

48 V 车型换挡提醒装置的国家标准分析与节能性

王学平, 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, 中国)

摘要: 为研究换挡提醒装置(GSI)对48 V车型的节油效果, 开展了相关国家标准分析及试验。分析了48 V系统的加速性能, 对比了搭载GSI前后, 车辆在实际档位选取及新欧洲行驶工况(NEDC)下发动机的瞬态转速扭矩的差异; 并依据国家标准, 基于标准换挡及GSI换挡2种换挡策略, 进行了4款车型的油耗试验。综合国家标准分析及试验研究, 结果表明: 对于同一款48 V车型, 在相同的试验设置及NEDC测试循环下, 搭载GSI后可使100 km油耗降低0.38 L, 相当于节油5.80%; GSI对48 V车型的油耗改善大于对传统车型的影响。因此, 通过调节发动机的转速和扭矩, 可以改善油耗。GSI是一项新兴节能技术, 希望有关国家标准中得到体现。

关键词: 混合动力汽车(HEV); 换挡提醒装置(GSI); 节能; 国家标准; 48 V车型

中图分类号: TK 417 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1674-8484.2019.01.011

National standards analysis and energy saving on gear shift indicator for 48-V vehicles

WANG Xueping, LIU Zhichao*, LU Chun, CAO Dongdong

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

Abstract: Some tests for 48-V vehicles with gear shift indicator (GSI) were carried out, and China national correlation standards were analyzed to investigate the energy-saving of the GSI. After analyzing the acceleration performance of the 48-V system, compared the differences of the actual gear selection, transients speed and torque of engines between the 48-V vehicles with or without GSI, under the New European Driving Cycle (NEDC), 4 vehicles were tested under both the normal gear shift and the GSI strategies, according to the national standards, with combining the national standard analysis and tests. The results show that the fuel consumption per 100 km for 48-V vehicle with the GSI is reduced by 0.38 L (which is equivalent to the 5.80% of fuel economy) under the same test conditions and NEDC test cycle. And the fuel consumption reduction from GSI for the 48-V vehicle is greater than that of the conventional one. Therefore, adjusting the engine speed and torque can reduce the fuel consumption. As an emerging energy-saving technology, GSI should be reflected in relevant national standards.

Key words: hybrid electric vehicles (HEV); gear shift indicators (GSI); energy-saving; national standards; 48-V vehicles

收稿日期 / Received : 2018-07-16。

基金项目 / Supported by : 国家重点研发计划资助项目(2018YFB0106405)。

第一作者 / First author : 王学平(1975—), 男(汉), 天津, 高级工程师。E-mail: wangxueping@catarc.ac.cn。

* 通讯作者 / Corresponding author : 刘志超, 工程师。E-mail: liuzhichao@catarc.ac.cn。

中华人民共和国国务院发布的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020年)》及《中国制造2025》中均指出:自2020年起,乘用车100 km燃油消耗量需达到5.0 L。为应对该项指标,各企业都在积极寻找有效的解决方案。48 V系统也正是在这样的背景下得到了迅速的发展。

工作模式上,48 V车型与混合动力车型类似,电驱动系统在具备怠速启停功能的同时,也会在车辆行驶过程中提供动力^[1-2]。标准法规上,尽管欧洲经济委员会(Economic Commission for Europe, ECE)法规ECE-R100/02^[3],以及中华人民共和国国家标准GB/T 18384.3-2015《电动汽车 安全要求 第3部分:人员触电防护》^[4]修改单均排除了48 V系统高压电的属性,但是对于车辆类型的属性,已发布实施的中国国家标准GB/T 19596-2017《电动汽车术语》^[5]中,“混合动力电动汽车”的定义明确涵盖了48 V车型。从能耗评价的角度来说,48 V车型既包括燃料消耗又包含电量的变化,传统燃油车标准GB/T 19233-2008《轻型汽车燃料消耗量试验方法》^[6]仅考虑了燃料消耗,而混合动力电动汽车标准GB/T 19753-2013《轻型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法》^[7]考虑了这2种能量的变化并给出综合能耗的计算方法。因此在现有的能耗标准体系中,采取混合动力的型式对48 V车型进行能耗评价更为科学。本文的研究工作便是基于此分类开展的。

