

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2022.04.018

燃油乘用车滑行阻力系数测定优化

王儒梟¹, 张超¹, 周博雅¹, 黎苏², 李博¹

(1. 中国汽车技术研究中心有限公司, 天津 300300; 2. 河北工业大学 能源与环境工程学院, 天津 300401)

摘要: 为研究车辆滑行阻力系数对车辆续航和电耗的影响, 分析滑行阻力实测值与国标中给出的查表法推荐值之间的关系, 提高车辆性能测试结果准确性。基于车辆续航和油耗测试试验, 对14辆燃油SUV车型分试验组和对照组, 分别进行实际道路滑行试验。根据实际道路滑行试验的试验结果, 对比国标查表法推荐值, 采用实测值与查表法推荐值的差值做拟合的方法和实测阻力值进行阻力平均法, 分别得到了试验质量位于1 650~1 850 kg内的车辆滑行阻力值计算公式。将试验组车辆得到的计算公式计算对照组车辆的阻力值, 并将对照组车辆的实际滑行阻力值与计算阻力值进行对比分析。结果显示: 采用计算公式得到的阻力值与实际阻力值的差值在5%以内, 常用速度段内的误差在3%以内, 而采用查表法推荐值得到的阻力值与实测阻力值相差较大, 且在全部速度段内的阻力值均低于车辆的实测阻力值。之后通过模拟计算的方式, 计算分析了阻力实测值、计算值和查表法推荐值对车辆油耗的影响。结果显示采用计算公式计算的阻力值得到的车辆油耗与车辆实际油耗的误差为1.5%, 而采用查表法推荐值计算的车辆油耗与实测值相差6%~8%。通过模拟计算和实车试验验证了计算公式的实用性。

关键词: 汽车工程; 阻力计算式; 差值拟合; 乘用车; 滑行阻力

中图分类号: U467

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2022) 04-0160-06

Optimization of Measurement of Fuel Passenger Vehicle's Coasting Resistance Coefficient

WANG Ru-xiao¹, ZHANG Chao¹, ZHOU Bo-ya¹, LI Su², LI Bo¹

(1. China Automotive Technology Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300, China;

2. School of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: In order to study the influence of vehicle coasting resistance coefficient on vehicle endurance and power consumption, the relationship between the measured coasting resistance and the recommended value of look-up table method given in the national standard is analyzed to improve the accuracy of vehicle performance test result. Based on the vehicle endurance and fuel consumption test, the actual road coasting experiment on 14 fuel SUV types, which are divided into experimental group and control group, is carried out. According to the experimental result of the actual road coasting test, compared with the recommended values of the look-up table method given in the national standard, the calculation formulas of the coasting resistance values of the vehicle with the experimental mass within 1 650–1 850 kg are obtained respectively by using the method of fitting the difference between the measured value and the recommended value obtained by look-up table and the method of averaging the measured resistance values. The result shows that the difference between the resistance value obtained by the formula and the actual resistance value is within 5%, and the error in the common speed range is within 3%, while there is a big difference between the recommended value obtained by look-up table method and the measured resistance value, and the resistance values in all speed range are lower than the measured resistance value of the vehicle. Then, the influences of

收稿日期: 2021-04-01

基金项目: 纯电动汽车续航里程快速测评技术研究与应用项目 (19200121)

作者简介: 王儒梟 (1994-), 男, 河北衡水人, 硕士研究生. (1303770867@qq.com)

the measured resistance, calculated value and recommended value obtained by look-up table method on the fuel consumption of the vehicle are calculated by simulation calculation. The result shows that the error between the calculated resistance and the actual fuel consumption is 1.5%, while the difference between the fuel consumption calculated by the recommended value and the measured value is 6%–8%. The practicability of the formula is verified by simulation and real vehicle experiment.

