载货汽车等速行驶油耗特性研究

兰楠, 龙军, 邓高攀, 陈致西

(中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122)

**摘要:** 基于发动机万有特性曲线和功率平衡分析计算得到某载货汽车满载时百公里等速燃油消耗理论值, 并利用油耗仪对该载货汽车进行真实道路油耗测试, 获得百公里等速燃油消耗实测值。对比发现, 通过万有特性曲线计算得到的油耗理论值略大于试验实测值, 相对误差小于 15.5%, 理论油耗与油耗仪实测油耗具有较好的一致性; 该载货汽车以最高挡行驶时的经济车速为 40~70 km/h。

**关键词:** 汽车; 载货汽车; 等速行驶; 油耗特性

**中图分类号:** U461.8

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2018)01-0009-04

载货汽车是耗油大户, 为严格控制载货汽车油耗限值, 尽快完善商用车节能管理体系, 中国陆续出台《营运货车燃料消耗量限值及测量方法》、《商用车燃料消耗量测量方法》和《重型商用车燃料消耗量限值》等多项标准, 同时各检测机构采用更合理科学的油耗检测仪器, 力求获得更为精准的油耗测量数据。研究油耗测试技术, 对比理论计算油耗与道路试验油耗是否一致, 对改善油耗测量方法具有重要意义。发动机万有特性曲线和功率平衡分析是计算等速油耗的主要方法。

## 1 油耗仪测试原理

油耗测量方法主要有直接测量法和间接测量法, 这里采用直接测量法, 即拆开发动机和油箱回路, 将油耗仪接入其中进行测量。该方法测量精度高, 使用灵活。道路试验测量油耗主要使用油耗仪。试验前将油耗仪接入油箱和发动机回路中, 排除油路中的空气, 一部分燃油通过热交换器后回到油箱, 另一部分燃油流经燃油流量传感器再通过热交换器中的燃油泵后进入发动机, 发动机中的部分燃油参与燃烧供给能量, 未参与燃烧的燃油返回热交换器中, 按油箱温度进行冷却, 经热交换器中的燃油泵泵出形成循环, 完成热交换作用。燃油回路见图 1。

通过已知排量的 4 个精确的活塞来计算燃油流量。位于曲轴中的场效应传感器将每个活塞行程转换为电脉冲, 电脉冲数与燃油体积成正比, 其比值称为体积仪表系数, 计算公式为:

$$K = \frac{N}{V} \quad (1)$$

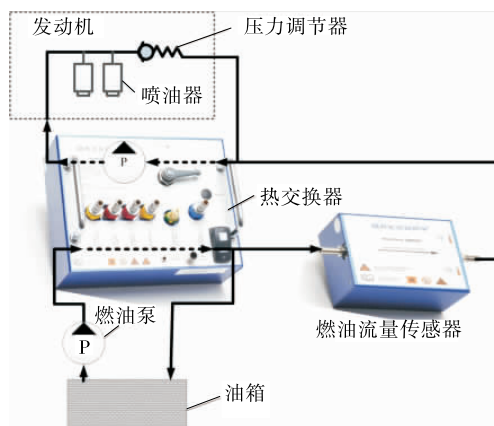


图 1 接入油耗仪后的燃油回路

式中:  $N$  为脉冲数;  $V$  为体积总量。

试验中使用的燃油流量传感器的测量体积  $V = 4 \text{ mL/r}$ , 脉冲数  $N = 1\,024 \text{ p/r}$ , 则  $K = 256 \text{ p/mL}$ 。

## 2 等速燃油消耗量计算分析

汽车的燃油经济性常用定速工况下汽车行驶百公里燃油消耗量或一定燃油消耗量下的行驶里程来衡量。等速行驶百公里燃油消耗量是评价汽车燃油经济性的常用指标, 其值越大, 燃油经济性越差。