48 V车型主要动力源为发动机,针对其开展的节能技术有很多,而换挡提醒装置(gear shift indicator, GSI)作为其中新兴的一种,已被越来越多的企业所采用^[8-9]。换挡提醒装置装配于手动档车型,其工作原理主要是根据发动机的工作状态进行车辆档位变换的提示,目的是使发动机工作在效率相对更高的区域^[10]。

本文围绕48 V车型换挡提醒装置(GSI)的节能性开展了相关研究,主要对现有中国国家标准适用性进行了分析,在此基础上,对4款车型开展了燃料消耗量的对比试验,从而评价换挡提醒装置对48 V车型的油耗改善水平。

1 国家标准分析

对于装配换挡提醒装置的48 V车型,在进行燃料消耗量的标准分析时,重点需要开展试验规程和试验工况的研究工作,而换挡策略则是连接试验规程和试验工况的技术手段。因此,相关国家标准的讨论也要涵盖换挡策略的影响,具体情况如表1所示。

由表1可以看出:涉及的标准中仅有1个能耗标准,其他4个均为排放标准,这主要是因为现有的标准

表1 燃料消耗量测试国家相关标准

标准号	年份	标准名称	文献
GB/T 19753	2013	轻型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法	[7]
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)	[12]
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)	[13]
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	[14]
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)	[15]

体系中,试验过程中的标准换挡策略主要在排放标准中进行相关规定,能耗测试标准直接引用该部分内容。另外,燃料消耗量的确定也需要依据排放结果,通过碳平衡法计算得到,而在已发布的排放标准中,一方面针对不同的车辆类型存在不同的标准,另一方面,即使同一个标准也存在多个版本,因此为确保后续试验规程的规范性、试验结果的科学性。

各标准间的关联分析如图1所示。其中:WLTC为“全球统一轻型车辆测试循环(worldwide light-duty test cycle)的缩写”。由图1可知:在测量燃料消耗量时,涉及到的所有标准均服务于GB/T 19753-2013。按照该标准的相关要求,试验过程中的换挡策略可以按照GB 18352.3-2005中的相关规定进行,也可以根据企业的要求进行^[7]。因此,首先需要明确这种可选的方案在实际中的应用情况。

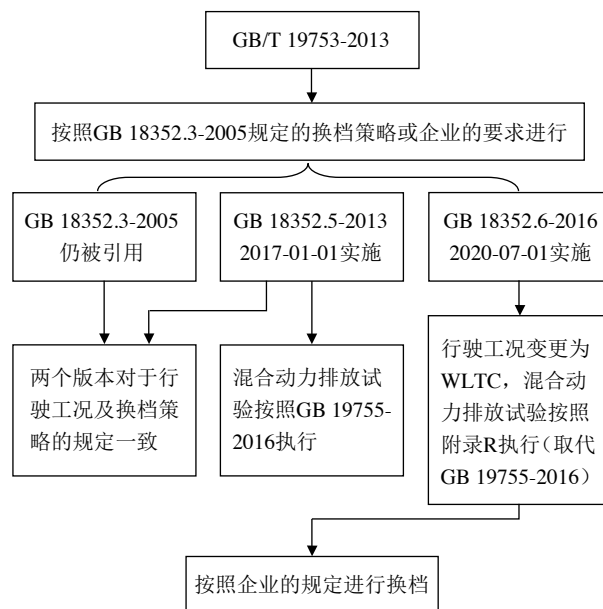


图1 标准间的关联示意图

1.1 换挡策略的实际选择

通过调研可知:虽然 GB/T 19753-2013 提供了 2 种换挡策略,但是在实际进行试验时,仅采取 GB 18352.3-2005 中的标准换挡策略,而该策略主要是基于传统车特点研究的结果,对混合动力车型存在着适用性的问题。