Key words: automobile engineering; resistance calculation formula; difference fit; passenger vehicle; coasting resistance

0 引言

车辆滑行阻力系数的研究是降低整车阻力和能耗的一种有效的方法。对于轻型车而言,使用量大且频繁,其实际道路整车阻力在底盘测功机上的精准复现,对整车性能检测及发展有着重要的意义^[1-2],是整车燃油经济性评价,电车续航、电耗等性能测试和评价重要且关键的参数^[3-6]。在我国龚春忠^[7-8]和高岳^[9]、陈石人^[10]等分别研究了车辆道路滑行试验和车辆风洞试验,取得了一定的成果,但对于数据的获取和处理还存在着各种问题,比如精确度不高,选取速度点不合适,阻力影响因素较多等。张晓龙等^[11]通过对国六标准中车载风速仪滑行法做了梳理,引入风速测量和修正,在实际试验中车载风速仪基本不受外界环境影响,很好地反映车辆的真实性能,大大地提高了试验效率。杨凡等^[12]利用试验的方法对比滑行和查表法的续航里程,结果表明查表法续航里程能耗较低,阻力小于滑行法,在高速工况下,滑行法续航里程能耗较低,阻力小于查表法,在整个续航试验过程中电机回收能量相差不大。试验的方法可以获得较准确的滑行数据,但试验周期长,费用高,环境影响因素较大。除了通过试验方法外,还可以通过模拟计算的方式进行试验分析^[13-14],王彤^[15]通过cruise搭建了车辆单级减速和EM-CVT的纯电动汽车模型,并结合matlab得到了汽车动力性和经济性的仿真计算结果。许家毅^[16]利用cruise软件搭建商用汽车整车动力性及油耗仿真计算模型。完成车辆最高车速、爬坡度及加速时间的动力性和车辆燃油消耗的经济性仿真计算。

本研究基于前人的研究,对14辆燃油乘用车进行了实际道路滑行试验,并根据实测车辆滑行阻力对照国标中给出的推荐值进行了对比分析,分析滑行法和查表法之间的差值,并采用差值拟合和阻力平均两种方法,得到阻力计算公式,将阻力计算公式应用在验证车上,对应用计算公式得到的阻力进行验证。之后采用模拟计算的方式,

分析车辆实测油耗和计算值、推荐值得到的油耗之间的关系。

1 道路滑行试验要求

1.1 试验安排

首先根据国标要求^[17],滑行试验选择在清洁、平直、干燥的沥青混凝土路面进行,具有足够的长度,并且道路在任意3 m内坡度为 $\pm 0.5\%$ 以内,总长不大于1%。5 s内风速不大于5 m/s,2 s内峰值风速不大于8 m/s。本研究基于9辆燃油乘用车为基础展开试验,为保证在实际滑行过程中的风阻一致,车辆的整车尺寸保持在一定范围之内,即车辆的迎风面积一致,并选择无风或小风速条件下的同一时间进行。试验前各车辆均进行半小时热车准备,试验时车辆车窗、空调处于关闭状态。

1.2 试验车辆信息

对进行试验的所有车辆按照车型和试验质量进行了分组,并根据某质量段内的车次数量,做进一步的试验。试验车辆信息如表1所示。

表1 燃油乘用车试验车辆信息

Tab. 1 Fuel passenger experimental vehicle information

车型	整备质量/kg	最大质量/kg	长×宽×高/mm ³	类型
1 [#] SUV	1 504	1 960	4 700×1 860×1 746	燃油车
2 [#] SUV	1 470	1 850	4 655×1 835×1 760	燃油车
3 [#] SUV	1 557	1 978	4 574×1 876×1 664	燃油车
4 [#] SUV	1 690	2 215	4 780×1 837×1 730	燃油车
5 [#] SUV	1 603	2 090	4 545×1 850×1 655	燃油车
6 [#] SUV	1 680	2 205	4 625×1 860×1 720	燃油车
7 [#] SUV	1 606	1 960	4 645×1 880×1 690	燃油车
8 [#] SUV	1 661	2 110	4 620×1 846×1 690	燃油车
9 [#] SUV	1 660	2 185	4 706×1 909×1 664	燃油车

2 试验原理

2.1 滑行试验阻力计算及修正

正式测试时车辆加速到145 km/h,速度稳定后

空档滑行,记录车辆速度从 $V+\Delta V$ 降至 $V-\Delta V$ 的时间。在滑行过程中,尽量保持直行,并采用高低速两段滑行试验法,每段试验进行正反两次,消除风向^[18]对试验的影响。

滑行阻力计算公式为:

$$F_j = \frac{1}{3.6} \times (m_{av} + m_r) \times \frac{2 \times \Delta v}{\Delta t_j}, \quad (1)$$

