

48 V 车型燃料消耗量标准分析及试验研究*

刘桂彬,刘志超,陆春,曹冬冬

(中国汽车技术研究中心有限公司,天津 300300)

[摘要] 本文中对传统乘用车和混合动力乘用车燃料消耗量试验方法标准进行了分析,结合标准的有效性、适用性及其他国内外相关标准的具体内容,提出将48 V车型归为混合动力类型的建议。选取我国4款主流48 V车型进行燃料消耗量试验研究,首先结合发动机、电机的工作特性及试验过程中动力系统的能量输出/输入情况,对48 V系统的节能性进行了理论分析;综合4款车型的试验结果得出:48 V系统可使车辆燃料消耗量降低0.47 L/100 km,相当于节油6.48%。

关键词:48 V车型;燃料消耗量;标准;试验

Standard Analysis and Experimental Study on Energy Consumption of 48 V Vehicle

Liu Guibin, Liu Zhichao, Lu Chun & Cao Dongdong

China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300

[Abstract] This paper analyzes the standards of the test methods of fuel consumption of conventional and hybrid passenger cars. Based on the validity and applicability of the standards and other relevant standards at home and abroad, this paper puts forward the suggestion that the 48 V vehicles should be classified as hybrid electric vehicles. In order to carry on the fuel consumption experimental research, four mainstream 48 V models in our country are selected. Firstly, energy-saving of the 48 V system is theoretically analyzed according to the operating characteristics of the engine and the motor and the power output / input of the power system during the test. According to the test results of the four models, it can be concluded that the 48 V system can reduce the vehicle fuel consumption by 0.47 L/100km, which is equivalent to fuel saving of 6.48%.

Keywords:48 V vehicle; fuel consumption; standard; test

前言

48 V系统的提出主要有两方面的原因:(1)随着汽车技术的发展,车用电器数量及功率需求进一步提升,使得原有的12/14 V系统技术水平达到了极限;(2)各国对节能的要求越来越严格,我国自2020年起,乘用车燃油消耗量要达到5.0 L/100 km^[1],这迫使企业在优化产品的同时,必须采取各种节能的技术手段。

与常规的混合动力技术相比,48 V系统的工作电压很低,能稳定保持在直流36~52 V安全电压范围内^[2],距离直流60 V安全电压的限值还有一定的空间;其次,48 V车型相当于仅在传统车型上增加一套48 V系统,保留了车辆原有的设计结构,开发周期短、难度小^[3];最后,48 V系统的成本低至高压混合动力系统的30%,却可以带来接近其70%的性能^[4],能够实现10%~15%甚至更高的节油率^[5]。

本文从48 V系统的工作特点出发,对能耗相关的标准进行了全面的分析,提出了48 V车型的分类

* 国家重点研发计划(2018YFB0106405)资助。

原稿收到日期为2018年7月5日,修改稿收到日期为2018年9月21日。

通信作者:刘志超,工程师,硕士,E-mail:lzctalent@163.com。

建议;选取4款典型车型进行了相关研究,从理论分析和试验验证两个角度评价我国现有48V系统的节能水平。

1 标准分析

对于48V车型,目前我国均按照传统车的型式进行认证,但是从工作特点上来说该车型与混合动力更为相似。因此标准的分析需从传统车与混合动力车两条路线进行。

1.1 48V车型相关的燃料消耗量测试标准

48V车型在现有的标准体系下进行燃料消耗量的研究时,主要涉及的标准如表1所示。

表1 燃料消耗量测试相关标准

标准号	年代号	标准名称
GB 27999	2014	乘用车燃料消耗量评价方法及指标
GB/T 19233	2008	轻型汽车燃料消耗量试验方法
GB/T 19753	2013	轻型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法
GB 18352.3	2005	轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国III、IV阶段)
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)
GB 19755	2016	轻型混合动力电动汽车污染物排放控制要求及测量方法