目前,虽然传统车的油耗水平是在标准换挡策略下得出的,但是对于传统车的换挡提醒装置,已有标准 GB/T 1-XXXX《乘用车循环外技术 / 装置节能效果评价方法 第 1 部分 节能驾驶指示装置》报批,GB 27999-2014《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》中规定的企业平均燃料消耗量 (corporate average fuel consumption, CAFC) 可以依据该标准的评价结果减去一定的额度^[11]。因此,在节能技术日益得到国家政策支持的背景下,对于混合动力车型来说,更应重视换挡提醒装置带来的节能效果。

1.2 GB 18352 各版本的关系

GB 18352.5-2013 已于 2017-01-01 提前实施,因此 GB/T 19753-2013 中引用的版本 GB 18352.3-2005 已废止。未来 GB/T 19753-2013 进行修订时定会引用标准的最新有效版本,因此需对不同版本的主要技术变更进行研究。

本文对 GB 18352 现有 3 个版本进行了对比,重点围绕行驶工况及换挡策略的异同进行讨论,具体包括以下 2 方面的内容:

1) 一方面 GB 18352.5-2013 中对于行驶工况及换挡策略的规定与 GB 18352.3-2005 一致^[12-13];另一方面,GB 18352.5-2013 中规定对于混合动力汽车,排放试验应按照 GB 19755-2016 进行^[13]。而 GB 19755-2016 中对于行驶工况及换挡策略同样是按照 GB 18352.5-2013^[14]进行,与 GB/T 19753-2013 一致;因此,对于本文的研究内容,标准的切换上不存在不适用的问题。

2) GB 18352.6-2016 已发布并将于 2020-07-01 实施,该标准中行驶工况由之前版本中的新欧洲行驶工

况 (new European driving cycle, NEDC) 变更为全球统一轻型车辆测试循环 (worldwide light-duty test cycle, WLTC); 标准附录 R 中对混合动力汽车的排放试验也进行了详细的规定,因此 GB 19755-2016 届时将会废止,而附录 R 中明确指出,对于混合动力车型,换挡策略需按照企业的规定进行^[15],即可以按照换挡提醒装置的提示进行档位变换。

1.3 标准相关问题的理解

现行的标准文本中,标准换挡方式和企业规定换挡方式并存;GB 18352.6-2016 的发布,进一步明确了混合动力电动汽车可以按照企业规定进行换挡的发展趋势;基于此,笔者建议:GB/T 19753-2013 未来的修订中,应考虑按照企业的规定进行换挡,从而推动换挡提醒装置以及其他相关节能技术的发展。

对于行驶工况,虽然 GB 18352.6-2016 表明 WLTC 将取代 NEDC,但是具体实施时存在着一定的不确定性。目前,表征中国道路特征的“中国汽车行驶工况 China automotive test cycle, CATC)”第一阶段的制定工作已经完成,相关的验证试验及标准导入工作也正在紧密开展,不排除提前应用于试验检测的可能,尤其是在电动汽车领域。因此,本文后续的讨论仅围绕 NEDC 进行。

2 燃料消耗量的试验研究

在车辆的实际行进过程中,档位对油耗水平有一定程度的影响,而具体的选择又取决于驾驶员的操作习惯。换挡提醒装置的提出旨在为驾驶员提供最优的换挡策略,从而实现综合油耗的降低。正是因为这样的优势,此项节能技术得到了迅速的发展。