式中, Δt_j 为在基准速度 v_j 下测量得到的往返滑行时间调和算术平均值; m_{av} 为道路载荷试验开始和结束时试验车辆的平均质量; m_r 为转动部件的等效有效质量。

通过公式计算得到车辆滑行过程中的阻力值,并通过最小二乘法得到道路载荷系数 f_0, f_1, f_2 。按照国标中的修正公式将试验条件下的阻力系数 A, B, C 修正到基准温度和基准条件下,修正后阻力计算公式为 $F = A + B \times v + C \times v^2$, 其中 v 为试验车速。修正公式为:

$$A = (f_0 - w_1 - K_1) \times [1 + K_0(T - 20)], \quad (2)$$

$$B = f_1 \times [1 + K_0(T - 20)], \quad (3)$$

$$C = f_2 \times K_2, \quad (4)$$

根据国标要求: w_1 为风速修正, $w_1 = 3.6^2 \times f_2 \times v_w^2$; K_0 为滚动阻力修正因子, $8.6 \times 10^{-3} K^{-1}$; K_1 为测量质量修正因子, $K_1 = f_0 \times (1 - TM_h/m_{av})$; K_2 为空气阻力修正因子, $K_2 = (T/293) \times (100/p)$ 。

2.2 查表法

根据《GB 18352.5—2013 轻型汽车污染物排放限值测量方法》^[19] 规定,在底盘测功机上模拟汽车道路行驶,需要对转鼓施加一部分阻力。阻力值可以通过车辆的整备质量加 100 kg,并通过查表的方式确定测功机设定的当量惯量和道路阻力系数,即可得到转鼓加载阻力 $F = a + bv^2$ 。查表法部分标准阻力系数如表 2 所示。

表 2 标准阻力系数

Tab. 2 Standard resistance coefficient

车辆基准质量/kg	当量惯量/kg	系数	
		a/N	$b/[N \cdot (km \cdot h^{-2})]$
1 530 < RM ≤ 1 640	1 590	7.6	0.051 5
1 640 < RM ≤ 1 760	1 700	7.9	0.053 6
1 760 < RM ≤ 1 870	1 810	8.2	0.055 7
1 870 < RM ≤ 1 980	1 930	8.5	0.057 7
1 980 < RM ≤ 2 100	2 040	8.7	0.059 1

3 结果分析

如图 1 所示是本次研究中所有乘用车的滑行阻力曲线分布图,图 2 是试验车辆实测值与推荐值差值分布。由于所选 14 辆燃油乘用车中,车辆的整备

质量和最大质量比较分散,而且试验结果也显示曲线分布较分散,所以,根据国五标准中滑阻系数的选择方法即对车辆的基准质量分区段分析,对试验中的所有车辆也按照国标中的方法分区段分析。经过滑行阻力数据的分析以及试验车辆的质量分布,在 1 650~1 850 kg 试验质量段内的 9 辆车做进一步的分析,其余车辆由于相应质量段内试验车辆辆次少,故不予分析。

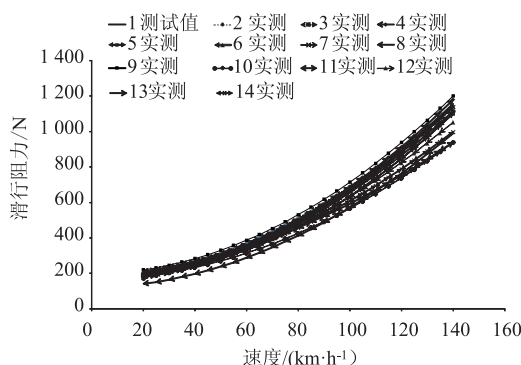


图 1 所有试验乘用车滑行阻力

Fig. 1 Coasting resistances of experimental passenger vehicles

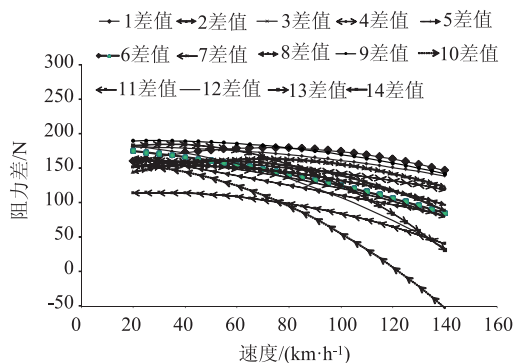


图 2 试验车辆实测值与推荐值差值

Fig. 2 Differences between measured and recommended values of experimental vehicles