### 2.1 发动机功率计算

为得到某载货汽车的理论油耗, 先计算一定车速下的发动机功率。汽车在水平路面上等速行驶时, 阻力功率主要由滚动阻力功率和空气阻力功率组成, 功率平衡方程为:

$$P_e = \frac{mgfu_a}{3\,600\eta_T} + \frac{C_D A u_a^3}{76\,140\eta_T} \quad (2)$$

式中:  $m$  为汽车试验质量;  $f$  为汽车滚动阻力系数;

$u_a$  为汽车行驶速度;  $\eta_T$  为传动系统各挡位的传动效率;  $C_D$  为空气阻力系数;  $A$  为迎风面积。

发动机转矩和功率关系为:

$$T = 9\,550 \frac{P_e}{n} \quad (3)$$

式中:  $n$  为发动机转速。

载货汽车的轮胎滚动阻力系数与车速的关系几乎呈直线, 车速对滚动阻力系数的影响不大。良好道路上货车轮胎的滚动阻力系数为:

$$f = 0.007\,6 + 0.000\,056 u_a \quad (4)$$

某一特定挡位下发动机转速和车速的关系如下:

$$u_a = 0.377 \frac{r n}{i_g i_0} \quad (5)$$

式中:  $r$  为车轮滚动半径;  $i_g$  为变速器传动比;  $i_0$  为主减速器传动比。

JT 719—2016《营运货车燃料消耗量限值及测量方法》规定测试载货汽车等速燃油消耗量时载货汽车应处于满载状态, 即车辆加载至最大允许总质量。为了与道路试验油耗值进行对比, 计算该载货汽车百公里等速燃油消耗量时也采用该质量状态。表 1 为该载货汽车的主要技术参数。

表 1 某载货汽车的主要技术参数

参数名称	参数值
发动机型式	柴油发动机
变速器型式	手动变速器
变速器速比	1 挡 6.67
	2 挡 4.01
	3 挡 3.42
	4 挡 1.52
	5 挡 1.00
	6 挡 0.78
主减速器传动比	4.875
空气阻力系数	0.68
各挡传动效率	0.9
迎风面积/ $m^2$	5.9
车轮滚动半径/ $m$	0.476
燃油重度/ $(N \cdot L^{-1})$	8.163 4
整备质量/ $kg$	5 870
最大允许总质量/ $kg$	12 000

## 2.2 等速燃油消耗量计算

对该载货汽车发动机进行台架试验获得发动机转速、转矩和燃油消耗率, 进而绘制图 2 所示发动机

万有特性图。由图 2 可知: 最内层等燃油消耗率曲线是发动机运行的最经济区域, 曲线越往外, 燃油经济性越差。利用 MATLAB 软件插值法确定发动机在一定转速  $n$ 、发出一定功率  $P_e$  时的燃油消耗率  $b$ , 得到该车等速行驶时的百公里等速燃油消耗量  $Q_s$  为:

$$Q_s = \frac{P_e b}{1.02 u_a \gamma} \quad (6)$$

式中:  $\gamma$  为燃油的重度。

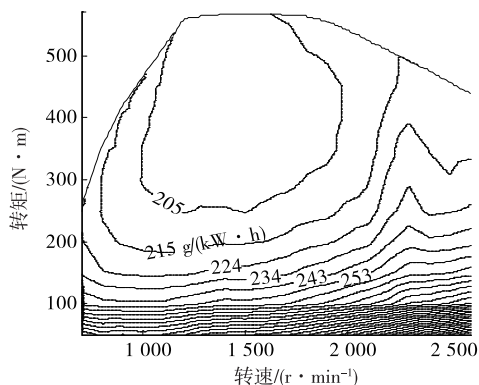


图 2 某载货汽车发动机万有特性图

车速和道路条件相同时, 发动机功率相同, 但挡位越高, 后备功率越小, 发动机负荷率越高, 燃油消耗率越小。因此, 计算载货汽车满载时给定车速下的百公里燃油消耗量  $Q_s$  时, 发动机挡位选为第 6 挡。根据式 (2)~(6) 和该载货汽车的主要技术参数, 计算得到 6 挡时给定车速下的百公里等速燃油消耗量 (见表 2)。

