

某款轻型商用车降油耗方法

姜 健 校 辉 吴朝晖 吴 冰

上海汽车集团股份有限公司商用车技术中心,上海,200438

摘要:通过整车风阻系数、汽车轻量化和整车传动系速比优化,以及置换低滚阻轮胎等方法进行某款轻型商用车的燃油经济性提升。应用 CFD 数值模拟方法对某商用 MPV 车身进行空气动力学仿真及优化,并结合油泥模型风洞试验对降风阻效果进行验证;应用整车轻量化方案,以及使用低滚阻轮胎对整车的滚动阻力进行优化;通过传动系总速比优化,使该款商用车在 NEDC 的运行工况下更加接近经济区域。

关键词:造型优化;滚阻;汽车轻量化;油耗

中图分类号:U461.1

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2014.24.026

Reduction Fuel Consumption Method for a Commercial Vehicle

Jiang Jian Xiao Hui Wu Zhaohui Wu Bing

SAIC Motor Commercial Vehicle Technology Center, Shanghai, 200438

Abstract:In order to reduce fuel consumption, this paper introduced to several methods such as air resistance optimization, lightweight of automobile, optimization of the rolling resistance and the transmission ratio. Firstly, the methods of CFD data simulation were adopted to optimize the shape for a commercial vehicle, then integrated with the clay model wind tunnel test the effects for the optimization of air resistance were validated. Secondly, in order to optimize the rolling resistance lightweight of automobile, lower-rolling resistance coefficient of tyre were applied. At last, in order to the commercial vehicle working in the economic area the transmission system ratio was optimized.

Key words: style optimization; rolling resistance; lightweight of automobile; fuel consumption

0 引言

随着石油价格的节节攀升以及日趋严格的油耗法规,使得提高汽车的燃油经济性成为汽车技术研究的重要课题。而良好的燃油经济性同时也是吸引消费者的一个重要卖点。本文以某款轻型商用车为对象,研究降低汽车燃油消耗量的方法。

1 燃油经济性仿真计算

1.1 整车基本参数

该款轻型商用车为 2.0T 发动机,六挡手动变速器整车基本参数如表 1 所示。

表 1 整车基本参数

类型	M2
发动机型号	2.0 T
发动机额定功率 $P(\text{kW})$	161/5300
发动机额定扭矩 $T(\text{N} \cdot \text{m})$	350/3500
主减速比	3.73
变速箱速比	4.1/2.34/1.521/1.14/0.87/0.69
轮胎型号	225/70 R16
整备质量(kg)	2170
满载质量(kg)	2950

1.2 建立燃油经济性仿真模型

由奥地利 AVL List 公司开发的 CRUISE 软件是用于汽车能量和驾驶质量研究的工具。它可用于汽车开发过程中的动力系统、传动系统以及

汽车性能的匹配、预测和整车仿真计算。本文利用 CRUISE 软件进行汽车燃油经济性与动力性 (energy drive quality, EDQ) 仿真分析。根据汽车动力传递路线:发动机—离合器—变速器—传动轴—主减速器—差速器—半轴—车轮搭建的整车模型如图 1 所示。

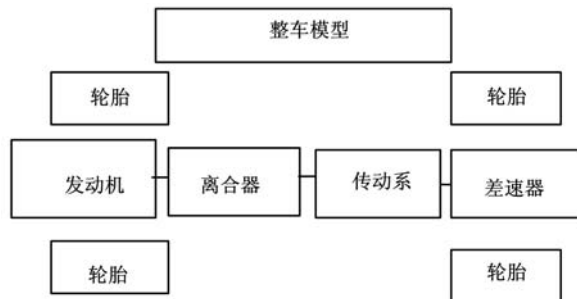


图 1 整车模型

1.3 重要输入参数——整车滑行曲线

在整车经济性计算中,汽车的风阻系数以及轮胎的滚阻系数是非常重要的输入参数,方便、快捷、准确地测定这两项阻力对降低汽车的油耗有着重要的意义。汽车的风阻系数常通过室内风洞试验测取,而轮胎的滚阻系数则需要在转鼓试验台上完成。这两项试验的成本较高,代价较大。因整车滑行试验具有成本低、可靠性高和实用性强等优点,故在前期的仿真计算中可采用整车滑