GB 27999—2014是关于企业平均燃料消耗量(CAFC)的总体要求,包含所有的乘用车种类,该标准是对企业轻型乘用车的总体评价。GB/T 19233—2008针对传统车型,GB/T 19753—2013针对混合动力车型,两个标准对于燃料消耗量的计算均采用碳平衡法,详见式(1)。GB 18352.3—2005为传统车III,IV阶段排放标准,是GB/T 19233—2008和GB/T 19753—2013直接用引的标准,按照其测得的HC,CO和CO₂直接支撑上述两个标准燃料消耗量的计算;GB 18352.5—2013为传统车第五阶段排放标准,标准中规定“对于轻型混合动力电动汽车,相关试验按GB/T 19755的规定进行^[6]”,因此该标准不应用于混合动力电动汽车排放的测试;GB 19755—2016的发布实施代替了GB/T 19755—2005,标准中I型试验的测试流程与GB/T 19753—2013基本一致,相关排放物的测量和计算参照GB 18352执行。

$$FC = \frac{12+i}{120D} (0.866HC + 0.429CO + 0.273CO_2) \quad (1)$$

式中:FC为燃料消耗量,L/100 km;i为燃料的碳氢比;D为15℃下燃料的密度,kg/L;HC为HC排放量,g/km;CO为CO排放量,g/km;CO₂为CO₂排放量,g/km。

各标准之间的关系如图1所示。

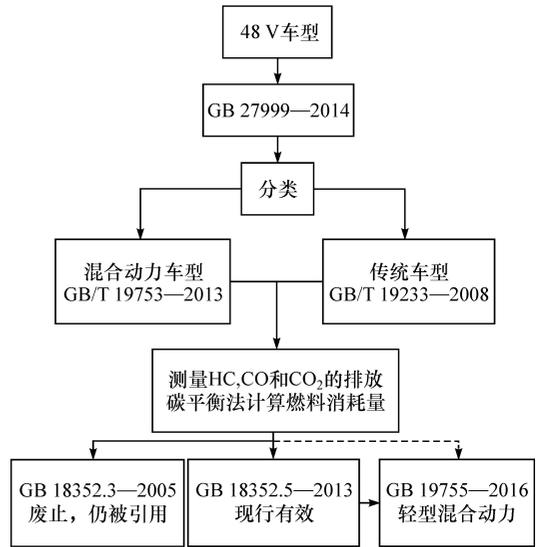


图1 48V车型燃料消耗量测试的标准路线图

尽管GB 18352.3—2005是目前轻型车油耗测试的引用标准,但该标准实际上已经废止。因此对于现有车型,尤其是48V这种新兴车型,应对标相应标准的最新有效版本,即对于排放的测试,传统车型应按照GB 18352.5—2013执行,混合动力车型应按照GB 19755—2016执行。

1.2 48V车型分类的建议

48V车型存在两种动力装置,在实际运行过程中电池系统的电量处于动态变化过程中,因此在计算48V车型的燃料消耗量时,应消除电量变化的影响。若按照传统车标准GB/T 19233—2008进行测试,试验结果中没有考虑电量的变化,通过碳平衡法计算得到的值即为车辆油耗的最终结果,而该结果可能与车辆真实的油耗情况存在着一定的偏差,多次测试的结果可能会存在较大波动,重复性较低。另一方面,若规定48V车型属于传统类别,在此基础上开展的节能技术需按照GB 27999—2014执行,该标准规定“对采用一种或多种循环外技术/装置(例如,怠速起停装置、换挡提醒装置、高效空调……)的车辆,其车型燃料消耗量可相应减去一定额度,但最多不超过0.5 L/100 km^[7],但通过调研了

解到,48 V 车型搭载的换挡提醒装置已可实现近 0.5 L/100 km 的节能水平,随着技术的进步和其他节能装置的采用,定会远大于该限值。综合来说,这种分类方式既不科学,同时会使得企业对 48 V 系统和其他节能技术的研发积极性下降。