表 2 等速百公里油耗计算结果

车速/ ( $km \cdot h^{-1}$ )	等速燃油消耗量/ [ $L \cdot (100 km)^{-1}$ ]	车速/ ( $km \cdot h^{-1}$ )	等速燃油消耗量/ [ $L \cdot (100 km)^{-1}$ ]
40	11.6	70	16.9
50	13.1	80	19.5
60	14.9		

由表 2 可知: 车速为 40~70 km/h 时, 每增加 10 km/h, 油耗增加约 13%; 超过 70 km/h 后, 车速增加 10 km/h, 油耗增加 15%。

## 3 等速燃油消耗试验结果

### 3.1 试验步骤

试验场地为重庆梁平机场路, 路面清洁、干燥、平坦, 试验路长度满足要求, 纵向坡度在 0.1% 以内。车窗、驾驶室通风口及空调关闭, 轮胎气压和车辆磨

合情况符合要求。试验仪器连接见图 3。频率模块用于采集从显示器输出的油耗信号,VBOX 速度信号线的作用是把速度信号输出到油耗仪,油耗仪用作速度显示器,制动触发器的作用是在速度稳定后激活试验开始。VBOX 汽车性能仪和油耗仪的最大允许误差均为±0.5%,综合气象仪和石油密度计的最大允许误差均为±1.0%。

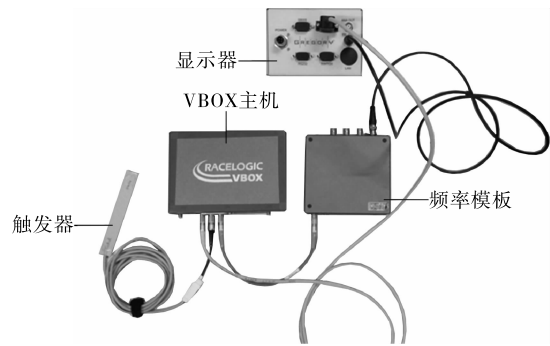


图 3 油耗试验连接方式

试验车辆处于满载,手动变速器置于最高挡,试验车速分别为 40、50、60、70、80 km/h。在各试验车速下,保持瞬时油耗率稳定至少 100 m 后开始记录数据,测量通过 500 m 测试路段的时间及累计燃油消耗量。车辆在测试路段上每个试验车速往返至少 2 次,以满足数据重复性要求。每次试验的平均车速与规定试验车速之差不超过 1 km/h。试验结果见图 4。

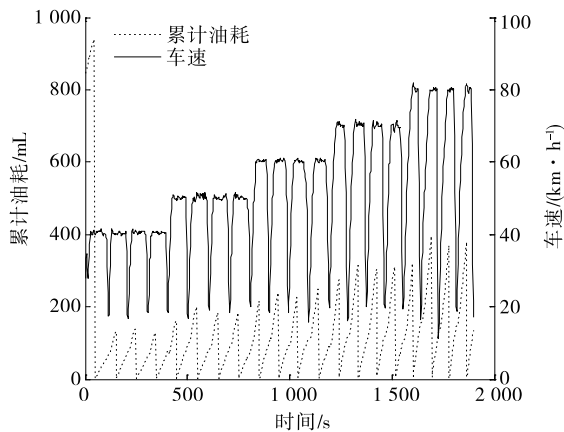


图 4 各试验车速下的累计油耗值

3.2 数据处理结果

得到各车速下的累计油耗值后,按下式计算各车速下的等速燃油消耗量  $Q$  :