行试验的方法获取汽车的风阻和轮胎的滚阻系数^[1]。

由于该款轻型商用车正处于研发阶段,尚未开始实车生产,所以先采用标车代替研发车进行滑行试验,在 AVL-CRUISE 软件中可通过整车整备质量变化对整车的滚动阻力进行修正。图 2 所示为整车空载滑行曲线。

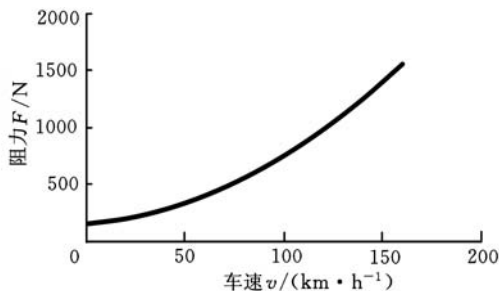


图 2 整车空载滑行曲线

1.4 汽车燃油经济性计算及结果分析

汽车燃油经济性常用循环工况(城市、郊区和综合三种工况)的燃油消耗量进行评价。本文采用循环工况(NEDC)输入 map 图。计算的综合油耗结果为 10.09 L/100km。图 3 为该款轻型商用车在 NEDC 下的运行区域图^[2]。

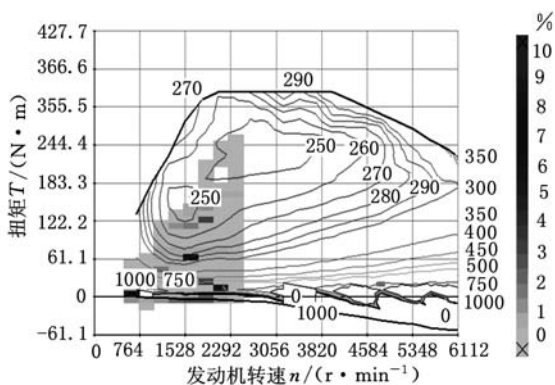


图 3 研制车辆在 NEDC 下的运行区域图

从图 3 可以看出,该款轻型商用车在 NEDC 循环下并未完全处于经济区域,仍然可以通过优化传动系速比的方法来改善其燃油经济性。

因该款轻型商用车属于 M2 类型车,故其设计指标需满足《轻型商用车燃油消耗量限值》的要求。另外,因该款车型的最大设计质量为 2950 kg,发动机排量为 2.0 L,故其油耗必须满足国家汽车第二阶段限值 9.7 L/100 km 的要求。从目前该车的仿真结果来看,该车的油耗距离国家第二阶段强制法规限值还有 0.39 L/100 km 的差距。

2 降油耗方法

为达到轻型商用车油耗强制法规的要求,本

文主要从降低整车风阻系数、降低轮胎滚动阻力以及调结构、减重量实现整车轻量化和进行传动系统速比优化等几个方面进行了研究,节油降耗措施如图 4 所示。

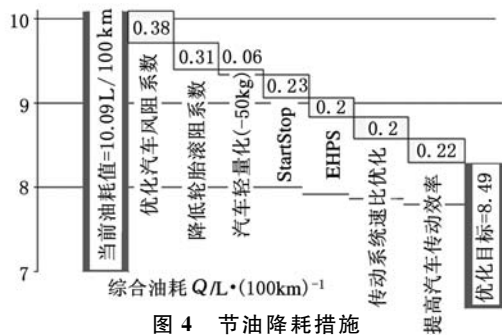


图 4 节油降耗措施

通过对图 4 各项措施节油降耗贡献量的预测,发现其中的汽车风阻系数优化、传动系统速比优化,以及减重实现汽车轻量化的投资成本相对较小,油耗贡献量较大,故将其作为本文的重点予以研究。

3 优化汽车风阻系数

汽车风阻系数 C_D 主要与汽车行驶过程中的空气阻力相关,汽车在水平路面行驶时,必须克服来自大气的空气阻力。因此,汽车经常需要消耗功率来克服空气阻力。所以,减小空气对汽车的行驶阻力,对节约油料、提高汽车的燃油经济性有着重要的意义。