如图 3 和图 4 所示是部分燃油车实际道路滑行阻力与推荐值阻力分布图,图 5 是各试验车实际道路滑行实测值与推荐值的差值分布。从试验数据分析,随着速度的增长,推荐值与实测值之间的误差逐渐降低,由 87%变化到 11%,但始终低于实测值,尤其是在低速度段时,推荐值阻力值非常小,与车辆的实际阻力相差较大,在 110 km/h 以上时差值在 20%之下,但始终在 10%以上。根据实测值与推荐值的差值分布可以看出,两者的差值在 80~200 N 之间,相差较大。由于这种车型的迎风面积较大,在滑行过程中的风阻对车辆的行驶阻力影响较为明显,尤其是在低速段,两者差值更为明显,且阻力值较

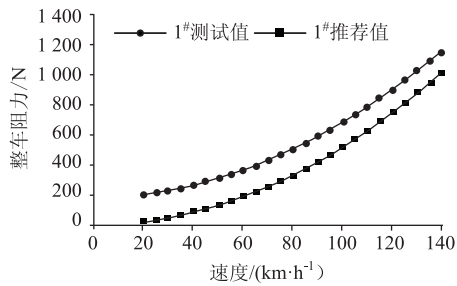


图3 1#实测值与推荐值

Fig. 3 Measured values and recommended values (1#)

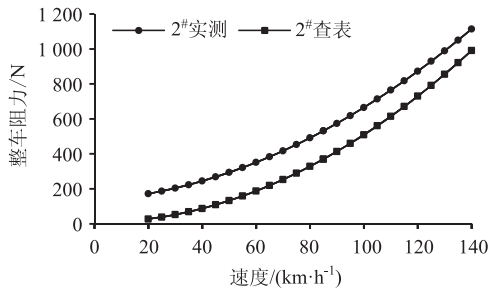


图4 2#实测值与推荐值

Fig. 4 Measured values and recommended values (2#)

分散。所以对于 SUV 车型而言,会出现车辆道路滑行阻力实测值在整个的滑行过程中行驶阻力始终高于阻力推荐值的现象,对于这种车型,在无法得到

实际道路滑行阻力系数的情况下,采用推荐值系数进行转鼓试验会使得试验结果较好,但不符合车辆实际情况,会使车辆的动力性和经济性与实际情况相差较大。所以想要通过采用实测值与推荐值的差值拟合得到修正车辆阻力计算公式的方法不适合用在较大车型的研究上。所以采用各速度点下阻力值求平均的方式进行研究。

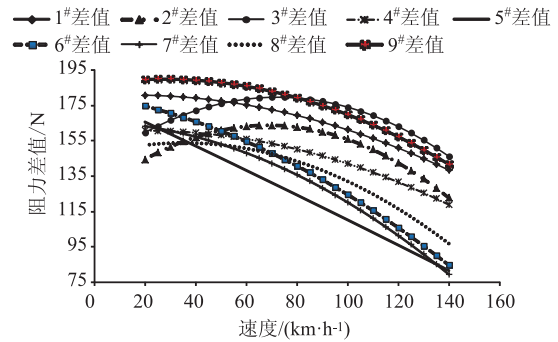


图5 试验车实测值与推荐值的差值

Fig. 5 Differences between measured values and recommended values of experimental vehicles

表3所示为试验组6辆车实测阻力值,对试验组6辆试验车各速度点下的阻力值做平均,然后根据平均值得到了该质量段下车辆阻力计算公式。

$$y = 0.047 2v^2 + 0.304v + 167.97。 \quad (5)$$

表3 各试验车滑行阻力

Tab. 3 Coasting resistances of experimental vehicles

	不同速度/(km·h ⁻¹)下各试验车滑行阻力/N										
	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
1#	872.92	764.95	665.40	574.27	491.56	417.27	351.40	293.95	244.92	204.31	172.12
2#	893.46	784.23	683.58	591.51	508.02	433.12	366.79	309.04	259.87	219.28	187.28
3#	845.32	734.02	632.97	542.18	461.66	391.39	331.38	281.64	242.15	212.92	193.95
4#	885.71	772.10	668.59	575.18	491.87	418.66	355.55	302.55	259.64	226.83	204.12
5#	865.89	755.72	654.81	563.16	480.77	407.64	343.77	289.16	243.80	207.71	180.88
6#	937.14	820.52	713.85	617.15	530.40	453.62	386.79	329.93	283.02	246.08	219.09