若规定 48 V 车型属于混合动力类别,根据 GB/T 19753—2013 的相关内容,该车型为不可外接充电的混合动力电动汽车,试验结果考虑了电量的变化,若超出一定范围则需要多次试验,通过线性回归,得到电耗为 0 时的油耗值,该结果为试验车辆的综合油耗情况,具有客观性。另一方面,归为混合动力的类别也会使得目前的新兴节能技术换挡提醒装置免除 GB 27999—2014 中“0.5 L/100 km”的限制,因为 GB/T 19753—2013 中规定试验挡位的变化可按照制造厂的说明执行。

在其他领域,目前国际上已有的标准法规,包括 ECE R100, EVS-GTR 等,均将 48 V 车型纳入到轻型混合动力的范畴进行讨论;我国刚刚完成的 GB/T 18384.3—2015《电动汽车安全要求第 3 部分:人员触电防护》标准有关 48 V 系统电安全的修改单(国标委 2017 年第 16 号公告),同样是按照该思路进行的相关要求。另外,已发布的 GB/T 19596—2017《电动汽车术语》中,混合动力电动汽车的定义中也涵盖 48 V 车型。随着汽车全球化进程的不断加深,对于国际上已有的标准和相关技术,应积极地协调并吸收其中适合我国的技术内容;而对于不同的领域,标准对车辆类别的划分上也应保持一致。基于此建议在开展燃料消耗量的相关研究时,将 48 V 车型归为轻型混合动力车型类别,如图 2 所示。

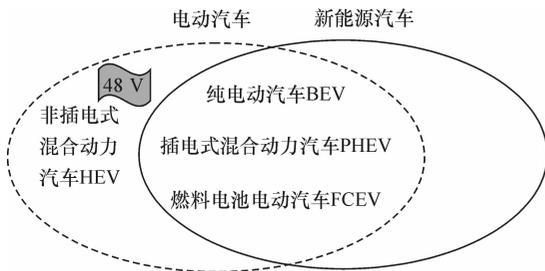


图 2 48 V 车型分类建议

2 48 V 车型燃料消耗量分析

2.1 48 V 系统节能性的理论分析

与传统车型相比,48 V 车型在起停阶段、行进阶段、滑行和制动阶段的油耗均有一定的改善。

2.1.1 起停阶段

对于传统汽车,发动机在怠速阶段持续运行,此时的油耗高,排放也很恶劣。另外,在实际驾驶过程中,怠速阶段的占比也比较高,现有标准采用的 NEDC 工况怠速比例高达 22.6%,因此对该阶段进行技术优化可以有效地降低车辆的综合油耗和排放。

自动起停技术是在原有发动机的基础上增加了一套具有怠速起停功能的电机系统,使汽车在满足怠速停车条件时,发动机能够完全熄灭。当车辆需要起动前进时,电机系统迅速响应起动指令,快速起动发动机^[8],从而大大降低油耗和排放。车辆在拥堵地段或者路口停止行进时,驾驶员踩下制动踏板并停车换挡,此时起停系统会自动检测:发动机空转且没有挂挡;防锁定系统的车轮转速传感器显示为零;电子电池传感器显示有足够的能量进行下一次起动。满足这 3 个条件后,发动机自动熄灭。当再次踩下离合器时,发动机便会立刻起动。对于自动挡车型,发动机起动的指令为松开制动踏板或者转动转向盘。

在发动机持续关闭的过程中,48 V 大容量电池利用存储的能量维持车载电气的正常运行,因此不会影响车辆空调、音响等设备的使用。

2.1.2 行进阶段

在车辆行进过程中,48 V 系统可以根据车辆的需求,通过电机转矩的变化使得发动机工作在相对合理的位置,甚至关闭发动机,从而实现油耗的降低;另一方面,关闭发动机还会减小车辆在行进过程中的拖拽阻力,进一步降低 48 V 系统的电耗。图 3 为某款车型在发动机的各转速下,动力系统可稳态输出的转矩。