汽车风阻系数 C_D 的大小取决于汽车的外形和车体表面的曲线以及质量等^[3],为了保证小的空气阻力和可靠的行驶稳定性,以及较低的车辆燃油消耗,必须改善汽车车身的空气动力学性能。

3.1 CFD 仿真与造型优化

以三维 CAD 数字模型为研究对象,采用 FLUENT 软件进行风阻 CFD 数值模拟。

3.2 车身前部造型优化

图 5 为车身前部风阻仿真结果图,在前保险杠、发动机盖、前风窗玻璃和后视镜背部壳体上出现了较大面积的正压区,其余为负压区。车辆前部压力较后部要大,前后的压差造成了汽车的压差阻力。这部分阻力占汽车总阻力的主要部分。若要降低汽车的空气阻力,就要设法使汽车前部压力降低或后部压力升高,从而降低压差阻力。

车头前端的倾斜和圆滑均能降低空气阻力。车头前端设计应尽量圆角化,使外形接近流线型,并减少前部的正投影面积。设计造型优化如下:

(1)将前保险杠拐角部位的棱角改为有曲率的圆弧外形,同时避免前保险杠和进气格栅等细

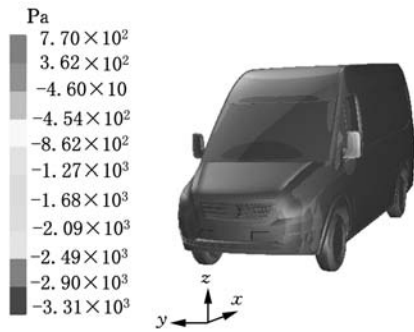


图5 车身前部风阻仿真结果

小部位的凸起和尖角,尽量使车身前部外形圆角化、流线型化。

(2)文献[4]研究发现,前风窗倾角在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 时风阻最小,考虑人机舒适性,适当减小前风窗倾角到 23.7° 。

(3)考虑前视野,前风窗上端的锥度增大 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 。通过造型优化后的车辆仿真试验表明,车辆前端的正压区域明显减小,整车风阻系数降低到0.361,减小5%。表2所示为造型优化后的风阻系数计算结果。

表2 造型优化后的风阻系数计算结果 120km/h

造型优化措施	计算的风阻系数	降低(%)
原造型风阻	0.38	
车身前部造型优化	0.361	5
轮罩造型优化	0.369	2.9
机舱和地板优化	0.368	3.1
车身后部造型优化	0.371	2.3
最终优化后的造型	0.33	13.3

3.3 轮罩造型优化

(1)原轮罩造型下端往里收,露出部分轮胎,造成流过侧围的气流直接冲撞到后轮胎上,使轮胎上的正压力增大,风阻增加。造型优化将原轮罩沿Y向往外走,基本覆盖轮胎,用减小气流直接冲撞轮胎的方法来减小风阻^[5]。

(2)针对来自轮罩的气流在轮腔内产生气流分离、形成涡流、增加风阻的特点,造型优化将轮罩设计成带有缓缓曲率,且其后端的挡泥板部位呈凹状形。该轮罩设计有效地避免了涡流的形成,采用该优化轮罩后的整车风阻系数降低到0.369,减小2.9%。其计算结果如表2所示。

3.4 机舱和地板下部增加导流板

地板下面的高低不平使得车辆底部的气流变得复杂,形成了强湍流区和各种复杂的涡流。造型优化采用在机舱和地板下部增加导流板,将汽车底部表面尽量设计成光滑的外形,让气流顺畅地流过,以降低地板下表面的摩擦损失,从而降低风阻。优化后的机舱和地板下部的整车仿真风阻系数降低0.368,减小3.1%。其计算结果如表2所示。