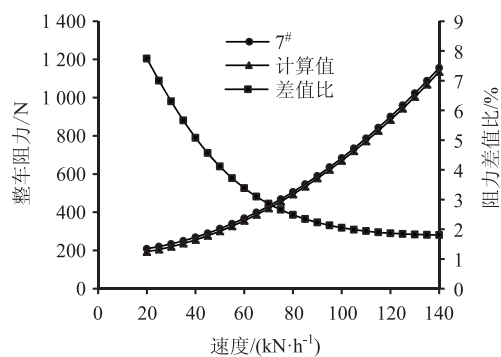
表4是验证车滑行阻力。将公式应用于3辆验证车辆中,结果如图6所示。7车的实测值与计算值之间的误差在1%~7%之间,在110 km/h速度下的阻力值与实测值的误差在5%以内,而车辆在实际道路行驶时处于110 km/h以内,所以可以认为该公式对于该车具有较好的适用效果。8车和9车计算值与实测值的误差均在5%以内,可以认为是工程误差。

表4 验证车滑行阻力

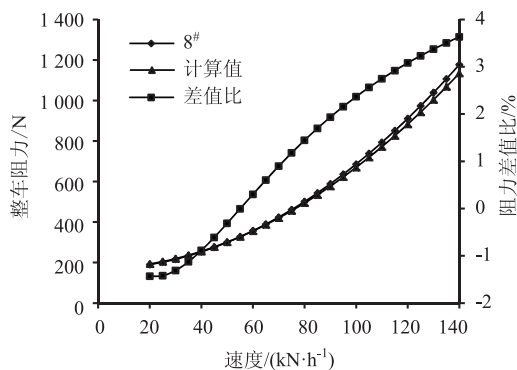
Tab. 4 Coasting resistances verification vehicle

	不同速度/(km·h ⁻¹)下各试验车滑行阻力/N										
	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
1#	900.20	787.17	683.90	590.39	506.64	432.65	368.42	313.95	269.24	234.29	209.10
2#	911.49	793.73	686.11	588.63	501.29	424.09	357.03	300.11	253.32	216.68	190.18
3#	881.28	767.78	664.20	570.54	486.80	412.98	349.08	295.10	251.04	216.90	192.68

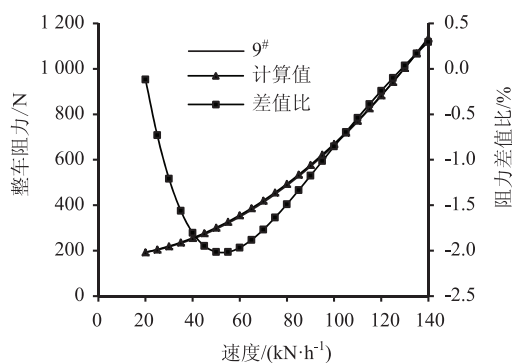
所以通过对3辆验证车辆的计算值与实测值的对比可以看出3辆验证车辆的阻力计算值与实测值的误差较小,计算公式得到的计算值与实测值之间的误差在5%以内,大部分速度点下的误差在3%以内,所以可以认为通过采用求取各速度点下阻力平均的方法得到的计算公式能够很好的计算出试验质量在1 650~1 850 kg内的车辆滑行阻力。



(a) 7#车阻力对比



(b) 8#车阻力对比



(c) 9#车阻力对比

图6 验证车辆计算值与实际值

Fig. 6 Calculated and actual values of verification vehicle

4 模拟计算

根据前文研究内容,采用 AVL-CRUISE 软件建立了3辆燃油乘用车的整车模型,根据要求建立车辆仿真任务。通过得到的阻力计算公式,在模型中分别改变车辆的滑行阻力系数,车辆的循环工况选择 NEDC 工况,模拟计算车辆在一个循环工况下的燃油消耗量。