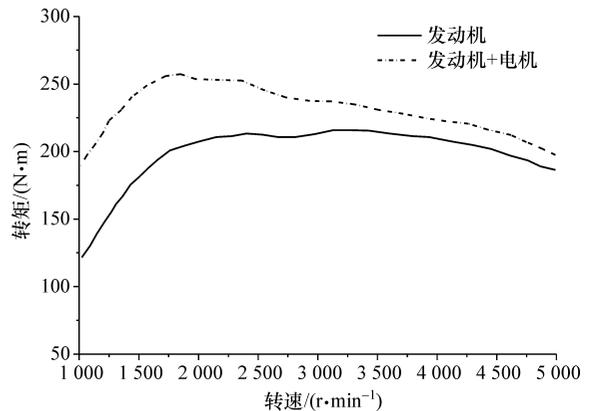


图 3 发动机和电机稳态输出转矩

由图 3 可见,48 V 系统在发动机的任一转速状

态下均能为车辆的行驶提供很大的转矩支持。在转速低于 2 000 r/min 时,电机的可输出转矩基本是恒定的,同时也是最大的,这种特性也是基于发动机的油耗特性制定的。发动机的经济转速通常在 2 000 r/min 以上,低转速下发动机的油耗较大,此时电机输出转矩,使发动机尽快达到经济转速从而实现油耗降低。转速高于 2 000 r/min 时,随着转速的进一步增加,电机的可输出转矩呈缓慢降低的趋势,此时的作用主要是为车辆的加速提供助力,以缓解加速导致的油耗增加。

另外,48 V 系统还可以在车辆行进的全过程中实现对发动机工作点的调节。图 4 为某款车型试验过程中 48 V 系统改善发动机工作情况的示例。

相对较小,这样可以避免再生制动转矩过大导致的速度降低太快,致使驾驶员踩加速踏板,得不偿失。图 5 为滑行和制动阶段再生制动的示意图,能量回收时输出转矩为负,因此方向向下。

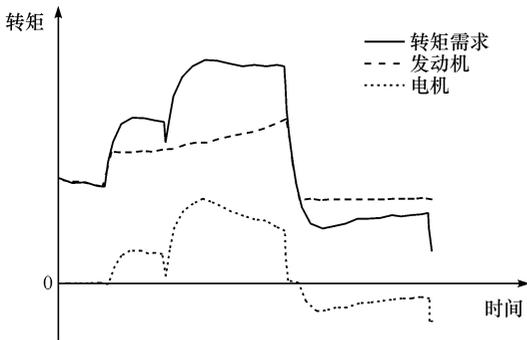


图 4 48 V 系统对发动机工作情况的改善

车辆在实际行进过程中,对转矩的需求变化很剧烈,而发动机相对高效的工作区域通常很小。因此,为实现发动机的高效工作,同时保持车辆原有的设计型式,48 V 系统是一个很好的选择。车辆搭载 48 V 系统后,动力源不再单一,使得控制策略、系统优化等变得更加灵活。由于 48 V 系统的工作效率受负荷变化的影响远小于发动机,因此两种动力系统在联合作用时,首先要尽可能地使发动机处于较为高效的工作状态,然后根据车辆的需求,48 V 系统给予适当的补充或是回收。图 4 中电机工作的前两个阶段,发动机输出转矩不足以满足车辆需求,此时 48 V 系统消耗能量输出转矩;后一个阶段,发动机输出转矩过剩,但效率更高,因此保持发动机的该工作状态,而将剩余的能量用于给 48 V 系统的电池充电。

2.1.3 滑行和制动阶段

对于 48 V 车型,在滑行阶段,离合器分离发动机和传动系统的机械连接,实现发动机的彻底关闭^[9],有效地降低了油耗,同时使得滑行距离更远。另一方面,滑行阶段也存在着一一定的能量回收,只是