本文选取 4 款不同企业的 48 V 车型进行试验研究,各车型动力系统的主要技术参数如表 2 所示。

2.1 理论分析

结合表 2 中车型二试验过程中的数据,对 48 V 车型换挡提醒装置的节能性进行理论分析。下文提到的

表 2 试验车辆动力系统主要技术参数

车型编号	发动机				48 V 电机	
	进气方式	排量 / L	额定功率 / kW	最大扭矩 / Nm	峰值功率 / kW	峰值扭矩 / Nm
1	自然吸气	1.2	60.3	116	11	35
2	增压	1.5	110	230	10	50
3	增压	1.2	85	200	11	35
4	增压	1.0	88	170	11	35

传统车型与对应的 48 V 车型实际为同一辆车, 通过程序的设定从而实现单一的动力模式, 这种处理方式可以免除其他因素的影响, 各方面体现出来的差异仅仅是因为动力型式不同。

2.1.1.1 48 V 系统对加速性能的改善

48 V 车型与传统车型的区别在于增加了一套 48 V 电驱动系统, 而这 2 种动力型式的联合工作不仅丰富了车辆的优化策略, 而且还会改善车辆各行驶状态下的性能, 尤其是加速阶段。因此, 对于 48 V 车型来说, 档位的实际选择情况与标准换档策略应存在着一定的区别。

图 2 为 48 V 车型与传统车型在各档位下全油门加速时间 t_a 的对比, 其中 η_a 为加速时间的改善率。

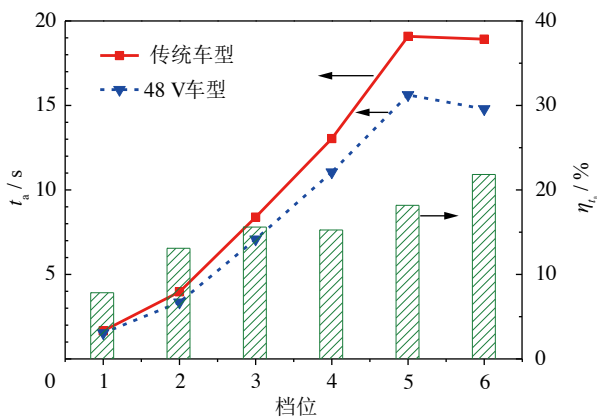


图 2 48 V 车型对加速性能的改善

由图 2 加速时间可以看出: 在不同的档位下, 对于 2 种不同动力模式的车型来说, 全油门加速性能有着明显的差异, 并随着档位的升高差异愈加显著, 这一方面与发动机的低转速性能有关, 另一方面与不同档位下覆盖的速度范围有关。

由图 2 柱状图可以看出: 虽然在 3 到 4 档时有一个小的降低, 但是总体的趋势是档位越高加速时间降低的程度越明显。这主要有以下 2 方面的原因:

1) 每一档位的低速段对应的发动机转速较低, 此时发动机的输出扭矩较小并且增加的缓慢, 不利于车辆的快速加速; 而搭载 48 V 系统之后, 电驱动系统可以很好的改善低速段的扭矩性能, 使得发动机迅速过渡到高速段, 达到较为理想的工作状态, 从而降低了加速所需的时间。

2) 档位越高, 速度范围的覆盖越大, 对应的发动机从低速段过渡到高速段的时间越长, 因此电驱动系统作用的时间越长, 优势也就越加明显。

2.1.2 不同换档策略下档位的情况

发动机最佳的工作点一般是在其可达到的转速范围内适中的部分, 较低和较高时发动机的经济性和排放性都不理想。通过部分企业的反馈了解到, 对于标准中规定的换档策略, 个别时刻的换档点相对于最佳位置存在着一定的延迟或档位不足, 对于传统车型如此, 对于 48 V 车型来说则更为突出。

电驱动系统的存在很大程度上减少了加速所需的时间, 若按照标准换档模式进行换档, 则延迟的问题更为严重。因此, 在车辆的实际行进过程中, 保证动力性满足使用需求的前提下, 可以对部分行驶阶段采取升档的措施。相同的速度下升档及增加传动比, 发动机的转速和扭矩输出状态也会随之发生变化, 最终会对车辆的燃料消耗量产生影响。