图7~图9是3辆车的试验油耗和模拟计算油耗分布图。3辆车的实际油耗分别为 8.8, 8.82, 8.78 L/(100 km), 通过模拟计算,实测阻力系数的油耗值与实际试验测得的油耗值相差 0.4%~0.7%,

百公里耗油辆误差较小,因此认为建立的车辆模型可以用来研究车辆的整车性能。

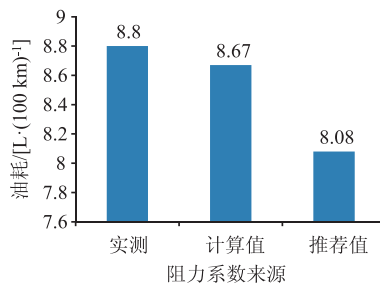


图7 11#车辆百公里油耗

Fig. 7 Vehicle fuel consumption per 100 km

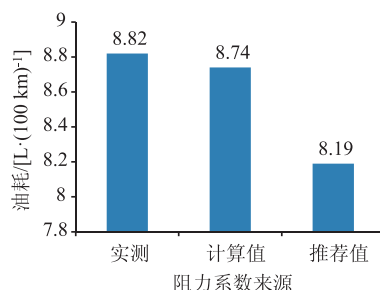


图8 12#车辆百公里油耗

Fig. 8 Vehicle fuel consumption per 100 km

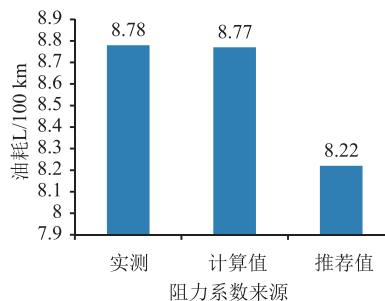


图9 13#车辆百公里油耗

Fig. 9 Vehicle Fuel consumption per 100 km

7#通过采用计算公式得到阻力系数的方法测得的油耗值为 8.67 L/(100 km), 与实测油耗值相差 1.5%; 而采用推荐值得到的油耗值为 8.08 L/(100 km), 与实测油耗值相差 8.2%。

8#通过采用计算公式得到阻力系数的方法测得的油耗值为 8.74 L/(100 km), 与实测油耗值相差 0.6%; 而采用推荐值得到的油耗值为 8.19 L/(100 km), 与实测油耗值相差 7.14%。

9#通过采用计算公式得到阻力系数的方法测得的油耗值为 8.77 L/(100 km), 与实测油耗值相差 0.1%; 而采用推荐值得到的油耗值为 8.22 L/(100 km), 与实测油耗值相差 6.4%。

从计算结果来看,车辆在无法得到实际道路滑行阻力系数时,采用推荐阻力系数计算得到的车辆百公里油耗与实际车辆百公里油耗值低很多,与实际不符。而采用计算公式得到车辆的滑行阻力系数,车辆的油耗与实际油耗比较接近。所以从车辆的百公里燃油消耗量来看,采用计算公式计算车辆的滑行阻力系数,是可以满足车辆的试验要求。

5 结论

通过以上试验和计算得出以下结论。

(1) 通过采用车辆实测阻力各速度点下阻力平均值的方法,得到了1 650~1 850 kg 试验质量段下的阻力计算公式,试验验证表明,计算值与实测值误差在常用速度段内的误差为5%以内,比查表法得到的阻力更接近实际值。

(2) 通过模拟,计算阻力系数得到的车辆百公里油耗与实测值的误差在1.5%以内,而推荐值得到的车辆百公里油耗与实测值相差6%~8%。相比查表法,计算公式更能反映车辆的实际油耗。

(3) 该研究结果表明,得到的计算公式可以计算出燃油乘用车在1 650~1 850 kg 质量段内的阻力,优化了国标中的阻力推荐值,但对于其他车型和质量段内的车辆是否适用,需要进一步的试验证明。

参考文献:

References:

- [1] 刘中拥,刘耀华,杨亮,等. 道路滑行阻力在整车开发中的应用简述[J]. 时代汽车, 2019, 15 (3): 6-7.
LIU Zhong-yong, LIU Yao-hua, YANG Liang, et al. Brief Introduction of Road Coasting Resistance in Vehicle Development [J]. Auto Time, 2019, 15 (3): 6-7.
- [2] 龚春忠. 汽车滑行试验的校正技术研究[J]. 汽车实用技术, 2020, 27 (12): 99-102.
GONG Chun-zhong. Research on Equivalent Energy Consumption Rate Description of Vehicle Coast-down Results [J]. Automobile Technology, 2020, 27 (12): 99-102.
- [3] 周阳. 整车空挡滑行阻力特征及应用研究[J]. 环境技术, 2019, 37 (4): 115-120, 144.
ZHOU Yang. Research on Coasting Drag Characteristic and Application on a Light Duty Vehicle [J]. Environmental Technology, 2019, 37 (4): 115 - 120, 144.
- [4] 殷健力,宫宝利,马毅,等. 不同转鼓加载阻力下的轻型汽车 WLTC 油耗差异[J]. 汽车工程学报, 2020, 10 (3): 219-227.
YIN Jian-li, GONG Bao-li, MA Yi, et al. Comparison of Light-duty Vehicle Fuel Consumption Test Results for Different Chassis dynamometer Resistance over the WLTC [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2020, 10 (3): 219-227.
- [5] 王春生,王坤城,孙浩. 滑行阻力对新能源汽车能量消耗量的影响分析[J]. 汽车实用技术, 2017, 24 (8): 157-158, 180.
WANG Chun-sheng, WANG Kun-cheng, SUN Hao. The Influence of the Sliding Resistance of New Energy Automobile Energy Consumption Analysis [J]. Automobile Technology, 2017, 24 (8): 157 - 158, 180.
- [6] 于志鹏,于洋洋. 底盘测功机阻力设定对油耗试验的影响[J]. 汽车实用技术, 2018, 25 (16): 96-98.
YU Zhi-peng, YU Yang-yang. Effect of Resistance Setting of Chassis Dynamometer on Fuel Consumption Test [J]. Automobile Technology, 2018, 25 (16): 96-98.
- [7] 龚春忠,彭庆丰,张政. 单纯形优化法在汽车滑行试验中的应用[J]. 汽车工程师, 2020, 27 (5): 31-34.
GONG Chun-zhong, PENG Qing-feng, ZHANG Zheng. Application of Simplex Optimization in Vehicle Coasting Test [J]. Tianjin Auto, 2020, 27 (5): 31-34.
- [8] 龚春忠,沈羨玉,刘金子,等. 汽车滑行试验速度间隔选取对精度的影响研究[J]. 汽车实用技术, 2019, 26 (24): 58-60, 78.
GONG Chun-zhong, SHEN Xian-yu, LIU Jin-zi, et al. Research on the Influence of Speed Interval Selection on Accuracy of Vehicle Coast-down Test [J]. Automobile Technology, 2019, 26 (24): 58-60, 78.
- [9] 高岳,李珍妮,杨一春,等. 风洞法测量汽车道路行驶阻力[J]. 汽车工程学报, 2019, 9 (1): 21-26.
GAO Yue, LI Zhen-ni, YANG Yi-chun, et al. Vehicle Road Load Measurement in a Wind Tunnel [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2019, 9 (1): 21-26.
- [10] 陈石人,王星,马艳飞,等. 风洞法和滑行法测量汽车道路行驶阻力的对比[J]. 汽车文摘, 2020, 3 (12), 17-21.
CHEN Shi-ren, WANG Xing, MA Yan-fei, et al. The Comparison of Wind Tunnel Procedure and Coast Down Method for Measuring Road Load [J]. Automotive Digest, 2020, 3 (12): 17-21.
- [11] 张晓龙,张鹏飞,应宇汀. 基于国六车载风速仪滑行法的试验研究[J]. 汽车实用技术, 2019, 26 (1): 88-90.