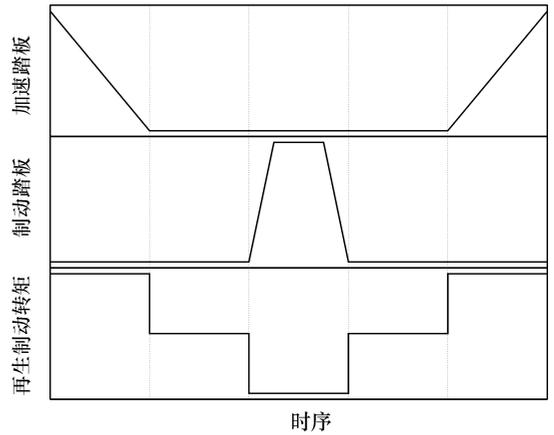


图 5 再生制动示意图

由图 5 可以看出,在加速踏板松开之后,再生制动开始生效。初始状态下,制动踏板并未踩下,车辆处于滑行阶段,制动能量开始回收但相对较小;当制动踏板踩下时,再生制动充分发挥能量回收的功能,此阶段为回收能量的主要来源;制动踏板松开后,若车辆仍处于滑行状态,再生制动系统依旧生效,回收的能量与之前的滑行状态相近。当加速踏板踩下时,再生制动系统关闭,能量回收结束。

2.2 48 V 车型燃料消耗量的试验研究

为评价 48 V 系统的节能效果,本文中选取了 4 款不同企业的 48 V 车型进行试验,各车型动力系统的主要技术参数如表 2 所示。

表 2 试验车辆动力系统主要技术参数

车辆编号		1	2	3	4
发动机	排量/L	1.2	1.5	1.2	1.0
	进气方式	自然吸气	增压	增压	增压
	额定功率/kW	60.3	110	85	88
	最大转矩/(N·m)	116	230	200	170
48 V 电机	峰值功率/kW	11	10	11	11
	峰值转矩/(N·m)	35	50	35	35

对每款车型分别进行两种动力型式的试验:一种保持两种动力系统联合工作,试验结果即为 48 V 车型的综合油耗水平;另一种通过程序设置断开 48 V 系统,使车辆仅存在发动机的动力型式,发动机的

标定及其他试验条件保持不变,试验结果为相对应的传统车型的油耗水平。两种试验的差值即为 48 V 系统对该款车型的总体油耗改善情况。

根据 1.2 节的分析,在进行油耗试验时,48 V 车型需按照标准 GB/T 19753—2013 执行,而传统车型需按照 GB/T 19233—2008 执行,试验主要设备见表 3;试验工况为 NEDC;试验流程如图 6 所示。

表 3 试验主要设备

设备	型号	厂商
底盘测功机	ECDM-48L-4WD	德国 MAHA
排放分析系统	MEXA-7400LE	日本 HORIBA
定容稀释系统	CVS-7400	日本 HORIBA
电流探头	701931	日本 YOKOGAWA



图 6 试验流程

试验的规范性直接影响着试验结果的科学性,因此需要对每次试验的工况曲线跟踪情况进行分析。图 7 和图 8 为其中一次试验的速度情况。

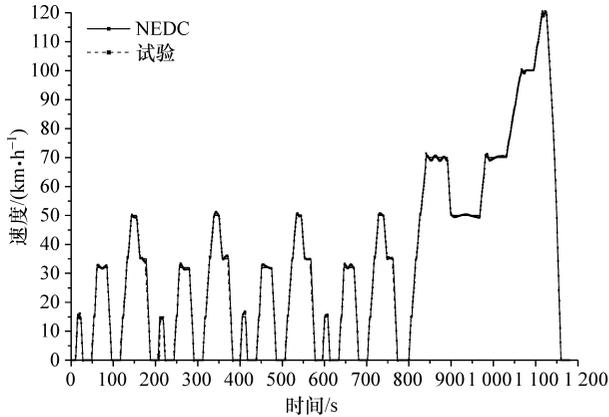


图 7 试验速度对 NEDC 的跟踪

由图 7 可以看出,试验速度能够很好地跟踪 NEDC 目标速度。通过图 8 的进一步分析可以得出,两者总体的速度点基本一一对应,仅有极个别点存在相对较大的出入,但是对于整个循环 1 180 个速度点来说可以忽略不计。对试验速度与 NEDC 目标速度进行线性相关性分析,可以得出两者的线性关系,如式(2)所示。