$$Q = \frac{100Y_h}{s} \tag{7}$$

式中: $Y_h$  为被测车辆等速行驶 500 m 消耗的累计燃

油量; $s$  为被测车辆等速行驶的距离。

等速燃油消耗量试验结果见表 3。根据 GB/T 12545.2—2001 和交通部作出的比较同一方向油耗值重复性的规定,对表 3 所示数据进行重复性检验,试验结果满足重复性要求,不必增加试验次数。试验当天的气温为 14.6 ℃,大气压力为 97.72 kPa,柴油密度为 0.833 g/mL,根据 JT 719—2016《营运货车燃料消耗量限值及测量方法》,燃料消耗量的测定值应按标准状态进行校正,校正公式为:

$$Q_0 = \frac{\bar{Q}}{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3} \tag{8}$$

式中: $Q_0$  为校正后的等速燃油消耗量; $\bar{Q}$  为实测等速燃油消耗量的算术平均值; $C_1$  为环境温度校正系数, $C_1 = 1 + 0.0025(20 - T)$ ;  $T$  为试验时环境温度; $C_2$  为大气压力校正系数, $C_2 = 1 + 0.0021(P - 100)$ ;  $P$  为试验时大气压力; $C_3$  为燃油密度校正系数, $C_3 = 1 + 0.8(0.830 - G_d)$ ;  $G_d$  为试验用柴油的平均密度。

表 3 等速百公里油耗试验结果

车速/ (km·h <sup>-1</sup> )	等速百公里油耗/[L·(100 km) <sup>-1</sup> ]					
	往	返	往	返	均值 $\bar{Q}$	校正值 $Q_0$
40	11.53	8.98	11.50	9.10	10.28	10.21
50	12.58	10.04	12.15	9.80	11.14	11.07
60	13.81	11.96	13.71	11.54	12.76	12.68
70	15.96	13.86	15.98	14.25	15.01	14.92
80	20.13	18.06	20.26	18.51	19.24	19.12

3.3 对比分析

利用最小二乘多项式对百公里等速燃油消耗量计算结果和试验数据进行拟合,结果见图 5。

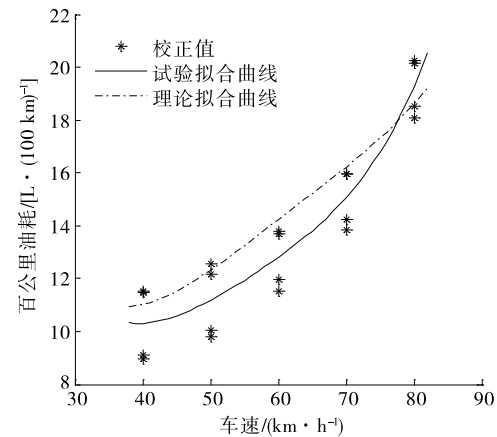


图 5 试验与理论计算百公里油耗对比

由表 2 和图 5 可知:该载货汽车速度为 40~70

km/h时油耗较低,车速超过70 km/h后油耗迅速增大。原因是车速超过70 km/h后,虽然发动机负荷率较高,但空气阻力迅速增大,油耗随之增加。因此,该载货汽车以最高挡行驶时,经济车速区间为40~70 km/h。通过万有特性曲线计算得到的百公里燃油消耗量略大于试验得到的百公里燃油消耗量,相对误差小于15.5%,80 km/h时的相对误差为1.9%,且两条曲线都是车速超过70 km/h后油耗明显增大,理论计算油耗与油耗仪实测油耗具有较好的一致性。

#### 4 结论

(1) 百公里等速燃油消耗量理论值略大于实测值,相对误差小于15.5%,80 km/h时的相对误差为1.9%,且两条曲线都是车速超过70 km/h后油耗明显增大,理论计算油耗与油耗仪实测油耗具有较好的一致性,燃油消耗理论计算准确。

(2) 该载货汽车以最高挡行驶时的经济车速为40~70 km/h。

#### 参考文献:

- [1] 郭瑞玲,苑林,谢东明,等.载货汽车燃油经济性与整车质量的相关性研究[J].汽车工程,2015,37(6).
- [2] 宋尚斌,韩立波,李会民,等.营运车辆燃料消耗量工况测试方法与质控技术研究[J].交通节能与环保,2015(3).
- [3] 张申祥,陈玮,王善强,等.基于发动机台架试验的整车

油耗测试方法[J].车辆与动力技术,2016(2).