3.5 车身后部造型优化

图6为对称面车身尾部速度矢量分布图,来自汽车顶部和底部大量的气流卷入车身尾流中,致使气流在车身尾部产生气流分离和严重的尾涡。分析表明,压差阻力9%来自车身上部,而91%来自车身后部的尾涡。根据经验,减小尾涡的措施是将车身后部外形设计成带有组合锥角的尾锥度外形,故造型优化在确保驾驶室后座乘坐空间的前提下,从侧窗开始,使车顶和两侧外形形成曲率并逐渐缩小形成尾锥度,以便让气流平稳流过,形成稳定的尾流区域。尾流优化后的整车风阻系数降低到0.371,降低2.3%(表2)。

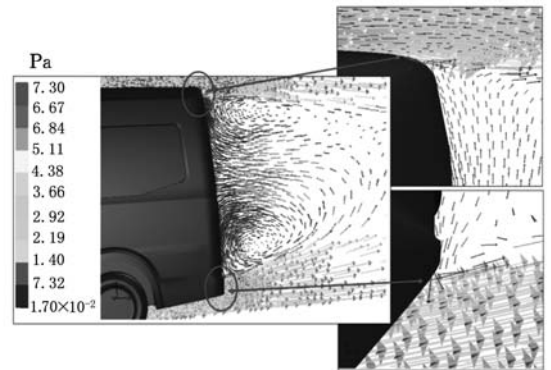


图6 对称面车身尾部速度矢量分布图

实现整车优化造型后的风阻系数由原来的0.38降至0.33,效果较为理想。经计算,油耗由原来的10.09 L/100 km降至9.85 L/100 km。

3.6 1:1油泥模型试验验证

为验证CFD分析的准确性,按优化后的造型进行1:1整车油泥模型空气动力学性能测试,试验在同济大学上海地面交通工具风洞中心进行,图7所示为油泥模型风洞试验实况。



图7 油泥模型风洞试验

油泥模型车辆姿态试验按半载车辆状态进行风洞试验,其轮胎胎压设计为0.22 MPa,车辆迎风面积设计为 2.35 m^2 。调整车身对称面与风洞中心对称面的夹角,使横摆角保证在 $0\pm 0.1^{\circ}$ 范围内。

试验按SAE J2881-2010标准进行,风速设定介于 $60\sim 140\text{ km/h}$,步长选为 20 km/h 。

本次试验对影响风速计算的环境参数(温度

和湿度)以及动压进行了实时采集。油泥模型风洞试验风阻系数测试结果如图 8 所示^[6]。选择 120 km/h 作为空气阻力评价点,则 $C_D = 0.305$, 因该轻型商用车油泥模型底盘以及格栅完全封闭,所以实际 C_D 值应大于油泥模型风洞试验值,其值应接近仿真计算的 0.33,这一结果同时也验证了仿真的准确性。

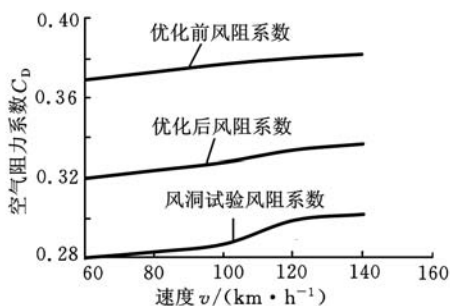


图 8 风阻曲线对比

通过以上造型优化后的整车风阻系数由原来的 0.38 降低到 0.33,降低了 13.3%。CFD 分析结果说明造型优化方案对降低风阻有很强的指导意义。

4 汽车轻量化

汽车质量主要通过滚动阻力以及加速阻力影响其燃油消耗量,减轻汽车质量的方法主要有汽车结构的优化设计、采用轻质材料和进行汽车工艺优化,本文主要通过汽车的结构优化来进行汽车轻量化设计^[7]。