$$v = 0.21899 + 0.99273v_0 \quad (2)$$

式中: v 为试验速度, km/h; v_0 为 NEDC 目标速度,

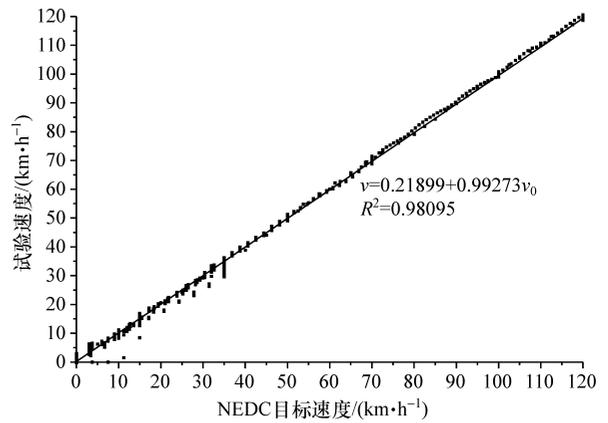


图 8 试验车速与 NEDC 的线性相关性

km/h。

可以看出,式(2)的截距趋近于 0,斜率趋近于 1,说明两者的关系近似于 $v \approx v_0$;另一方面,两者的线性相关系数 R^2 为 0.980 95,这表示所有速度点的综合误差很小。通过这两方面的分析可以得出:该试验能够很好地反映车辆在 NEDC 循环下的油耗情况。

其他 7 次试验也采取了上述相同的方法进行分析,结果表明各试验均能很好地跟踪 NEDC 目标车速。

传统车的试验结果即为最终的油耗水平;而对于 48 V 车型的试验结果,需按照 GB/T 19753—2013 的要求,根据电能平衡值与燃料消耗能量的比值确定 48 V 车型的综合油耗情况,相关的计算方法如式(3)~式(5)所示。

$$\Delta E_{\text{batt}} = 0.0036QU \quad (3)$$

式中: ΔE_{batt} 为电能平衡值, MJ; Q 为电量平衡值, $A \cdot h$; U 为 48 V 电池额定电压, V。

$$Q = \int I dt \quad (4)$$

式中 I 为储能装置母线电流, A。

$$NIT = C \times D \times q \quad (5)$$

式中: NIT 为燃料消耗能量, MJ; C 为燃料消耗量, L; q 为燃料低热值, MJ/kg。

综合油耗的修正原则如下。

(1) 若 $|\Delta E_{\text{batt}}|/NIT \leq 1\%$, 无需修正,测量结果即为最终结果,计算方法见式(1)。

(2) 若 $1\% < |\Delta E_{\text{batt}}|/NIT \leq 5\%$, 测量结果需要通过线性回归进行修正,计算方法如式(6)所示。

$$FC_0 = FC - K_{\text{fuel}} \times Q \quad (6)$$

式中: FC_0 为修正后的燃料消耗量, L/100 km; K_{fuel} 为制造厂提供的修正系数, (L/100 km)/(A · h)。

(3) 若电池在每一个测试循环都处于放电的状态,且 $|\Delta E_{\text{batt}}|/NIT > 5\%$,试验无效。

需要说明的是,GB/T 19753—2013中提到的这3点理论上并没有涵盖所有的情况,“电池在每一个测试循环都处于充电的状态,且 $|\Delta E_{\text{batt}}|/NIT > 5\%$ ”没有在标准中提及,而这在实际过程中也不会出现,因为持续充电的结果会使燃料消耗量不降反增,不利于生产企业的能耗排放评估。

根据以上分析,对48 V车型的试验结果按照标准的要求进行线性回归判定和处理,得到各车型的综合油耗情况,如表4所示。

表4 4款车型的油耗结果

车辆编号	1	2	3	4
传统车型油耗/(L/100 km)	7.60	6.90	9.33	5.64
48 V车型油耗/(L/100 km)	7.20	6.50	8.69	5.19
综合节油率/%	5.26	5.80	6.86	7.98