图 3 为车型 2 按照 2 种换档策略进行换档的情况; 对应的行驶工况 NEDC 如图 4 所示。

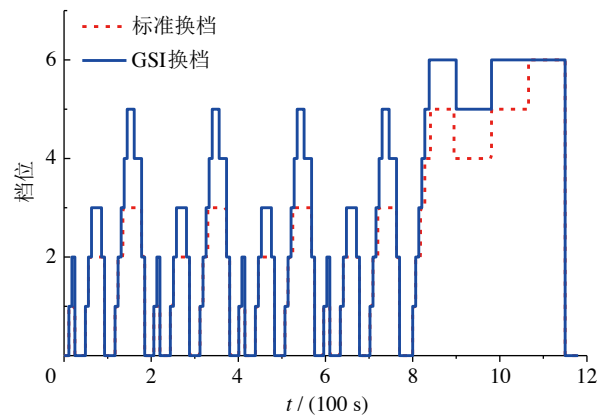


图 3 2 种换档策略的实际换档情况示例

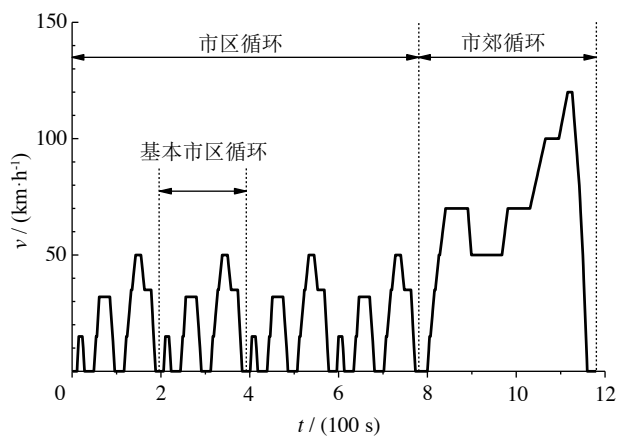


图 4 NEDC 行驶工况曲线

从图3、图4可以看出:与标准换档策略相比,换档提醒装置模式下整体的档位更高,尤其是在相对较高的速度阶段,这与前面的理论分析一致。

2.1.3 换档策略的变化对发动机工作的影响

为进一步分析换档提醒装置在车辆实际行驶过程中的优势,本文对车型2在2种换档策略下发动机的工作情况进行了详细分析,如图5所示。

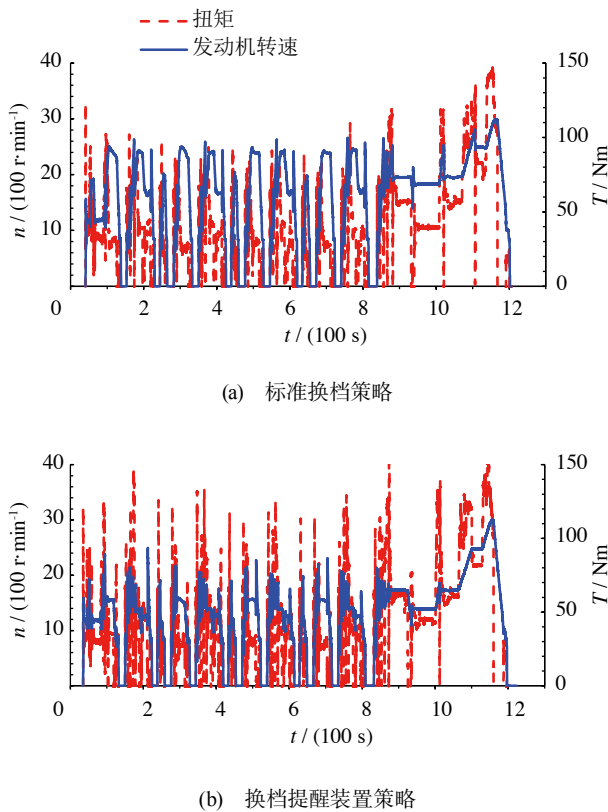


图5 2种换档策略下发动机的转速与扭矩

比较图5a和图5b可知:在2种换档策略下,发动机运行状态的主要差异集中在NEDC中4个基本市区循环的高速阶段和市郊循环前面速度较低的部分,总体上与图3的差异点一一对应,主要表现为同标准换档策略相比,换档提醒装置策略下发动机的转速有一定程度的降低,扭矩有一定程度的增加。