- [4] 荣雪东,宋月伟,冯双生.国内外汽车油耗法规分析[J].汽车工程师,2015(6).
- [5] He C R, Maurer H, Orosz G. Fuel consumption optimization of heavy-duty vehicles with grade, wind, and traffic information[J]. ASME, 2016, 11(6).
- [6] 张更娥,鞠成伟,韦志康.基于底盘测功机的某车型油耗试验分析[J].汽车实用技术,2014(4).
- [7] 莫舒玥.基于底盘测功机的汽车燃油消耗量测试研究[J].西部交通科技,2013(11).
- [8] 黎程,张有,杜志良,等.基于等速油耗测量的车用发动机匹配优化试验分析方法[J].柴油机设计与制造,2014(1).
- [9] 何细鹏,王贵槐.华泰汽车等速百公里油耗试验计算研究[J].公路与汽运,2011(2).
- [10] 姚焕新.汽车瞬时油耗检测方法 with 试验分析[J].汽车技术,2011(7).
- [11] 付百学,于春鹏,张德生.汽车油耗检测方法研究[J].黑龙江工程学院学报:自然科学版,2010,24(2).
- [12] 付百学,胡胜海.基于喷油脉宽测试法的汽车油耗智能测试技术[J].农业工程学报,2014,30(18).
- [13] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [14] 黄仕阳,张金一.AVL—Cruise 仿真在客车油耗分析中的应用[J].客车技术与研究,2013(6).
- [15] 陈海涛.汽车结构因素对燃油经济性的影响[J].公路与汽运,2006(2).

收稿日期:2017-08-28

\*\*\*\*\*  
(上接第8页)

#### 4 结语

该文主要概述车辆驾驶性评价标准、评价方法和驾驶性问题的标定,基于某乘用车的驾驶性评价结果,分析驾驶性评价过程中的驾驶性问题并通过对软件标定的优化加以解决,通过对发动机驾驶性部分的标定,使该款车型能满足驾驶性标准,达到工程开发目标。在车辆各硬件部分定型之后,通过对发动机部分的标定可较快解决部分驾驶性问题,发动机标定对车辆驾驶性的改善具有非常重要的意义和作用。

#### 参考文献:

- [1] 孙坚.驾驶性评价及其仿真方法研究[D].长春:吉林大学,2017.

- [2] 周欣.基于用户使用模式的乘用车驾驶性量化评价方法[D].长春:吉林大学,2016.
- [3] 韩松.ME7 发动机管理系统驾驶性标定简介[A].全国地方机械工程学学术年会暨海峡两岸机械科技论坛[C].2013.
- [4] 葛宗强,李向兵,杨伟龙,等.DCT 整车换挡质量客观评估测试分析[J].汽车实用技术,2017(8).
- [5] 赵况,李瑞珂.基于 BOSCH ME7 系统的手动挡车型判档及防抖动功能的研究[J].装备制造技术,2015(7).
- [6] 杨德一,张秋月,郭钢.基于 UG 平台的汽车驾驶舒适性评价[J].客车技术与研究,2004(2).
- [7] 卞齐昊,刘鹏,孔庆华.汽车驾驶舒适性的模糊评价:以某轿车为例的评价分析[J].陕西理工学院学报:自然科学版,2009,25(1).
- [8] 李佩林,李志春,李强.汽车舒适性评价方法的研究[J].农机化研究,2004(6).

收稿日期:2017-07-09