4.1 座椅系统轻量化

座椅减重方案主要考虑将原靠背上的三根铁片变为两根,并考虑将座椅椅腿和座垫框架厚度由 2 mm 更改为 1.5 mm,如图 9 所示。

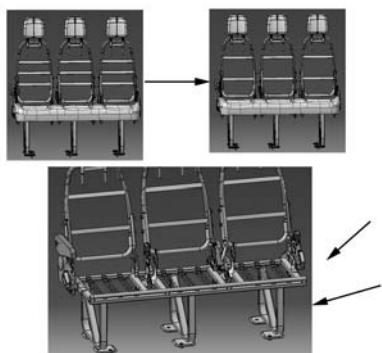


图 9 座椅轻量化方案

根据 GB 15083 的要求对各排座椅施加载荷,验证各个座椅是否发生断裂等失效行为,座椅材料按设计要求的 Q235B 标准选取。

试验结果表明,第一排、第三排的最大应力分别为 529 MPa、502 MPa。最大应变分别为 0.21 和 0.16。在可接受的范围内。而第二排和第四

排的最大应力、应变较大,尤其是第四排座椅,最大应力达到 595 MPa,最大应变达到 0.31,可能造成钣金撕裂。

所以,针对第二排、第四排座椅实施该方案存在风险。而第一排、第三排座椅减重方案可接受。受篇幅所限,白车身等其他零部件总成减重在此不再详述。合计优化减重 56 kg。经过 AVL-Cruise 仿真计算,该款商用车的油耗由座椅及白车身减重前的 9.85 L/100 km 降为 9.78 L/100 km。

4.2 优化轮胎滚阻系数

轮胎的滚阻系数 f 主要与汽车行驶过程中的滚动阻力相关,汽车在水平路面上行驶时,必须克服来自地面的滚动阻力。因此,汽车经常需要消耗功率来克服滚动阻力。表 3 所示为低滚阻轮胎成本与性能分析,轮胎滚阻系数由原来的 0.095 降为 0.008,虽供应商 A 的成本不变,但会造成总里程数下降,降低了轮胎的使用寿命;供应商 B 在原来成本的基础上增加了 6%,但总里程数不变,轮胎的侧向刚度、垂向刚度不变,不会影响汽车的操控稳定性及其制动性能。

表 3 低滚阻成本与性能分析

LTR 轮胎		
滚阻系数		0.095→0.008
成本	供应商 A	不变
	供应商 B	相比原成本增加 6%
总里程数	供应商 A	下降
	供应商 B	无影响
侧向刚性	供应商 A	无影响
	供应商 B	无影响
垂向刚性	供应商 A	基本无影响
	供应商 B	无影响

综合各种影响因素,最终选择供应商 B 为轮胎供应商。将当前的滚阻系数 0.008 通过修正空载滑行曲线的方式输入至 AVL-Cruise 仿真软件中,经仿真计算,车辆综合油耗由原来的 9.78 L/100 km 降为 9.48 L/100 km,优化效果明显。

5 传动系统速比优化

由图 3 可知,目前整车匹配的传动系统速比仍有优化空间,同上述几项节油降耗措施不同的是,速比优化在优化汽车的燃油经济性的同时会造成汽车的动力性能下降。故本文在进行汽车经济性优化的同时密切关注了汽车的动力性,在保证汽车动力性能至少满足设计目标要求的前提下,实现节能降耗。

该款轻型商用车的传动系总速比为 15.3/8.7/5.7/4.3/3.2/2.6,以 0~100 km/h 加速时

间^[8]和NEDC工况综合油耗为优化目标,以传动器总速比的放大因子 a_k 作为设计变量进行优化 $a \in (0.8, 1.2)$,其中的 a 为商用车等比例放大因子, k 为商用车初始传动系总速比。

图10所示为传动系统优化结果,由图11可知,当放大比例为1:1时,该款轻型商用车的动力性、经济性最佳。通过传动系总速比优化,该款轻型商用车的综合油耗由9.48L/100km降为9.27L/100km,优化效果较为明显,而0~100km/h加速时间由原来的11.09s提升为10.98s。相比原速比,优化后的动力传动系统总速比的运行区域更加经济。优化后的总速比为16.83/9.57/6.27/4.73/3.52/2.86。