对于车辆的任一速度瞬间,均有与之对应的功率需求,因此该状态下动力系统的输出功率也是一定的。48V车辆的功率包含发动机(E)和电机(M)2部分:

$$P = P_E + P_M = 2\pi nT\eta + P_M \quad (1)$$

式中: P 为车辆的功率需求; P_E 为发动机输出的有效功率; P_M 为电机输出的有效功率; T 为发动机扭矩; n 为发动机转速(单位r/s); η 为发动机综合效率。

由式(1)可知,若电机输出的有效功率以及发动机的总效率不变,在48V车辆的任一行进状态下,发动机的转速与扭矩均成反比,换档提醒装置的采用实际上是取得了“减速增扭”的效果。这一改变对车辆燃料消耗量的影响可结合发动机的油耗万有特性进行讨论,如图6所示。

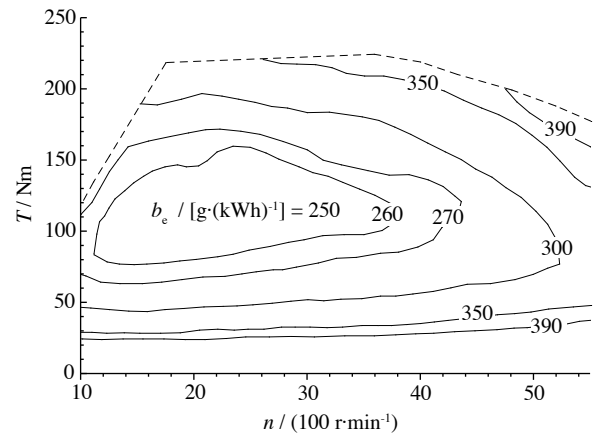


图6 发动机的等油耗(b_e)万有特性

由图6可以看出:每一条等油耗(b_e)曲线对应的最低扭矩随着转速的增加变化较为平缓,并且在90Nm以下时,燃料消耗量会随着扭矩的增加而降低。同时,由图5可以看出:对于NEDC行驶工况,发动机的工作扭矩一般处于80Nm以下,转速一般处于3000r/min以下。因此可以认为:对于该车型,适度增加扭矩可以有有效的降低燃料消耗量,而换档提醒装置提供的策略则是实现扭矩增加的有效技术手段。

2.2 试验结果分析

换档提醒装置最先应用于传统车型,随着48V技术的发展和相关车型的问世,该节能技术也逐步在48V车型中得到采用。本文在分析换档提醒装置对48V车型油耗改善的同时,也研究了其对传统车型油耗的影响,通过对比不同车型下换档提醒装置的节油情况,得出了该技术效果更为显著的应用领域。

2.2.1 换档提醒装置对48V车型油耗的改善

对表2中的4款车型进行试验研究,每款车型分别进行2种换档策略下的油耗试验,测试标准采取GB/T 19753-2013。需要说明的是,GB/T 19753-2013规定的是能耗试验方法,试验结果应包括油耗和电耗,但是对于不可外接充电的混合动力电动汽车(包含48V车型)来说,试验结果需通过线性回归的方法得到电

耗为 0 时的油耗, 即最终仅存在一种能耗形式^[7]。油耗试验结果如表 3 所示。

表 3 4 款车型的油耗结果

车型编号	100 km 油耗 / L		综合节油率 / %
	标准换挡	GSI 换挡	
1	7.20	6.70	6.94
2	6.84	6.44	5.85
3	6.50	6.10	6.15
4	5.19	4.97	4.24