将表4进行整理,可以更加直观地看出48 V系统的节能效果,如图9所示。

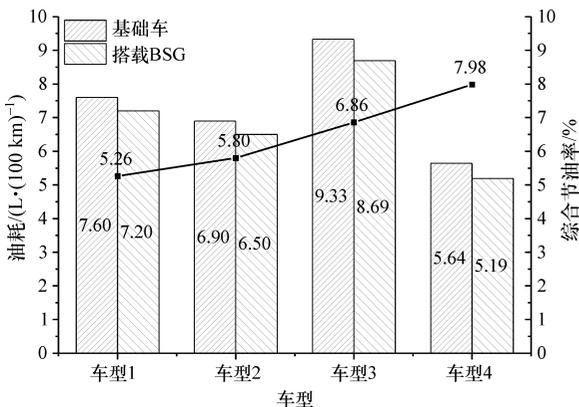


图9 48 V系统的节能性分析

由表4和图9可知,在各企业提供的车型中,48 V车型较传统车型的油耗均有一定程度的降低,降低水平在0.40~0.64 L/100 km范围内,相应的降低程度为5.26%~7.98%。取4款车型试验结果的平均值对48 V系统的节能性进行评价,可以得到48 V系统可使油耗降低0.47 L/100 km,相当于节油6.48%,节能效果显著。

结合表2还可以得出:增压车型搭载48 V系统后节油效果更好;48 V系统对油耗的降低程度有限,因此小排量发动机的节油率可能会更具优势。

3 结论

本文中,对48 V车型的燃料消耗量进行了系统的研究,通过标准法规的分析和试验结果的对比,得出了以下结论。

(1) 无论是从标准的适用性还是从国内外标准法规的协调性,48 V车型均宜划分为混合动力类别。在混合动力的标准体系下对48 V车型进行能耗评价一方面会更加科学,同时会促进行业对48 V车型的研发力度,有助于实现进一步的节能减排。

(2) 48 V系统在车辆的起停阶段、行进阶段、滑行和制动阶段均有很好的节油效果。由于不可外接充电,48 V系统的能量全部来源于车辆本身,因此评价48 V车型的能耗水平时仅需考察油耗指标。

(3) 48 V车型较传统车型油耗有显著的降低,综合本文中4款车型的试验结果可以得出:在我国现有的技术条件下,48 V系统可实现油耗降低0.47 L/100 km,相当于总燃料消耗量的6.48%。48 V系统在搭载增压、小排量发动机的车型上可实现更高的节油率。

参考文献

- [1] 赵冬昶,王昊,禹如杰,等.48 V汽车电气系统怠速起停技术应用趋势分析[J].汽车工业研究,2015(10):41-47.
- [2] KUYPERS M. Application of 48 volt for mild hybrid vehicles and high power loads[C]. SAE 2014 World Congress & Exhibition, 2014.
- [3] 王震,哈迪,张威威,等.48 V微混系统降低油耗策略分析[J].汽车技术,2017(2):1-4.
- [4] WEBER A. 48-volt systems will help reduce wiring costs[J]. Assembly, 2015, 58(12):10.
- [5] 刘巨江,何宇,连学通.48 V BSG混合动力系统控制策略开发及试验研究[J].车用发动机,2016(4):44-50.
- [6] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第五阶段):GB 18352.5—2013[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中华人民共和国国家标准化委员会.乘用车燃料消耗量评价方法及指标:GB 27999—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [8] 祁克光,黄开胜.增强型起动机起停系统与48 V BSG技术分析[J].汽车电器,2016(7):44-47.
- [9] BROWN A, NALBACH M, KAHNT S, et al. CO₂ emissions reduction via 48 V active engine-off coasting[J]. SAE International Journal of Alternative Powertrains, 2016, 5(1):68-78.