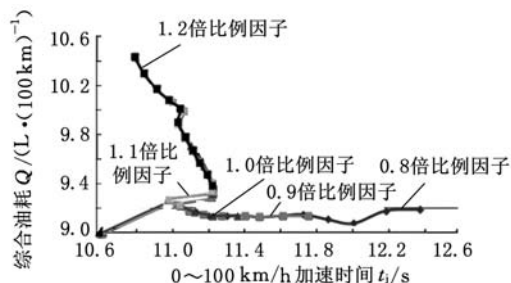


图10 传动系统优化

6 结论

(1)鉴于车身前部风阻占整车风阻的近一半,故本文重点研究了车身前部零部件的造型优化。车头造型尽量使其圆角化,消除过渡部位的棱角和转角以及细小的凸起,车头后倾,使车身外形接近流线型。(2)鉴于车身底部平滑度对风阻的影响较大,故增加了机舱或地板导流板,使地板下部外形尽量光滑,减小气流在车底的阻塞程度,以便气流顺畅地通过,避免其在车底形成涡流、增加车阻。(3)仿真发现,后视镜、轮罩、车门外拉手、顶盖和雨槽等零部件造型优化对降低整车风阻有一定的贡献率,其作用不可忽视。(4)研究发现,汽车白车身和座椅等系统轻量化,不仅可有效优化汽车的燃油经济性,而且对于节约汽车开发成本,提升汽车动力性能有着非常重要的作用。(5)汽车轮胎的滚阻系数对汽车的燃油经济性影响较大,在不考虑成本等因素影响的前提下,采用低滚阻轮胎为降低整车燃油消耗量的首选。(6)进行汽车的传动系统速比优化,可使汽车运行工况更加贴近经济区域。

参考文献:

[1] 韩宗奇,李亮.测定汽车滑行阻力系数的方法[J].汽车工程,2002,24(4):364-366.

Han Zongqi, Li Liang. A Method of Determining Coasting Resistance Coefficient[J]. Automotive Engineering, 2002, 24(4): 364-366.

[2] 陈昌年,曾凡灵.基于AVL CRUISE的轿车综合油耗的改善[J].汽车工程师,2013(5):43-45.

Cheng Cangnian, Zeng Fanling. Improvement on Passenger Car's Fuel Consumption Combined Cycle Mode Based on AVL Cruise[J]. Automotive Engineer, 2013(5): 43-45.

[3] Kim C, Chung J. Aerodynamic Aalysis of Tilt Rotor Unmanned Aerial Vehicle with Computational Fluid Dynamics [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2006, 20(4): 561-568.

[4] 范士杰,王开春.国产新型轿车空气动力特性的三维仿真计算[J].汽车工程,2000,22(5):293-296.

Fan Shijie, Wang Kaicun. 3-D Computational Simulation on Aerodynamic Characteristics of a China-made Car [J]. Automotive Engineering, 2000, 22(5): 293-296.

[5] 王新宇,王登峰,范士杰,等.商用车空气动力学附加装置减阻技术的应用及研究[J].机械工程学报,2011,47(6):107-112.

Wang Xinyu, Wang Dengfeng, Fan Shijie, et al. Reasearch and Application of Aerodynamic Drag Reduction Devices on Commercial Vehicle[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(6): 107-112.

[6] 庞加斌,刘晓晖,陈力,等.汽车风洞试验中的雷诺数、阻塞和边界层效应问题综述 [J].汽车工程,2009,31(7):609-615.

Pang Jiabin, Liu Xiaohui, Chen Li, et al. A Review on Reynolds Number, Blockage and Boundary Layer Effects in Automotive Wind Tunnel Tests[J]. Automotive Engineering, 2009, 31(7): 609-615.

[7] Molina A, Bell R. Reference Models for the Computer Aided Support of Simultaneous Egeineering [J]. Internation Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2002, 15(3): 192-213.

[8] Decicco J R M. Recent Advances in Auto-motive Technology and the Cost-effectiveness of Fuel Economy Improvement [J]. Transportation Research Transport and Environment, 1996, 12(2): 79-96.

(编辑 何成根)

作者简介:姜健,男,1984年生。上海汽车集团股份有限公司商用车技术中心工程师。主要研究方向为整车性能分析及优化。发表论文2篇。校辉,男,1978年生。上海汽车集团股份有限公司商用车技术中心总监。吴朝晖,男,1978年生。上海汽车集团股份有限公司商用车技术中心整体性能系统经理。吴冰,男,1982年生。上海汽车集团股份有限公司商用车技术中心整体性能系统经理。