将表 3 进行整理, 可以更加直观的看出换挡提醒装置对 48 V 车型的油耗改善情况, 如图 7 所示。

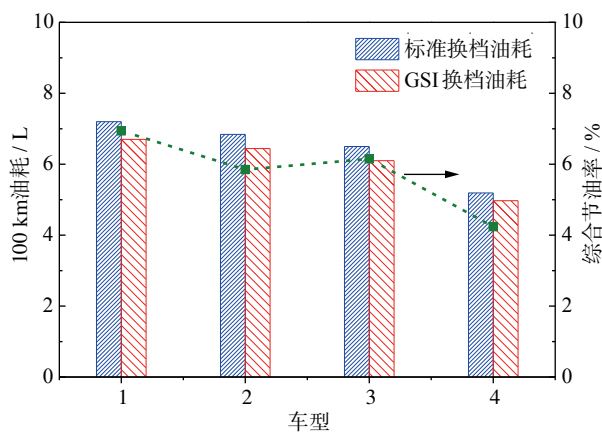


图 7 4 款车型燃料消耗量及节能情况

由表 3 和图 7 可知: 在各企业提供的车型中, 换挡提醒装置策略下的 100 km 油耗较标准换挡策略均有一定程度的降低, 降低水平在 0.22~0.50 L 范围内, 相应的降低程度为 4.24%~6.94%。取四款车型试验结果的平均值对该技术手段的节能性进行评价, 可以得到 48 V 车型换挡提醒装置可使油耗降低 0.38 L, 相当于节油 5.80%, 节能效果显著。

2.2.2 换挡提醒装置应用于 48 V 车型的优势

为分析换挡提醒装置 (GSI) 对传统车型的能耗改善情况, 本文在表 2 中车型 4 的基础上进行了相关试验, 试验结果如表 4 所示。

表 4 不同动力型式下换挡提醒装置的节能情况

动力型式	100 km 油耗 / L		综合节油率 / %
	标准换挡	GSI 换挡	
内燃机	5.64	5.54	1.77
内燃机 +48 V 电机	5.19	4.97	4.24

由表 4 可知: 换挡提醒装置对 48 V 车型的油耗改善程度要远远大于传统车型。这主要是因为对于 48 V 车型, 装配换挡提醒装置后可以从 2 个方面实现对发动机工作的改善: 换挡提醒装置直接优化发动机的工作状态; 同时, 对发动机和电机的联合工作情况也产生了一定的影响, 电机对发动机调整后的工作状态进行二次优化, 进一步改善了发动机的工作状态。而对于传统车型来说, 仅存在第一个方面的作用, 对发动机的优化形式单一, 影响程度有限, 因此综合节油效果不如 48 V 车型显著。

3 结论

本文研究了 48 V 车型换挡提醒装置的节能性, 分析了相关国家标准, 并对 4 款车型进行了试验验证, 得出以下结论:

1) 48 V 车型换挡提醒装置, 在试验条件下, 可实现 100 km 油耗降低 0.38 L, 相当于节油 5.80%。换挡提醒装置对 48 V 车型的油耗改善程度大于传统车型。

2) 48 V 车型较传统车型的加速性能有显著的改善。换挡提醒装置主要通过升档的方式达到“减速增扭”的作用, 从而使发动机工作在相对更高效的区域。

3) 鉴于 48 V 车型换挡提醒装置的节能优势, 应在相关的国家标准中给予鼓励和重视。

参考文献 (References)