(下转第172页)

- [14] 张伟. 多功能路面清雪车侧雪铲研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2006.
ZHANG Wei. Study on Side Shovels of Multifunctional Road Snow Plows [D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [15] 苏国栋. 小型螺旋式除雪车螺旋刀具和车架的设计与有限元分析 [D]. 太原: 中北大学, 2014.
SU Guo-dong. Design and Finite Element Analysis of Spiral Cutter and Frame of Small Spiral Snow Removal Vehicle [D]. Taiyuan: North University of China, 2014.
- [16] 杨有为. 军用机场除雪车工作装置设计方案研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
YANG You-wei. Study on Design Scheme of Working Device of Snow Removal Vehicle in Military Airport [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010.
- [17] 姚长江. 涡喷除冰车数值分析 [D]. 长春: 吉林大学, 2012.
YAO Chang-jiang. Numerical Analysis of a Vortex-jet Deicing Vehicle [D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [18] 边丽娟. 清雪车抛雪离心风机特性与结构优化研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2009.
BIAN Li-juan. Study on Characteristics and Structure Optimization of Centrifugal Fan for Snow Removal Vehicle [D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [19] 郑传彬. 振动除雪铲结构优化设计研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2015.
ZHENG Chuan-bin. Study on Structure Optimization Design of Vibration Snow Shovel [D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [20] 邓洪超. 积雪路面 GPR 探测信号处理与雪铲自动控制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2007.
DENG Hong-chao. Study on GPR Detection Signal Processing and Automatic Control of Snow Shovel on Snow-covered Roads [D]. Changchun: Jilin University, 2007.
- [21] 邓洪超, 马文星. DQX 路面除雪车浮雪铲除雪作业模型 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2005, 65 (4): 381-385.
DENG Hong-chao, MA Wen-xing. Snow-shoving Model of Shovel of DQX Road-surface Snowplough [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2005, 65 (4): 381-385.
- [22] 李建. 清雪滚刷刷毛力学性能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2015.
LI Jian. Study on Mechanical Properties of Snow-cleaning Roller Brush [D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2015.

(上接第 165 页)

- ZHANG Xiao-long, ZHANG Peng-fei, YING Yu-ting. Onboard-anemometer Based Coastdown Experimental Research [J]. Automobile Technology, 2019, 26 (1): 88-90.
- [12] 杨凡, 马艳飞, 陈石人. 滑行法和查表法对续航里程的影响 [J]. 汽车实用技术, 2020, 27 (9): 182-188.
YANG Fan, MA Yan-fei, CHEN Shi-ren. The Effect of Coast Method and Look-up Table Method on Mileage [J]. Automobile Technology, 2020, 27 (9): 182-188.
- [13] 刘雨龙. 基于 Cruise 对乘用车发动机对于汽车性能影响的匹配与分析 [J]. 时代汽车, 2018, 14 (12): 37-38.
LIU Yu-long. Matching and Analysis of Influence of Passenger Vehicle Engine on Vehicle Performance Based on Cruise [J]. Auto Time, 2018, 14 (12): 37-38.
- [14] 唐飞. 两款发动机的整车动力性经济性仿真对比分析 [J]. 安徽科技, 2018, 25 (10): 45-47.
TANG Fei. Simulation and Comparative Analysis of Power Performance and Economy of Two Engines [J]. Anhui Science and Technology, 2018, 25 (10): 45-47.
- [15] 王彤. 搭载 EM-CVT 的纯电动汽车的动力性与经济性匹配分析 [D]. 重庆: 重庆理工大学, 2020.
WANG Tong. Matching Analysis of Power Performance and Economy of Pure Electric Vehicle Equipped with EM-CVT [D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2020.
- [16] 许家毅. 基于 AVL-CRUISE 的快运物流重型载货车油耗性能匹配优化 [D]. 长沙: 湖南大学, 2019.
XU Jia-yi. Optimization of Fuel Consumption Performance of Heavy Truck for Express Logistics Based on AVL-CRUISE [D]. Changsha: Hunan University, 2019.
- [17] GB 18352.6—2016, 轻型汽车污染物排放限值及测量方法 (中国第六阶段) [S].
GB 18352.6—2016, Limits and Measurement Methods for Emissions from Light-duty Vehicles (CHINA 6) [S].
- [18] 罗雄, 刘易斯. 汽车道路滑行阻力的研究 [J]. 汽车科技, 2019, 49 (6): 19-22.
LUO Xiong, LIU Yi-si. Research on Vehicle Road Coast Down Resistance [J]. Automobile Science & Technology, 2019, 49 (6): 19-22.
- [19] GB 18352.5—2013, 轻型汽车污染物排放限值及测量方法 (中国第五阶段) [S].
GB 18352.5—2013, Limits and Measurement Methods for Emissions from Light-duty Vehicles (CHINA 5) [S].