- 钱龙. 基于 CAN 总线的 48 V 混合动力系统开发 [J]. 信息通信, 2016(4): 78-80.
QIAN Long. Development of 48 V hybrid power system based on CAN bus [J]. *Info Communications*, 2016(4): 78-80. (in Chinese)
- 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.
LIU Jujiang, HE Yu, LIAN Xuetong. Development and experimental study on control strategy of 48-V BSG hybrid system [J]. *Vehicle Engine*, 2016(4): 44-50. (in Chinese)
- 张英男, 陆春, 刘桂彬. 48 V 系统对于电动汽车安全要求国家标准适用性分析 [J]. 汽车实用技术, 2015(5): 108-110.
ZHANG Yingnan, LU Chun, LIU Guibin. Applicability analysis of electrical vehicle safety requirements national standard on 48-V system [J]. *Automobile Appl Tech*, 2015(5): 108-110. (in Chinese)
- 中华人民共和国国家标准化管理委员会. 关于批准发布 GB/T 18384.3-2015《电动汽车 安全要求第 3 部分: 人员触电防护》第 1 号修改单的公告 2017 年第 16 号 [J]. 中国标准化, 2018(1): 146-150.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Announcement on the approval of the amendment No. 1 of GB/T 18384.3-2015 "Safety requirements for

- electric vehicles - Part 3: Protection against electric shocks", No. 16 of 2017 [J]. *China Standardization*, 2018(1): 146-150. (in Chinese)
- [5] 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管理委员会. GB/T 19596-2017, 电动汽车术语 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 19596-2017, Terminology of electric vehicles [S]. Beijing: China Standard Press, 2017. (in Chinese)
- [6] 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管理委员会. GB/T 19233-2008, 轻型汽车燃料消耗量试验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 19233-2008, Measurement methods of fuel consumption for light-duty vehicles [S]. Beijing: China Standard Press, 2008. (in Chinese)
- [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管理委员会. GB/T 19753-2013, 轻型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 19753-2013, Test methods for energy consumption of light-duty hybrid electric vehicles [S]. Beijing: China Standard Press, 2013. (in Chinese)
- [8] 赵治国, 杨云云, 何露, 等. 48 V 微混 HEV BOOST 模式转矩瞬态优化控制 [J]. *汽车技术*, 2015(7): 46-51. ZHAO Zhiguo, YANG Yunyun, HE Lu, et al. Torque transient optimal control in boost mode of 48-V micro hybrid electric vehicle [J]. *Automobile Technology*, 2015(7): 46-51. (in Chinese)
- [9] Vagg, C, Brace C J, Wijetunge R, et al. Development of a new method to assess fuel saving using gear shift indicators [J]. *J Automobile Engineering*, 2012, 226(12): 1630-1639.
- [10] 李兵, 冯立魁, 田桂星. 手动档车型节能换挡提示技术探讨 [J]. *汽车电器*, 2014(4): 13-14, 18. LI Bing, FENG Likui, TIAN Guixing. Discussion on gear shift indicator for manual transmission vehicles [J]. *Auto Electric Parts*, 2014(4): 13-14, 18. (in Chinese)
- [11] 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管理委员会. GB 27999-2014, 乘用车燃料消耗量评价方法及指标 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 27999-2014, Fuel consumption evaluation methods and targets for passenger cars [S]. Beijing: China Standard Press, 2014. (in Chinese)
- [12] 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. 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) [S]. 北京: 中国环境出版社, 2005. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18352.3-2005, Limits and measurement methods for emissions from light-duty vehicles (China 3, 4) [S]. Beijing: China Environmental Press, 2005. (in Chinese)
- [13] 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. 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]. 北京: 中国环境出版社, 2013. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. 18352.5-2013, Limits and measurement methods for emissions from light-duty vehicles (China 5) [S]. Beijing: China Environmental Press, 2013. (in Chinese)
- [14] 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. 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 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2016. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 19755-2016, Technical requirements and measurement methods for emissions from light-duty hybrid electric vehicles [S]. Beijing: China Environmental Press, 2016. (in Chinese)
- [15] 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. 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]. 北京: 中国环境出版社, 2016. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18352.6-2016, Limits and measurement methods for emissions from light-duty vehicles (China 6) [S]. Beijing: China Environmental Press, 2016. (in Chinese)